

Université de Mons

Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation

Laboratoire de Psychologie Cognitive et de Neuropsychologie

Etude des connaissances conceptuelles dans une approche incarnée et située de la cognition dans le vieillissement sain et la maladie d'Alzheimer :

Exploration de la force perceptuelle et son impact dans le traitement lexico-sémantique

Aurélie Miceli

Thèse défendue le 14 septembre 2023 pour l'obtention du diplôme de Docteur en Sciences Psychologiques et de l'Éducation

Jury

Prof. Christine Bastin, Université de Liège

Prof. Laurent Lefebvre, Université de Mons

Prof. Thierry Pham Hoang, Université de Mons

Prof. Romina Rinaldi, Université de Mons

Prof. Laurence Ris, Université de Mons

Prof. Isabelle Simoes Loureiro, Université de Mons

Prof. Guillaume Vallet, Université du Québec à Trois-Rivières

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma reconnaissance envers l'ensemble des participants qui se sont portés volontaires pour mes études. Merci pour le temps que vous m'avez accordé, pour votre patience, votre intérêt et nos rencontres. Je souhaite également témoigner ma gratitude envers toutes les structures qui m'ont accueillie dans le cadre du processus de recrutement. Je remercie tout particulièrement Mme Desmecht du centre « Au Bonheur du Jour », l'équipe du Ravel ainsi que l'ASBL Mons Seniors.

Je souhaite également adresser mes sincères remerciements à ma promotrice, Isabelle. Merci de m'avoir accordé ta confiance dans ce projet. Merci pour ton incroyable disponibilité et pour tout le temps que tu m'as consacré, à travers nos rencontres ou tes relectures. Merci infiniment pour toutes nos discussions enrichissantes qui ont nourri ma réflexion et contribué à l'évolution de mon travail. Je suis profondément reconnaissante d'avoir pu compter sur ton soutien tout au long de ce périple. Ta bienveillance et ta bonne humeur infaillible ont, entre autres, rendu cette expérience encore plus gratifiante.

Un grand merci à l'ensemble des membres de l'équipe PCN. Je mesure pleinement la chance d'avoir partagé ce chemin avec vous. C'était un véritable plaisir de faire partie d'une équipe si soudée. Je remercie chaleureusement Laurent pour sa bienveillance et son soutien. Merci à Aurelia d'avoir partagé avec moi les défis du recrutement et toujours dans la positivité. Merci également à Alice, Sandra, Wivine, Sandrine, Nellia, Melike, Kendra, Isabelle et Erika d'avoir été des collègues au top ! Mention spéciale à Sandra, Kendra et Erika pour votre réconfort et votre soutien moral dans mes moments d'incertitude. Merci Sandra pour tes aides techniques en tous genres qui m'ont été si précieuses. Merci Kendra pour nos moments papotes et grignotes indispensables. Merci aussi à toi, Erika, pour m'avoir si bien accompagnée dans mes débuts de thèse. Je remercie également Cynthia, avec qui ce parcours doctoral a débuté. Mes remerciements vont aussi à Mandy qui m'a fait connaître un engouement pour la recherche lors de la réalisation de mon mémoire en 2013.

Je remercie également les membres de mon comité d'accompagnement de thèse pour leurs conseils avisés et leurs encouragements. Je tiens tout particulièrement à exprimer ma gratitude envers Guillaume pour nos longs échanges qui ont grandement contribué à enrichir mes réflexions. Merci pour ta gentillesse. Ta générosité à partager tes connaissances et ton expertise ont été d'une aide inestimable.

Je tiens également à remercier les membres de mon jury de thèse pour avoir accepté d'évaluer mon travail.

Mes remerciements s'adressent aussi aux étudiants (Axel, Florna, Eléa et Rosalie) qui m'ont brillamment assistée dans l'acquisition de mes données, au moment où j'en avais le plus besoin. Je leur suis profondément reconnaissante.

Merci à mes adorables collègues du GHDC de m'avoir soutenue et encouragée à poursuivre mes envies professionnelles.

Je tiens également à remercier Hugo Pondz pour son illustration originale (et un peu déjantée). Quelle chance d'avoir une de tes œuvres en couverture de thèse. Merci beaucoup, je l'adore.

Un immense MERCI à mes ami(e)s, vous qui êtes essentiel(le)s à ma vie. Merci « *Les Copains* » (vous vous reconnaîtrez) pour votre présence et votre soutien indéfectible. Merci à vous qui répondez toujours présents en toutes circonstances, sans oublier vos « minis-vous » qui me mettent toujours du baume au cœur. Merci à Alessia, Sophie et Jess, mes *Desperate Cool Girls* préférées, avec une mention spéciale à Jessica pour sa relecture « anti-coquilles ». Merci Renzo pour ton aide infographique.

Je souhaite également remercier Marine, Emilie, Ilena, Katleen et Céline avec qui j'ai commencé l'aventure universitaire il y a déjà 15 ans. Merci d'être vous, les *Coupines*.

Je remercie bien évidemment ma famille, mes beaux-parents, mes parents et mon frère pour leur soutien inébranlable. Mes remerciements vont tout particulièrement vers toi, Papa. Même si tu ne seras plus présent pour les prochaines étapes de ma vie et que ton absence laisse un vide infini, j'emporterai toujours avec moi ton amour inconditionnel.

Enfin, il m'est tout naturel de te dédier la fin de mes remerciements, Salvatore. Je n'ai que trop peu d'espace pour te témoigner toute ma gratitude. Merci d'avoir été le pilier sur lequel j'ai pu m'appuyer tout au long de ce parcours. Merci de m'avoir toujours soutenue, rassurée et écoutée (même s'il n'était pas toujours évident de me suivre). Merci aussi pour ta patience et tes relectures orthographiques. Merci d'avoir toujours eu confiance en moi. Merci de m'encourager dans toutes mes aventures professionnelles et dans tous mes projets les plus fous, de manière générale ! Merci d'exister et de donner du sens à ma vie.

Table des matières

Introduction générale.....	11
PARTIE THEORIQUE	15
Chapitre 1 – Les connaissances sémantiques à travers le prisme de la cognition incarnée	17
1. Evolution de la notion de représentations conceptuelles	17
1.1 Des représentations amodales vers une considération des représentations sensorimotrices.....	21
1.1.1 La théorie sensori-fonctionnelle.....	21
1.1.2 L’hypothèse du « hub-and-spoke »	23
2. Les théories modales et d’embodiment.....	27
2.1 Soutien empirique des approches incarnées.....	28
2.2 Des approches incarnées divergentes	32
2.3 Les modèles théoriques modaux ou non abstractifs.....	34
2.3.1 La théorie des systèmes de symboles perceptuels.....	34
2.3.2 La théorie des zones de convergence	36
2.3.3 La théorie topographique conceptuelle	37
2.3.4 Le modèle Act-In	40
2.4 Les visions pluralistes et multimodales.....	44
2.4.1 Des représentations linguistiques essentielles.....	46
2.4.2 Des représentations dynamiques et flexibles	50
2.4.3 Des représentations dépendantes de l’expérience	51
Chapitre 2 – Le traitement lexico-sémantique : analyse des processus impliqués et des effets sémantiques incarnés dans la reconnaissance visuelle de mots	57
1. La reconnaissance visuelle de mots	57
1.1 Les variables investiguées (le <i>quoi</i>)	58
1.1.1 Les variables sensorimotrices.....	59
1.1.1.1 L’imageabilité et la concrétude	59
1.1.1.2 Le sensory-experience rating	60
1.1.1.3 La force perceptuelle	60
1.1.1.4 L’interaction corps-objet.....	62
1.1.1.5 Les autres mesures sensorimotrices	63
1.2 Les processus d’activation lexico-sémantique (le <i>comment</i>)	64
1.2.1 Les modèles de traitement lexical	64
1.2.2 La théorie du feedback d’activation	69
1.2.2.1 Application aux effets sémantiques incarnés	70
1.3 Les corrélats neurobiologiques (le <i>où</i> et <i>quand</i>)	71
1.3.1 Les corrélats neurobiologiques associés à la richesse sémantique.....	74
1.4 Un processus dynamique et flexible.....	75

Chapitre 3 – Le vieillissement normal : ses effets et son implication dans le traitement conceptuel.....	79
1. Généralités.....	79
1.1 Vieillissement démographique et enjeux sociétaux	79
1.2 Vieillissement individuel.....	80
1.2.1 Vieillissement cérébral	81
1.2.1.1 Au niveau biologique	81
1.2.1.2 Au niveau cognitif.....	82
1.2.2 Vieillissement moteur	84
2. Vieillissement, sens et perception	85
2.1 Vieillissement perceptuel	85
2.2 Vieillissement et intégration multisensorielle	86
2.3 Interactions entre perception et cognition	88
3. Vieillissement et lexico-sémantique.....	90
3.1 Généralités.....	90
3.2 Traitement lexico-sémantique et reconnaissance visuelle de mots dans le vieillissement.....	92
4. Regard incarné sur les représentations conceptuelles dans le vieillissement : revue de littérature	95
Chapitre 4 – Le vieillissement pathologique, atteinte du système perceptuel et conceptuel : le cas de la maladie d’Alzheimer	123
1. Généralités.....	123
1.1 Atteintes cérébrales dans la MA.....	124
1.1.1 Au niveau biologique	124
1.1.2 Au niveau cognitif.....	125
1.2 Diagnostic.....	126
2. Maladie d’Alzheimer et système perceptuel	127
2.1 Troubles sensoriels dans la maladie d’Alzheimer.....	127
2.2 Liens entre troubles sensoriels et cognition dans la maladie d’Alzheimer	129
2.3 Intégration multisensorielle et hypothèse de déconnexion cérébrale dans la maladie d’Alzheimer.....	131
3. Maladie d’Alzheimer et système conceptuel	133
3.1 Atteinte lexico-sémantique dans la maladie d’Alzheimer.....	133
3.2 Influence des variables lexico-sémantiques sur le traitement conceptuel dans la maladie d’Alzheimer	136
4. Maladie d’Alzheimer et embodiment.....	139
Conclusion de la partie théorique.....	143

PARTIE EXPERIMENTALE.....	145
Chapitre 5 – Etudes empiriques	147
Introduction	147
Etude 1 : Récolte de normes de force perceptuelle et intéroceptive pour 270 mots de la langue française	151
Etude 2 : Etude des différences liées à l'âge dans l'évaluation de la force perceptuelle et de l'interaction corps-objet	177
Etude 3 : Investigation de l'impact de la force perceptuelle sur le traitement lexico-sémantique dans le vieillissement sain	193
Etude 4 : Investigation de l'impact de la force perceptuelle dans la maladie d'Alzheimer dans une tâche de décision lexicale	235
Chapitre 6 – Discussion générale	249
1. Compréhension de l'implication de la force perceptuelle dans les mécanismes de traitement conceptuel	251
1.1 Focus sur les représentations linguistiques et perceptuelles	252
1.2 L'accès à la signification.....	253
1.2.1 Le principe de simulation et l'activation neuronale dans le cadre de la FP	256
1.2.2 Compréhension de l'implication de la FP au regard du modèle Act-In.....	257
1.2.3 L'accès à la signification est-il différent selon la tâche ?	258
1.2.3.1 Analyse de la tâche de décision lexicale	259
1.2.3.2 Analyse de la tâche de décision sémantique	260
2. Evolution des relations entre système perceptuel et conceptuel dans le vieillissement normal.....	261
2.1 L'ancrage sensorimoteur des concepts dans le vieillissement sain.....	261
2.1.1 L'hypothèse d'un ancrage plus fort.....	261
2.1.2 L'ancrage moteur, une dimension à part ?	262
2.1.3 Résoudre la question de l'ancrage à partir d'un traitement conceptuel implicite ?	263
2.2 Modulation du traitement sémantique dans le vieillissement et implication du système modal	264
2.2.1 Un traitement superficiel des représentations linguistiques	265
2.2.2 Le traitement modal impliquerait-il des mécanismes inhibiteurs ?.....	266
2.2.2.1 Eclairage sur la cognition sémantique dans le vieillissement et les processus de contrôle exécutif	267
2.2.2.2 La proposition théorique de la sémantisation de la cognition.....	270
2.2.2.3 Conclusion sur l'hypothèse d'une implication exécutive dans la tâche de décision sémantique	272
2.2.3 Une modification du traitement induite par le système modal lui-même ?	273
3. Evolution des relations entre système perceptuel et conceptuel dans la maladie d'Alzheimer.....	275
3.1 La FP+ confèrerait-elle davantage de solidité aux concepts ?	275

3.2	Un effet spécifique au stade débutant	276
3.3	Un effet modulé par l'atteinte cognitive exécutive et lexicale.....	278
3.4	Quid de l'hypothèse de déconnexion cérébrale dans la MA ?	279
4.	Limites et perspectives	280
4.1	Aspects méthodologiques.....	280
4.2	Processus de simulation et activations neuronales.....	282
4.3	Impact du déclin sensorimoteur dans le vieillissement normal et dans la maladie d'Alzheimer.....	283
4.4	Implication de mécanismes exécutifs.....	284
4.5	Perspectives spécifiques à la MA.....	285
	Conclusion générale	287
	Bibliographie générale	289
	Liste des tableaux	363
	Liste des figures	363
	Tableau des abréviations	365

« [...] je portai à mes lèvres une cuillerée du thé où j'avais laissé s'amollir un morceau de madeleine. Mais à l'instant même où la gorgée mêlée des miettes du gâteau toucha mon palais, je tressaillis, attentif à ce qui se passait d'extraordinaire en moi. Un plaisir délicieux m'avait envahi, isolé, sans la notion de sa cause. Il m'avait aussitôt rendu les vicissitudes de la vie indifférentes, ses désastres inoffensifs, sa brièveté illusoire, de la même façon qu'opère l'amour, en me remplissant d'une essence précieuse : ou plutôt cette essence n'était pas en moi, elle était moi. »

(Marcel Proust)

Introduction générale

Au cours de son développement, l'être humain acquiert des connaissances sur le monde et les objets qui l'entourent. Cette expérience se produit à travers diverses modalités qui peuvent être sensorielles via les informations captées par les sens (i.e., vision, ouïe, toucher, odorat, goût), motrices par l'apprentissage des aspects fonctionnels tels que la manipulation et l'utilisation d'outils, ou encore linguistiques grâce à l'expérience verbale. Toutes ces expériences sont également teintées d'émotions qui sont propres à chaque individu. L'ensemble des connaissances acquises au cours de la vie et les processus cognitifs relatifs à ces connaissances constituent ce que l'on appelle le « système conceptuel ». Ce système peut également être caractérisé de « sémantique » car les connaissances réfèrent aux représentations conceptuelles qui lient les mots (les concepts) et leur percepts à leurs significations (Kiefer & Pulvermüller, 2012; Pillon & Samson, 2014)¹.

Traditionnellement, les sciences cognitives ont décrit les connaissances conceptuelles comme étant amodales, c'est-à-dire abstraites et indépendantes des modalités sensorielles et motrices (Collins & Loftus, 1975; Fodor, 1987; Levelt, 1999). Plus récemment, les approches incarnées et situées de la cognition soutiennent que les connaissances sont le résultat direct de l'interaction de l'individu avec l'environnement et sont ancrées dans les systèmes de perception, d'action et d'émotion (Barsalou, 2008; Fischer & Zwaan, 2008; Kiefer & Pulvermüller, 2012). Cette vision des connaissances, solidement étayée par de nombreuses recherches dans la littérature (cf. chapitre 1), a encouragé les chercheurs à développer des normes qui permettent de capturer ces dimensions incarnées des concepts afin d'investiguer l'impact de l'information sensorimotrice dans le traitement conceptuel (e.g., Bonin et al., 2015; Fernandino et al., 2016; Juhasz & Yap, 2013). Dans ce contexte, nous avons consacré notre attention sur la variable de force perceptuelle (FP) qui permet de quantifier l'expérience sensorielle (i.e., visuelle, auditive, tactile, gustative, olfactive) associée à un mot (Lynott & Connell, 2009).

Notre intérêt concerne tout particulièrement l'application de ces approches incarnées au domaine du vieillissement. En effet, il est communément admis que le système conceptuel évolue positivement avec l'âge. De ce fait, les personnes âgées bénéficient généralement d'un

¹ Dans cette dissertation doctorale, les termes « système sémantique » et « système conceptuel » seront utilisés de manière interchangeable.

bagage de connaissances plus étendu en raison de leur plus longue expérience de vie (Umanath & Marsh, 2014). Néanmoins, le processus de vieillissement s'accompagne également de perturbations sensorielles et motrices. Si le système conceptuel est intrinsèquement lié à nos expériences sensorimotrices mais que le système perceptuel décline avec l'âge, il semble légitime de s'interroger sur l'impact de ce déclin sur les représentations conceptuelles. Par ailleurs, cette question revêt une importance accrue dans le cas de pathologies neurodégénératives telles que la maladie d'Alzheimer (MA) qui entraîne des altérations concomitantes des systèmes conceptuels et perceptuels.

L'objectif global de cette thèse est d'étudier les relations existantes entre le système conceptuel et perceptuel ainsi que l'évolution de ces relations dans le contexte du vieillissement normal et de la MA. Nous investiguerons cette problématique en nous concentrant sur l'étude de la FP. Cette variable nous permettra d'appréhender l'évolution de la dimension perceptuelle des concepts dans le vieillissement normal, en recueillant des données de FP propres à la personne âgée. Nous investiguerons également l'influence de la FP dans le traitement conceptuel à partir de protocoles spécifiques de reconnaissances de mots dans le cadre du vieillissement sain (décision lexicale et sémantique) et de la MA (décision lexicale). Etant donné le nombre limité d'études sur ce sujet dans la littérature, cette thèse s'inscrit dans une démarche exploratoire.

Les éléments centraux de nos champs épistémologiques seront détaillés dans la partie théorique. Dans le **chapitre 1**, nous étudierons l'évolution de la notion de représentations conceptuelles depuis les théories classiques vers une approche incarnée et située de la cognition. Les théories soutenant la nature modale des connaissances seront explicitées et plusieurs modèles théoriques seront présentés. Nous analyserons particulièrement l'apport de l'approche pluraliste multimodale, considérant l'importance de multiples systèmes essentiels au traitement conceptuel. Nous nous intéresserons ensuite à l'activation de l'information sémantique dans le processus de reconnaissance visuelle de mots (**chapitre 2**). Nous y aborderons les mécanismes classiques en jeu dans la reconnaissance visuelle de mots ainsi que l'impact des variables sensorimotrices démontrant les effets sémantiques incarnés. Le **chapitre 3** sera ensuite dédié à l'étude du vieillissement normal. Les effets classiques du vieillissement incluant les aspects relatifs au vieillissement sensoriel et à la relation entre le système sensoriel et la cognition seront abordés. Nous examinerons également l'impact du processus de vieillissement sur le traitement lexico-sémantique. Le chapitre 3 se clôturera par une revue de littérature discutant l'intérêt de l'approche incarnée dans le vieillissement, au regard des connaissances conceptuelles. Dans le

chapitre 4, nous présenterons la MA comme exemple de vieillissement pathologique dans lequel le système conceptuel se détériore. Les informations relatives au système perceptuel et conceptuel de cette maladie seront détaillées. Enfin, nous aborderons les perspectives possibles offertes par le cadre théorique de la cognition incarnée, en discutant de leur potentiel pour enrichir la compréhension de ce domaine de recherche.

Dans la partie empirique, le **chapitre 5** présentera la première étude relative à la récolte de normes de FP chez de jeunes adultes, nous permettant d'obtenir des informations précises sur la nature perceptuelle de 270 concepts de la langue française. Ensuite, nous investiguerons, dans une seconde étude, l'impact du vieillissement sur le jugement de la FP ainsi que sur le jugement de l'interaction corps-objet, une variable ciblant plus précisément la dimension motrice des concepts. Ces deux premières études nous ont permis de créer un protocole expérimental de décision lexicale et de décision sémantique afin d'investiguer l'impact de la FP dans le vieillissement sain, en comparaison à de jeunes adultes (étude 3). Enfin, l'étude 4 investiguera ce même protocole en décision lexicale chez des participants présentant la MA à un stade débutant et modéré.

Finalement, nous clôturerons cette dissertation par une discussion approfondie (**chapitre 6**) qui permettra d'analyser et d'évaluer les résultats de nos études, de discuter des limites et de proposer des perspectives pour de futures recherches.

PARTIE THEORIQUE

Chapitre 1 – Les connaissances sémantiques à travers le prisme de la cognition incarnée

1. Evolution de la notion de représentations conceptuelles

Les actions de penser, percevoir, raisonner, se souvenir et imaginer sont des exemples de phénomènes vécus et ressentis par l'individu grâce aux informations disponibles dans son esprit. Ces processus mentaux sont impliqués dans la création, l'utilisation et la manipulation des représentations mentales. Les contours des représentations mentales ont été abordés à travers de nombreuses disciplines scientifiques depuis l'Antiquité. Par exemple, dans la philosophie grecque, Platon considérait les représentations comme des copies imparfaites de la réalité. Elles étaient perçues comme de simples images ou des reflets de la réalité, qui pouvaient être trompeuses ou illusoires (Freiss, 2017). Epicure considérait, quant à lui, les représentations comme de simples images mentales reflétant la réalité à partir de nos expériences sensorielles (Wisniewski, 1963). Les premières discussions des sciences cognitives contemporaines sur les représentations remontent au début du vingtième siècle avec les psychologues behavioristes tels que Watson et Skinner qui réfutent l'existence des processus mentaux (i.e., la perception, la pensée, la mémoire, l'attention,...) en suggérant que la psychologie doit se limiter à l'étude des comportements observables et mesurables. La psychologie cognitive se développe alors en contestant une analyse de notre activité cognitive qui néglige le caractère mental de la cognition. Elle se donne pour objectif de considérer les processus en jeu dans le construit représentationnel, leur dynamique et les propriétés des représentations (Gallina, 2011).

Depuis plus d'un demi-siècle, la question des représentations, de leur nature et leurs formats nourrit un débat théorique permanent dans l'histoire des sciences cognitives. Cet objet d'étude complexe ne fait pas encore consensus et différents courants théoriques se sont développés afin de tenter de définir la notion de représentations. Dans les lignes suivantes, nous retraçons la conception des représentations dans les différentes sous-disciplines des sciences cognitives.

Dans le **paradigme cognitiviste**, le fonctionnement cognitif est modélisé de façon computo-symbolique, c'est-à-dire que le système cognitif fonctionne comme des calculs effectués sur des symboles, de la même manière qu'un ordinateur. Les représentations sont alors le résultat d'une computation, c'est-à-dire une suite d'opérations régies par des règles formelles explicites

(Fodor, 1985; Gardner, 1987). L'information du monde extérieur est stockée sous la forme d'objets mentaux qui sont identifiables et étudiables. Le format des représentations est considéré comme unique et invariant. Il est abstrait (symbolique) et amodal, c'est-à-dire indépendant des modalités spécifiques de leur codage ; toutes les connaissances partagent les mêmes propriétés, peu importe leur codage en mémoire. Toutes ces connaissances sont codées sous forme de « propositions » qui décrivent le monde réel (Pylyshyn, 1973). Ces connaissances propositionnelles sont vues comme étant stockées dans la « mémoire sémantique ». Cette terminologie a été proposée par Tulving (1972, 1995) qui suggère l'existence de différents systèmes de mémoires tels que la mémoire à court terme et la mémoire à long terme, comprenant la mémoire sémantique, épisodique et autobiographique. Ces trois derniers systèmes sont également regroupés sous l'étiquette « mémoire déclarative » (Aggleton et al., 2001; Baddeley, 1993).

Le terme « mémoire sémantique » réfère communément aux connaissances générales sur le monde, aux mots, à leur signification ainsi qu'aux faits et croyances. Elle peut être définie comme

[...] un vaste stock de connaissances parmi lesquelles on peut notamment distinguer des concepts relatifs à des référents génériques, biologiques ou manufacturés (« mouton », « voiture »), et des concepts individuels comme les personnes, les lieux, les monuments (« Johnny Hallyday », « la tour Eiffel »). (Laisney, 2011, p.177)

Ces connaissances sont vues comme étant indépendantes de leur contexte spatio-temporel d'acquisition. Contrairement à la mémoire épisodique et autobiographique, qui sont marquées par des expériences individuelles et personnelles, la mémoire sémantique renvoie à des connaissances partagées (Rossi, 2005).

Le point de vue conceptualiste (i.e., cognitiviste) qui considère que les représentations mentales constituant la mémoire sémantique sont des symboles va être contesté par les tenants du **connexionnisme** (appelé également approche émergente) (e.g., Le Cun, 1986; McClelland et al., 1987; Victorri, 1996). Ce courant ne considère pas la représentation comme une entité symbolique mais plutôt comme un réseau d'unités connectées et distribuées à travers le cerveau. Le poids et le nombre de connexions dans ce réseau dépendra de l'expérience et de l'apprentissage de l'individu. La représentation n'est donc plus un objet mental localisable et

identifiable, elle émerge par le biais d'une activation neuronale distribuée dans un vaste réseau de neurones (Gallina, 2011).

Dans les années 1990, le **paradigme énaïviste** se développe et vise à comprendre la cognition à travers l'interaction dynamique entre l'organisme (le corps) et l'environnement. Il reproche aux courants cognitivistes et émergents de considérer le monde extérieur comme étant prédéterminé par un ensemble de règles et de présuppositions. Il suggère, au contraire, que la cognition n'est pas prédéfinie mais elle est « énaïvée » (*to enact* signifiant, en anglais, faire advenir, faire émerger), c'est-à-dire qu'elle émerge du couplage entre le corps et ses capacités sensorimotrices et l'environnement (Varela, 1996). Ce changement de paradigme implique que le corps est au centre de cette activité, il est la condition de toute cognition. La notion de représentation est alors redéfinie ; le produit de l'activité interactive entre l'individu et son environnement se substitue au principe d'état mental (voir Bault et al., 2011 pour une discussion sur l'évolution des représentations en sciences cognitives). Selon Varela (1996), notre sens commun, c'est-à-dire notre histoire physique et sociale, est requis en permanence pour configurer le monde qui nous entoure. Le contexte et le sens commun ne peuvent être établis à partir de règles alambiquées, ils sont l'essence même de la cognition. Ainsi, notre monde est inséparable de notre corps, de notre langage et de notre histoire sociale, « c'est un monde de signification qu'on s'approprie par imitation et qui devient partie intégrante de notre monde préexistant » (Varela, 1996, pp.97-98). La connaissance et les représentations sont alors vues comme le produit d'une interprétation continue qui dépend de l'action et de l'histoire de l'individu.

Ce paradigme énaïviste va évoluer vers une **approche dite « incarnée » et « située » de la cognition** dans laquelle le caractère modal de la connaissance (i.e., sensorimoteur), soutenu par l'énaïvisme, est couplé avec l'apport du connexionnisme, suggérant que les connaissances sont distribuées dans un large réseau cérébral (Versace et al., 2018). L'approche incarnée et située se distingue des approches cognitivistes classiques de par la nature des représentations qui est considérée comme modale et non abstraite. Elle soutient que nos représentations sont ancrées dans le corps et prennent essence dans nos interactions sensorimotrices avec le monde (Barsalou, 2008). Des distinctions terminologiques sont retrouvées dans la littérature : la cognition « ancrée » (*grounding*) met l'emphasis sur les aspects sensorimoteurs qui sont essentiels à la cognition (Barsalou, Simmons et al., 2003) alors que le concept d'« incarnation » (*embodiment*) implique la relation plus globale entre le corps (y incluant système

sensorimoteur, émotionnel, intéroceptif) et la cognition. A un niveau plus large, la cognition incarnée est également considérée comme « située » car elle prend en compte les caractéristiques de l'environnement et du contexte incluant l'aspect social et la culture (Vallet, 2021; voir également Versace et al., 2018)².

L'approche incarnée s'écarte des visions suggérant l'existence de systèmes de mémoire multiples qui proposent un contenu mnésique dépendant du système de mémoire en question (i.e. mémoire procédurale, épisodique, sémantique) (e.g., Anderson, 1983; Squire, 1987; Squire et al., 1993; Tulving, 1995). Au contraire, ce point de vue implique un système de mémoire unique dans lequel la réactivation des traces multidimensionnelles engendre l'émergence d'un souvenir. De ce point de vue, les différentes formes de représentations en mémoire ne sont pas distinguées, les souvenirs épisodiques et sémantiques seraient basés sur les mêmes composants (Versace et al., 2014). Ce courant sera développé de façon plus approfondie au cours de ce premier chapitre. Nous verrons que considérer la connaissance comme émergente des propriétés modales conduit au postulat que des unités communes soutiennent la perception, la mémoire et l'action. Bien que cette proposition puisse être généralisée à toute forme de connaissances (i.e., percepts, concepts, mémoire épisodique) (Brunel et al., 2015), nous ciblerons uniquement l'étude des connaissances conceptuelles comme fil conducteur théorique principal.

Alors que les théories classiques des connaissances sémantiques se sont focalisées sur la façon dont ces connaissances sont organisées en mémoire, par exemple en analysant la manière dont les mots sont reliés les uns aux autres (Collins & Loftus, 1975; Levelt, 1993; Quillan, 1966) ou encore en étudiant ce qui les distinguent ou les lient selon des propriétés partagées, corrélées ou distinctives (Farah & McClelland, 1991; Jackendoff, 2002; McRae et al., 1997; Rogers et al., 2004; Tyler & Moss, 2001; Vigliocco et al., 2004), les théories de l'embodiment s'intéressent au contenu des représentations sémantiques en testant et développant des prédictions à propos des représentations neurales et des réseaux qui sont partagés entre langage, perception, action et affect (Vigliocco et al., 2009).

² Afin d'éviter toute confusion théorique dans cet écrit, nous considérerons les termes « ancré », « incarné » et « embodiment » comme étant analogues à l'approche située la plus large.

Avant d'entamer le vif du sujet au point 2, voyons comment les théories classiques ont progressivement évolué pour intégrer la pertinence des informations sensorimotrices dans les représentations.

1.1 Des représentations amodales vers une considération des représentations sensorimotrices

Pendant longtemps, les sciences cognitives ont soutenu que les connaissances conceptuelles étaient encodées sous la forme de représentations amodales, c'est-à-dire abstraites, symboliques et indépendantes de leurs modalités sensorielles (Collins & Loftus, 1975; Fodor, 1987; Levelt, 1999; Murphy, 2002). De ce point de vue, l'information serait codée de manière unique, sous forme propositionnelle et le codage en mémoire serait identique, peu importe la nature des connaissances (Fodor & Pylyshyn, 1988). Ces modèles classiques de l'organisation des connaissances sémantiques ont toutefois progressivement évolué en accordant un rôle aux modalités sensorielles et/ou motrices dans l'origine de l'organisation des connaissances. L'observation de patients présentant des déficits sémantiques « catégories-spécifiques » et/ou « modalités-spécifiques » a permis le développement de théories tenant compte des relations existantes entre le système conceptuel et sensorimoteur. La théorie la plus connue est la « théorie sensori-fonctionnelle » (Warrington & Shallice, 1984; Warrington & McCarthy, 1987).

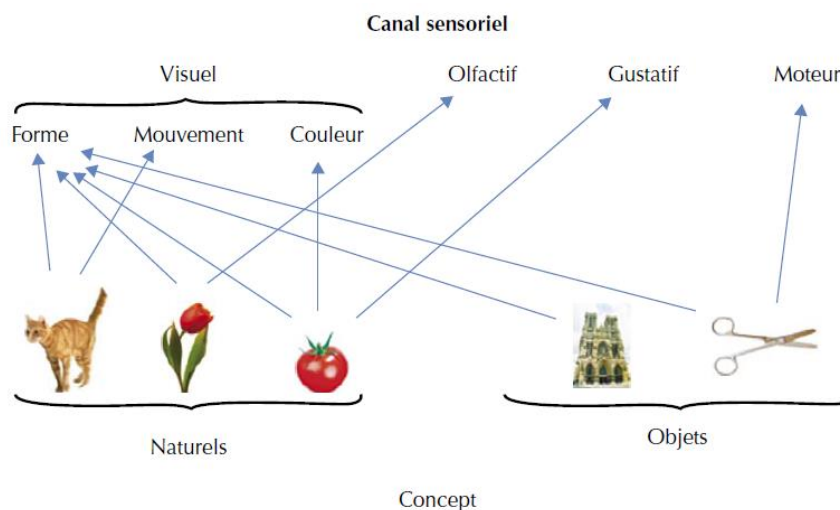
1.1.1 La théorie sensori-fonctionnelle

La « théorie sensori-fonctionnelle » (Warrington & Shallice, 1984) suppose que la mémoire sémantique se subdivise en deux sous-systèmes incluant les objets naturels et fabriqués. Ceux-ci sont organisés selon les propriétés saillantes qui les distinguent : les êtres vivants seraient dépendants des caractéristiques sensorielles (i.e., couleur, son, goût, odeur, texture) alors que les objets manufacturés seraient définis par leurs propriétés fonctionnelles (e.g., usage, contexte d'utilisation). Par conséquent, un déficit dans les aires sensorielles devrait impacter les catégories dont le traitement repose sur l'analyse sensorielle alors qu'un déficit dans les aires motrices entraînerait des perturbations dans l'identification de catégories reposant sur l'exécution motrice. L'observation de déficits spécifiques plus fins (e.g., atteinte de la catégorie des animaux sans atteinte des autres exemplaires des catégories naturelles, Caramazza &

Shelton, 1998) a mené au développement de la « théorie sensori-fonctionnelle étendue » (Warrington & McCarthy, 1987) (voir figure 1) qui suggère que les différents canaux sensoriels présentent des poids d'importance différenciée dans l'acquisition de différentes catégories de connaissances, ces pondérations variables étant à l'origine de l'organisation catégorielle du système sémantique. Par exemple, au sein de la catégorie des entités naturelles, les animaux présenteraient des propriétés visuelles prépondérantes (i.e., forme, mouvement) alors que les propriétés de forme, de couleur mais aussi gustatives seraient plus importantes pour les légumes. Pour la catégorie des objets manufacturés, les propriétés motrices seraient, quant à elles, davantage représentatives des objets manipulables que non manipulables, outre leurs propriétés visuelles. Dès lors, un déficit impliquant un canal sensoriel en particulier pourrait expliquer les dissociations observées au sein d'une même catégorie.

Figure 1

Modèle de la théorie sensori-fonctionnelle étendue issu de Carbonnel et al. (2010)



En s'appuyant sur les préceptes de cette théorie, d'autres chercheurs suggèrent, quant à eux, que toutes les catégories sont représentées au sein d'un système conceptuel unique (théorie de la structure conceptuelle e.g., Caramazza et al., 1990; Tyler et al., 2000 ; Tyler & Moss, 2001) dans lequel l'organisation des connaissances dépend 1) des propriétés corrélées (e.g., tous les animaux possèdent des yeux et ces attributs sont corrélés avec la propriété « voit »), 2) des propriétés distinctives (e.g., le lion possède une crinière et le tigre des rayures) et 3) de l'interaction entre ces deux types de propriétés. Selon cette théorie, dans le cas d'un dommage cérébral, une catégorie sera plus robuste si elle possède de nombreuses propriétés corrélées, un

grand nombre de propriétés distinctives et si ces dernières sont hautement corrélées avec d'autres propriétés. Par exemple, les outils (e.g., couteau) sont davantage protégés d'un dommage cérébral car ils possèdent des propriétés structurales distinctives (e.g., une lame) qui sont souvent corrélées avec leur fonction (e.g., couper).

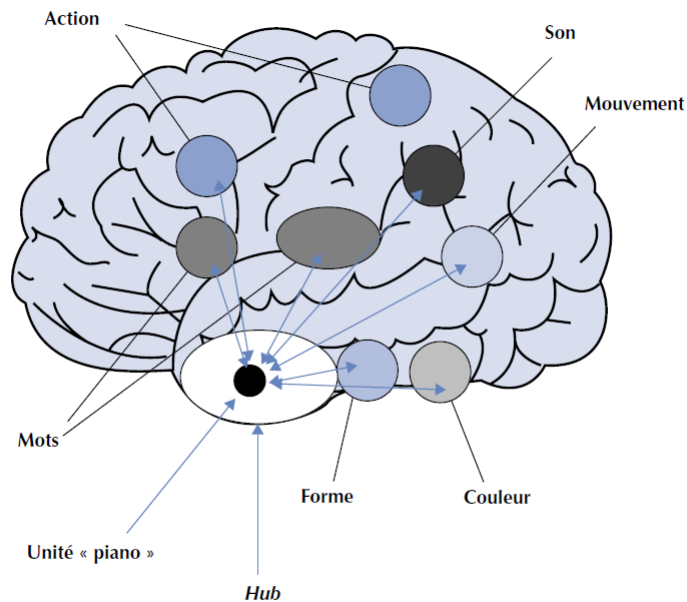
Par la suite, des modèles distribués de la mémoire dans lesquels les concepts sont codés par des unités représentationnelles multiples ont également été développés (e.g., Mahon & Caramazza, 2009; Rogers et al., 2004). Le modèle du « hub-and-spoke » (Patterson et al., 2007) est détaillé ci-après, en exemple.

1.1.2 L'hypothèse du « hub-and-spoke »

Patterson et al. (2007) proposent un modèle à propos de la structure des bases neurales de la mémoire sémantique : le « hub-and-spoke model hypothesis » (voir également Lambon Ralph & Patterson, 2008; Lambon Ralph et al., 2010; Lambon Ralph, 2014; Rogers et al., 2004) (voir figure 2). Selon ces auteurs, les aspects des connaissances spécifiques aux modalités sont représentés dans de nombreuses régions corticales « modalités-spécifiques » (e.g., la couleur d'un piano est représentée dans la région qui code les couleurs, sa forme dans la région visuelle, son utilisation dans les régions motrices, son nom dans le cortex spécifique au langage, etc.). Celles-ci envoient et reçoivent des informations d'une zone de convergence appelée « hub » qui code et représente les concepts et serait située dans le lobe temporal antérieur (ATL, anterior temporal lobe). Les attributs des concepts ne seraient donc pas interconnectés entre eux mais bien reliés par le biais du « hub » sémantique. Ce point de vue suppose qu'il existe une relation non-arbitraire entre les représentations sémantiques et le contenu sensorimoteur (voir également Mahon & Caramazza, 2009 pour une proposition similaire).

Figure 2

Représentation distribuée des concepts et du « hub » sémantique issu de Carbonnel et al. (2010)



Bien que ce modèle soit initialement décrit comme impliquant un format abstrait des représentations sémantiques (Patterson et al., 2007; voir Gainotti, 2012), les auteurs de la théorie du « hub-and-spoke » révisent leur position théorique et précisent leur déclaration en amenant un nouveau concept : le hub « transmodal » (Patterson & Lambon Ralph, 2016) (voir figure 3).

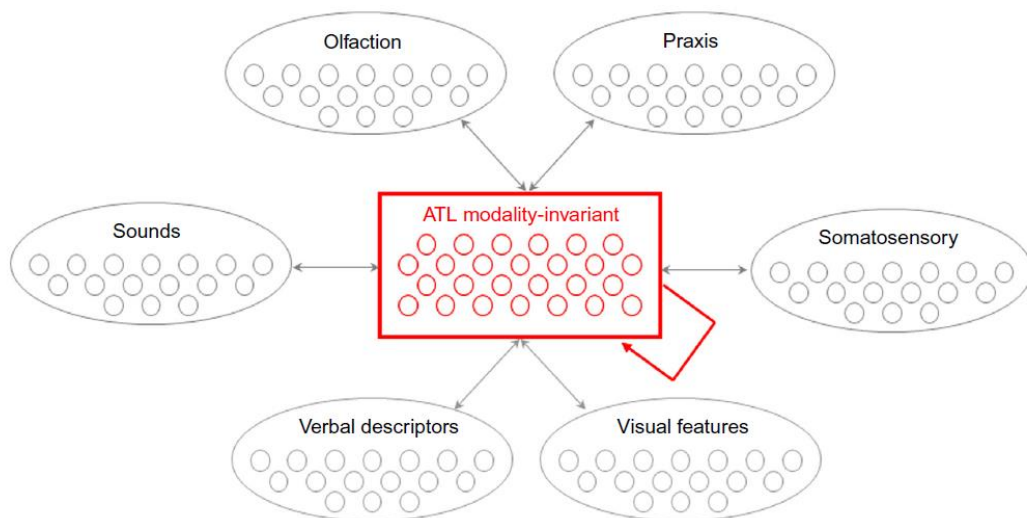
L'hypothèse du hub-and-spoke suppose que la connaissance sémantique est représentée dans un réseau cérébral largement distribué incluant les régions du cortex spécifiques aux modalités desquelles les connexions (spokes) émanent, envoyant des activations et en recevant en retour d'un autre composant essentiel du réseau : le hub sémantique transmodal. (Patterson & Lambon Ralph, 2016, p.767)

Ce dernier permet de regrouper les sources multiples d'information en un concept cohérent et généralisable et est perçu comme une ressource représentationnelle « modalité-invariante ». Comme représenté sur la figure 3, ce sont les régions de l'ATL qui sous-tendent ce hub transmodal. Ce modèle a été implémenté de façon computationnelle afin de démontrer comment les concepts peuvent être codés et comment se manifestent les déficits unilatéraux du lobe

temporal dans le cas de l'aphasie primaire progressive (APP) sémantique (voir Rogers et al., 2004).

Figure 3

Conceptualisation du modèle « hub-and-spoke » impliquant un hub transmodal selon Patterson & Lambon Ralph (2016)



Selon Patterson et Lambon Ralph (2016), le hub transmodal est nécessaire car un réseau sémantique ne peut être uniquement composé des aires primaires corticales spécifiques aux modalités. Les auteurs prennent le cas de l'APP sémantique pour argumenter leur point de vue. En effet, selon les observations de l'APP sémantique, aucune donnée ne suppose une dégradation structurelle significative des régions spécifiques aux modalités dans cette pathologie, les dysfonctions cérébrales étant typiquement centrées sur l'ATL. De plus, les perturbations neuropsychologiques de ces patients sont relativement restreintes à la mémoire sémantique et suivent un pattern cohérent. Selon les auteurs, si l'APP sémantique impliquait une dégénérescence généralisée des régions spécifiques à une modalité, alors elle devrait entraîner des déficits cognitifs bien au-delà de la mémoire sémantique, comme observé dans la MA. Ils rejettent donc l'idée que système conceptuel et système sensorimoteur soient analogues, tout en accordant une importance aux cortex primaires et associatifs « modalités-spécifiques ». Leur modèle théorique peut être considéré comme hybride, suggérant que les

modalités spécifiques (spokes) et l'information amodale (au sein du hub transmodal) sont des composants essentiels de la représentation (Michel, 2021).

Une approche complémentaire à l'hypothèse du « hub-and-spoke » est proposée par Reilly et ses collaborateurs (2016) dans le « dynamic multilevel reactivation framework ». Les auteurs décrivent ce modèle comme étant une approche hybride moyennement ancrée, prédisant des relations flexibles entre les représentations sensorimotrices et les représentations amodales symboliques. Ils suggèrent que différents « hubs » existent en relation avec les « spokes » : les « hubs » de premier ordre (situés dans le gyrus angulaire et le gyrus temporal postérieur moyen) qui rassemblent les caractéristiques sensorielles hétéromodales à partir des connexions avec les régions sensorimotrices et les « hubs » d'ordre supérieur (situés dans les lobes temporaux antérieurs) qui transforment ces informations en une représentation symbolique. Dès lors, la connaissance conceptuelle est abstraite de ses origines sensorimotrices pour converger vers une représentation amodale. Toutefois, celle-ci est considérée comme « brute », elle requerra des réactivations sensorimotrices des systèmes « spokes » selon le stimulus et le contexte de la tâche. De ce point de vue, c'est donc la demande de la tâche et la profondeur du traitement qui moduleront l'interaction entre ces composants, à partir d'un système de contrôle cognitif (Reilly et al., 2016).³

Dans ces propositions théoriques, même si l'importance des propriétés/attributs sensorimoteurs est reconnue, les informations sensorielles et motrices de l'environnement sont transformées dans un format de représentation amodal symbolique dans lequel il n'y a pas de représentation directe des événements sensoriels ou moteurs (Barsalou, 2008; Kiefer & Pulvermüller, 2012). Au contraire, les approches modales soutiennent que les connaissances sont ancrées dans les systèmes de perception, d'action et d'émotion (pour des revues voir Fischer & Zwaan, 2008; Kemmerer, 2010; Kiefer & Pulvermüller, 2012). Depuis la fin du 20^{ème} siècle, un nombre exponentiel de travaux se sont développés explorant les informations sensorielles et motrices (et également émotionnelles) comme étant une partie intégrante au traitement et à la représentation sémantique. Il s'agit de l'hypothèse d'embodiment.

³ Cette dernière proposition se rapproche de la vision pluraliste que nous développerons, plus tard, à la section 2.4.

2. Les théories modales et d'embodiment

Les approches soutenant la nature modale des connaissances affirment que le système conceptuel est ancré dans les systèmes modaux cérébraux et investiguent les interactions entre la cognition, le corps et l'environnement (Barsalou, 2008; Martin, 2007; Pulvermüller & Fadiga, 2010; Vigliocco et al., 2004). Selon cette perspective, la connaissance s'acquiert à travers les expériences du corps et provient de diverses modalités incluant les systèmes sensoriels (e.g., vision, goût, odeur), moteurs, kinesthésiques et proprioceptifs (e.g., préhension, manipulation d'objets, feedback interne des muscles et articulations), émotionnels (e.g., peur, excitation), et cognitifs (e.g., traitement attentionnel, langagier). Ces expériences, que l'individu fait de l'environnement via son corps, constituent des traces mnésiques distribuées à travers de multiples systèmes neuronaux. La réactivation de ces traces (également appelée émergence) est possible grâce au principe de simulation ; le cerveau simule (recrée) les états multimodaux associés aux traces de ces expériences et fait émerger la représentation associée (Barsalou, 2008, 1999). De ce point de vue, un concept est une simulation sensorimotrice impliquant la réactivation partielle des régions cérébrales qui participent à l'acquisition du concept. Par exemple, lorsque l'on s'assoit sur une chaise,

[...] le cerveau capture les états à travers les différentes modalités sensorimotrices et les intègre dans des représentations multiples stockées en mémoire (e.g., à quoi ressemble une chaise, l'action de s'asseoir, l'introspection du confort et de la relaxation). Plus tard, lorsque le concept « chaise » est évoqué, les représentations multimodales capturées durant les expériences antérieures avec ce concept sont réactivées pour simuler la manière dont le cerveau se représente la perception, l'action et l'introspection qui y sont associées. (Barsalou, 2008, p.618)

Les représentations ne sont donc pas stockées mais émergent de manière dynamique à partir des expériences passées et présentes (Versace et al., 2014). Le contexte, la situation dans laquelle se trouve l'individu, est un facteur important qui contribue à l'émergence de la connaissance. L'environnement physique et social ainsi que l'activité et les objectifs de l'individu font partie intégrante de la dynamique du fonctionnement cognitif. On parle donc également d'approche située de la cognition ; la connaissance à propos de quelque chose étant simulée dans un contexte de situations probables (e.g., les différentes représentations d'un tournevis ne vont pas s'activer identiquement si l'on souhaite l'utiliser pour insérer une vis ou

pour ouvrir un pot de peinture) (voir Barsalou, 2003, 2005, 2008, Barsalou et al., 2003, Versace et al., 2018, Yee & Thompson-Schill, 2016 et Yeh & Barsalou, 2006 pour les revues à propos des informations situationnelles dans la représentation et le traitement des connaissances).

De nombreuses études issues des neurosciences et de la psychologie ou neuropsychologie cognitive ont tenté de démontrer l'interaction entre corps, systèmes moteur, sensoriel et émotionnel. Dans le point suivant, nous évoquons des exemples de preuves empiriques récentes.

2.1 Soutien empirique des approches incarnées

Des preuves pour des interactions directes entre traitement conceptuel et traitement perceptuel ont été récoltées en utilisant une variété de techniques et de tâches. Au niveau comportemental, les études ont généralement utilisé des paradigmes qui évaluent l'impact du traitement langagier sur des tâches sensorimotrices et vice versa (e.g., Boulenger et al., 2006; Meteyard et al., 2008). Les tâches de vérification de propriétés ont souvent été utilisées pour évaluer les connaissances conceptuelles des objets et leurs propriétés. Elles consistent à demander aux participants de vérifier le plus rapidement possible si une propriété particulière pour un concept donné (e.g., herbe) est vraie (e.g., verte) ou pas (e.g., bleue). En accord avec les théories de simulation, le temps de réponses des sujets reflète l'effort requis pour former une simulation adéquate du concept et de ses propriétés. Ces tâches montrent que vérifier une propriété dans une modalité (e.g., auditive : *bruyant* pour mixeur) prendra plus de temps après avoir vérifié une propriété dans une autre modalité (e.g., gustative : *acide* pour citron) que dans la même modalité (e.g., auditive : *bruissement* pour feuille) (Marques, 2006; Pecher et al., 2003; Spence, Nicholls, et al., 2001; Vermeulen et al., 2007). Cet effet de modalité (*modality switch effect*, en anglais) a été observé pour la vérification de caractéristiques visuelles par rapport à un stimulus tactile ou auditif (e.g., Spence, Nicholls, et al., 2001; Van Dantzig et al., 2008), pour l'attention portée à des systèmes de simulation auditif et haptique (Louwerse & Connell, 2011) et également émotionnels (Vermeulen et al., 2007). Il témoigne, dès lors, de l'implication des systèmes sensoriels dans le traitement sémantique. Il a également été montré que le traitement perceptuel et conceptuel partage un désavantage dans la modalité tactile par rapport aux autres modalités perceptuelles ; les individus sont plus lents et moins précis dans la détection de stimuli relatifs aux sensations tactiles (Spence, Nicholls, et al., 2001; Turatto et al., 2004) et le sont tout autant

pour détecter des mots évoquant le toucher (Connell & Lynott, 2010). Ensemble, ces résultats soutiennent l'hypothèse que les représentations perceptuelles et conceptuelles sont, au moins partiellement, basées sur les mêmes systèmes. Des arguments d'autant plus convaincants ont été rapportés dans des tâches démontrant un effet d'interférence sensorimotrice (e.g., Rey et al., 2014; Rey et al., 2016b; Riou et al., 2015). A titre d'exemple, plusieurs études utilisant le paradigme d'amorçage (présentation brève d'une amorce suivie d'une cible à traiter) démontrent que la présentation en amorce d'un masque visuel sans sens interfère sur le traitement d'un concept en empêchant la simulation de ses propriétés perceptuelles, et cela même si l'accès aux propriétés visuelles du concept n'est pas explicitement requis (e.g., Rey et al., 2017; Vallet et al., 2011). De plus, cet effet est réactivé en mémoire même en l'absence de présentation du masque (Rey et al., 2015). Cette réactivation de l'effet d'interférence sensorielle démontre alors l'équivalence fonctionnelle entre les composants perceptuels et la réactivation de ces composants en mémoire (Versace et al., 2018).

Afin de démontrer que les connaissances conceptuelles sont ancrées dans leurs caractéristiques sensorimotrices, les chercheurs ont tenté de montrer que ces caractéristiques sont systématiquement activées lors de l'accès à la connaissance. De nombreuses études d'imagerie cérébrale ont exploré la mesure dans laquelle les différentes propriétés d'un objet (e.g., couleur, action, son) activent le même système neural que lorsque ces propriétés sont réellement perçues (pour une revue voir par exemple Martin, 2007). Par exemple, Simmons et ses collaborateurs (2007) montrent que vérifier les propriétés de couleur dans un texte (e.g., la banane est jaune) conduit à une activation dans les mêmes régions du cortex visuel (gyrus fusiforme gauche) qu'une tâche de perception de couleur (voir aussi Hsu et al., 2011; Martin et al., 1995). D'autres constatent que la lecture passive de mots liés au parfum (e.g., cannelle) augmente l'activation dans les aires primaires olfactives du cortex piriforme, actif lors de l'olfaction (González et al., 2006; voir aussi Barrós-Loscertales et al., 2012). Un lien univoque a également été observé entre le système cérébral auditif et conceptuel ; la lecture de noms d'objets qui sont fortement associés à des sons (e.g., téléphone) activent des régions impliquées dans le traitement et la perception auditive (gyri temporal moyen postérieur et supérieur) (Kiefer et al., 2008). Finalement, une étude englobant plusieurs modalités montre que les décisions sémantiques qui indexent la connaissance visuelle, tactile, gustative et auditive activent des régions corticales respectives associées à l'encodage de ces expériences sensorielles (Goldberg et al., 2006 ; voir également Fernandino, Humphries, et al., 2016). La récupération des connaissances conceptuelles semble donc reposer sur l'activation des régions cérébrales spécifiques aux

modalités qui sont associées à l'expérience relative à la représentation des concepts (voir Noppeney, 2009 pour une revue des preuves en imagerie fonctionnelle).

Il existe également de nombreuses preuves impliquant l'expérience d'action dans la représentation sémantique des concepts (e.g., Borghi, 2005; Boulenger et al., 2009; Glenberg & Gallese, 2012; Hauk et al., 2004; Hauk & Pulvermüller, 2004; Pulvermüller et al., 2001; Shtyrov et al., 2004). Celles-ci ont principalement été récoltées dans des études impliquant le système moteur dans la compréhension du langage. Par exemple, la direction du mouvement impliquée dans une phrase (e.g., « tu as rendu le livre de John ») facilite le traitement d'un mouvement congruent avec le corps (e.g., appuyer sur une touche réponse loin du corps) alors qu'il l'inhibe si le mouvement est incompatible (e.g., appuyer sur une touche réponse proche du corps) (Glenberg & Kaschak, 2002). Donc, la simple compréhension d'une phrase active les représentations reliées à l'action. Pour citer un autre exemple, Stanfield et Zwaan (2001) ont rapporté, lors d'une description verbale impliquant une orientation verticale (e.g., « John met le crayon dans une tasse »), que les participants étaient plus rapides pour traiter l'objet correspondant présenté dans la même orientation (e.g., verticale) que pour traiter ce même objet dans une orientation qui n'est pas congruente (e.g., horizontale). Du point de vue de la cognition incarnée, le lecteur a perceptuellement simulé l'action dans la phrase et donc l'image mentale du crayon est automatiquement dans l'orientation appropriée, facilitant ainsi la reconnaissance de l'objet avec une orientation correspondante. Des résultats similaires sont obtenus concernant la forme (e.g., Zwaan et al., 2002) et la couleur (e.g., Connell, 2007). Les auteurs concluent que ces données soutiennent une théorie incarnée de la signification qui relie le sens des phrases à l'action humaine. Cela a incité de nombreuses études à examiner l'activité motrice durant la perception de mots ou de phrases (pour une revue voir Pecher et al., 2011). Par exemple, il a été démontré que les verbes d'action impliquant la langue (e.g., lécher), les doigts (e.g., cueillir) ou les pieds (e.g., shooter) activent certains des mêmes circuits moteurs activés par le mouvement de la langue, des doigts ou des pieds (Hauk et al., 2004; Hauk & Pulvermüller, 2004). Il a également été mis en évidence que voir ou dénommer des images d'objets manipulables activent deux aires impliquées dans la planification et la réalisation d'actions (le cortex ventral prémoteur gauche et le cortex pariétal postérieur gauche) (Chao & Martin, 2000, voir aussi Chao et al., 1999 et Gerlach et al., 2000). En outre, les objets impliquant une manipulation similaire (e.g., piano et machine à écrire) activent des régions cérébrales identiques impliquées dans l'action (Yee et al., 2010). Ces patterns d'activation suggèrent que la signification conceptuelle des mots d'action est ancrée dans les aires motrices et soulignent

le rôle des circuits du système moteur dans le traitement moteur et le traitement conceptuel (voir Aziz-Zadeh & Damasio, 2008 pour une revue d'imagerie fonctionnelle et Hauk et al., 2008 pour une revue d'électrophysiologie).

L'étude des patients présentant des déficits cérébraux affectant les aires impliquées dans le traitement sensorimoteur est particulièrement pertinente pour évaluer si les régions sous-tendant la perception et l'action jouent également un rôle dans la connaissance conceptuelle. Dans ce cas, il serait logique de prédire qu'un trouble dans une zone spécifique à une modalité (e.g., visuelle, gustative, motrice) devrait affecter la capacité à récupérer des informations spécifiques à cette modalité sur un objet, tandis que l'accès aux caractéristiques correspondant à des régions cérébrales intactes serait moins affecté (Yee et al., 2014). Bonner et Grossman (2012) ont testé cette hypothèse avec des patients présentant une variante logopénique de l'aphasie primaire progressive, connue comme étant associée à une atrophie des régions temporales supérieures et pariétales inférieures de l'hémisphère gauche (Grossman, 2010), y compris le cortex d'association auditif (Lewis et al., 2004; Maeder et al., 2001). Lors d'une tâche de reconnaissance de mots dans trois modalités (auditive, visuelle et manipulation), la réduction de densité de matière grise dans la région du cortex associatif auditif chez ces patients était directement corrélée avec un trouble d'accès aux concepts pour lesquels le son est pertinent (e.g., tonnerre) (Bonner & Grossman, 2012). Ces résultats sont corroborés par d'autres études rapportant une altération du traitement conceptuel de la connaissance liée au son associée à un dommage dans les aires précoces auditives (Kiefer et al., 2008; Trumpp et al., 2013). Dans l'étude de Wolk et ses collaborateurs (2005), un patient présentant une agnosie visuelle (jonction occipito-temporale inférieure droite) a présenté plus de difficultés pour dénommer des images d'objets dont les représentations s'appuient fortement sur des informations visuelles (e.g., êtres vivants) que des objets dont les représentations sont moins tributaires des informations visuelles (e.g., artéfact qui sont généralement manipulés), alors que les connaissances encyclopédiques et auditives du patient sur les deux types d'objets étaient relativement préservées.

Les dysfonctions du cortex moteur inhérentes à la maladie de Parkinson permettent de tester le système conceptuel dans le cas d'une altération dans le réseau moteur. Des recherches ont ainsi permis d'étudier le rôle des représentations motrices dans le traitement des concepts d'action (e.g., Boulenger et al., 2009; Fernandino et al., 2013a; Fernandino et al., 2013b). Un déficit dans le traitement des verbes d'action a été mis en évidence chez ces patients (Fernandino et

al., 2013a). Plus particulièrement, l'étude des verbes d'action impliquant la langue, les doigts ou les pieds qui activent certains des mêmes circuits moteurs activés par le mouvement de ces mêmes zones (Hauk et al 2004), montre que ce traitement est sélectivement déficitaire chez des patients ayant la maladie de Parkinson (Boulenger et al., 2009; Fernandino et al., 2013a).

Dans le contexte de la MA, malgré l'identification de nombreux déficits sensoriels (Albers et al., 2015), il existe un manque d'études approfondissant la relation entre le système perceptuel et conceptuel dans cette pathologie. C'est précisément sur cette question que nous nous pencherons dans le chapitre 4.

Enfin, en influençant temporairement l'état fonctionnel d'une aire cérébrale spécifique grâce à la *Transcranial Magnetic Stimulation* (TMS, stimulation magnétique transcranienne), les performances dans des tâches conceptuelles impliquant des stimuli pour lesquels l'information liée à l'action ou à l'information sensorielle est pertinente peuvent également être évaluées (e.g., Buccino et al., 2005; Devlin & Watkins, 2007; Pulvermüller, Hauk, et al., 2005). Par exemple, dans une tâche de décision lexicale, il a été montré que la stimulation magnétique de l'aire du cortex moteur associée au bras augmente les temps de réponses pour les mots d'action reliés aux bras, et la TMS appliquée aux aires motrices associée aux jambes ralentit le traitement des mots d'action liés aux jambes (Pulvermüller, Hauk, et al., 2005). De nombreuses études utilisant cette méthode permettent donc de fournir les preuves compatibles avec le rôle fondamental de l'information sensorimotrice dans le traitement langagier se référant à l'action et la perception (voir Meteyard & Vigliocco, 2008 pour une revue globale sur le rôle de l'information sensorimotrice dans la représentation sémantique).

2.2 Des approches incarnées divergentes

Il existe ainsi des éléments comportementaux, neuropsychologiques et neurophysiologiques qui indiquent que les concepts (et les zones cérébrales impliquées dans leur traitement) sont fonctionnellement et neuro-anatomiquement liés aux régions cérébrales sensorielles/motrices. Ensemble, ces données montrent que la représentation spécifique à la modalité des caractéristiques des concepts dans les aires cérébrales sensorielles/motrices correspondantes est un principe général qui s'applique à de nombreuses modalités. De nombreux travaux (dont des exemples ont été présentés au point précédent) se sont multipliés tentant d'apporter des preuves en faveur de ce principe, développant des expérimentations dans divers domaines (e.g.,

traitement sensoriels/perceptifs, action, imagerie mentale, rotation mentale). Cela a eu pour conséquence de rendre l'interprétation commune de ces travaux parfois difficile, donnant lieu à de nombreuses définitions de la « cognition incarnée », sans qu'un consensus ne soit clairement formulé. Les conceptualisations de l'embodiment varient donc fortement selon les aires de recherches et les écoles théoriques, amenant à une gamme d'interprétation étendue et un manque de cadre théorique clair qui rassemblent les différentes conceptualisations (Lux et al., 2021; voir Gentsch et al., 2016 pour une proposition d'un cadre compréhensif métathéorique). Meteyard et al. (2012) proposent une revue de littérature dans laquelle ils tentent de mettre en lumière ces différentes positions théoriques en classant les plus pertinentes sur un continuum allant de l'« embodiment fort » (la cognition est entièrement limitée aux systèmes de perception, d'action et d'émotion, e.g., Gallese & Lakoff, 2005) aux théories des représentations totalement désincarnées, c'est-à-dire abstraites/symboliques (e.g., Collins & Loftus, 1975). Concernant les théories d'embodiment, se trouvent d'un côté les théories « faiblement ancrée » qui soutiennent que l'information sensorimotrice forme de manière critique les représentations conceptuelles et, durant la cognition *online*, ces mêmes codes sensorimoteurs façonnent activement le traitement. De ce point de vue, l'information sensorimotrice a un rôle représentationnel, il y a une dépendance partielle aux systèmes sensoriels et moteurs, mais pas aux régions des cortex primaires (e.g., Simmons & Barsalou, 2003; Vigliocco et al., 2004). De l'autre côté « radicalement ancré », la sémantique est complètement dépendante des systèmes sensorimoteurs, ceux-ci étant utilisés pour représenter le contenu sémantique durant la simulation. Sémantique et traitement sensorimoteur sont donc perçus comme étant isomorphiques. Certains théoristes argumentent dès lors que les représentations mentales n'existent pas (e.g., Chemero, 2011; Wilson & Golonka, 2013; voir l'hypothèse de remplacement de Shapiro, 2010). La question théorique cruciale de la notion de représentation conceptuelle elle-même reste donc largement débattue au sein de ce large champ théorique (voir Versace et al., 2018 pour une discussion sur la pertinence de discuter l'existence ou non des représentations). Notons également que cette théorie ne fait pas l'unanimité, plusieurs écrits manifestant un regard critique (Aizawa, 2015; Goldinger et al., 2016), voire opposé (Mahon, 2015). L'« incarnation » des concepts dans les systèmes cérébraux sensorimoteur et affectif reste donc au cœur d'un débat actuel (voir par exemple Kiefer & Pulvermüller, 2012 pour une revue). Les visions ancrées ont notamment posé un réel défi pour les concepts abstraits (Chatterjee, 2010; Dove, 2009, 2016; Mahon & Caramazza, 2009; Weiskopf, 2007). Les approches actuelles s'accordent sur un ancrage sensorimoteur des concepts concrets et un ancrage émotionnel/affectif ou social des concepts abstraits (voir

Pexman, 2020; Vigliocco et al., 2009; voir également Borghi & Cimatti, 2012, Borghi & Binkofski, 2014, Borghi et al., 2019, Pexman et al., 2023 pour les propositions d'un ancrage social des concepts abstraits). Etant donné notre intérêt pour les concepts concrets, seules les théories pertinentes pour ce domaine seront évoquées dans cette partie théorique.

Dans la prochaine section, nous détaillerons les théories modales qui apparaissent les plus judicieuses dans ce vaste champ d'étude, en se concentrant sur les théories ciblant la représentation de la signification des mots concrets.

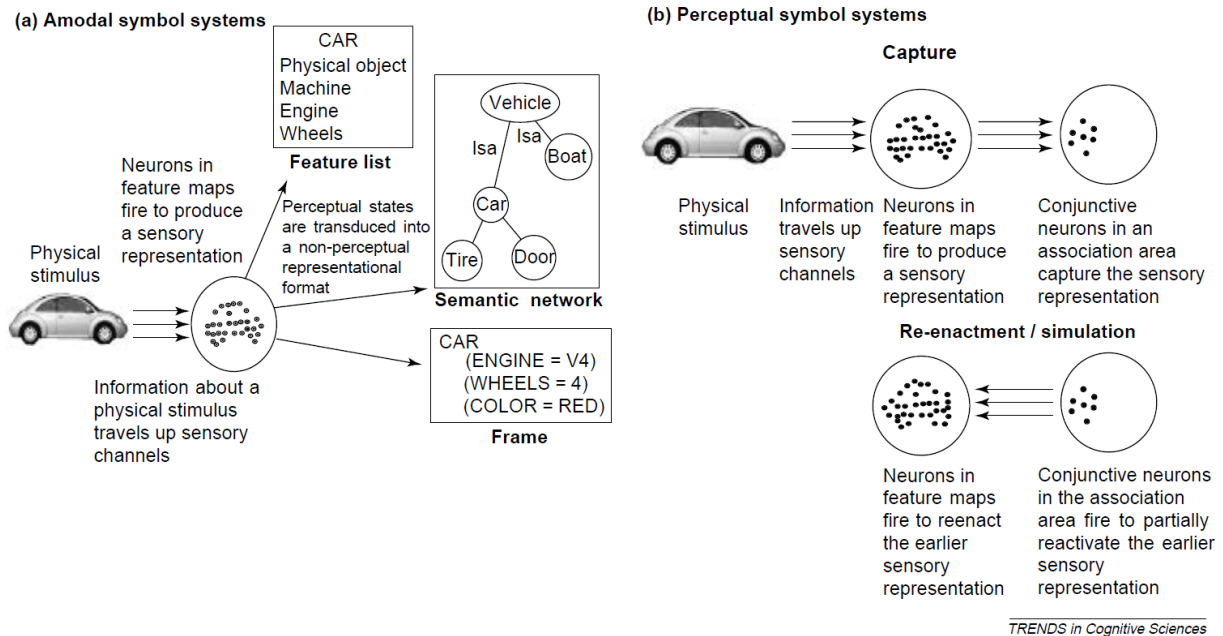
2.3 Les modèles théoriques modaux ou non abstraits

2.3.1 La théorie des systèmes de symboles perceptuels

La théorie des systèmes de symboles perceptuels (Perceptual Symbol Systems, PSS, Barsalou, 1999) retient l'idée de la symbolique des théories traditionnelles mais l'implémente différemment en proposant une dynamique de simulation. Selon Barsalou, les approches amodales et modales se distinguent par leur principe : la « transduction » vs « re-instanciation » (« re-enactment ») (voir figure 4).

Figure 4

Systèmes de symboles perceptuels selon Barsalou, Simmons et al. (2003)



Les approches amodales traduisent (« transduction ») les états perceptuels dans un format de représentation amodal incluant, par exemple, les listes de caractéristiques et le réseau sémantique. Par contre, dans le PSS, des systèmes sensorimoteurs neuronaux deviennent actifs (« re-enactment ») pour se représenter l'objet dans la modalité correspondante (e.g., modalité visuelle lors de la perception d'une voiture) et des neurones conjonctifs dans les aires associatives capturent ces représentations et les stockent en mémoire. En l'absence d'un percept, ces neurones conjonctifs vont partiellement s'activer pour faire émerger/simuler (« réinstancier ») les états sensoriels initiaux. Un symbole perceptuel correspond donc en une simulation neurophysiologique d'un ensemble de représentations sensorimotrices. Ce principe de simulation s'applique aux aspects sensoriels de l'expérience (e.g., vision, audition, olfaction) mais également proprioceptifs (e.g., activité motrice) et introspectifs (e.g., émotions). Cette théorie soutient que ces simulations se produisent à travers différents processus cognitifs incluant la perception de haut niveau, la mémoire implicite, la mémoire de travail, la mémoire à long terme et la connaissance conceptuelle (Barsalou, 2008).

La théorie des zones de convergence de Damasio (1989) ainsi que la théorie étendue de Simmons et Barsalou (2003), présentées ci-après, permettent de construire un système de

représentation unique contrôlé par de multiples mécanismes de simulation. Dans ces approches, l'idée de « re-instanciation » du PSS est relativement similaire mais les auteurs précisent davantage la manière dont les systèmes sensorimoteurs sont sollicités.

2.3.2 La théorie des zones de convergence

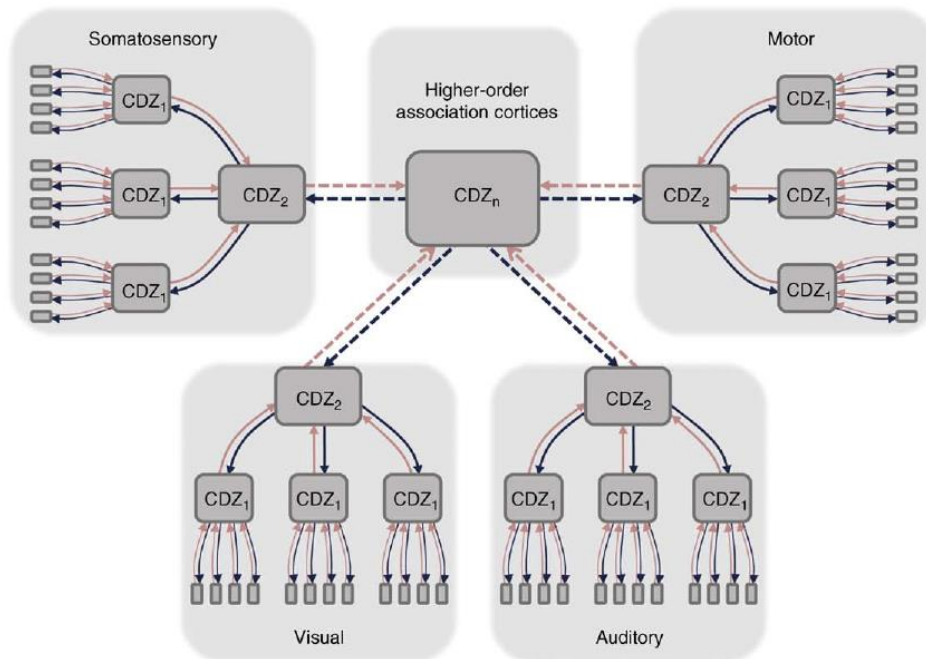
La théorie des zones de convergence a été proposée par Damasio (1989, 1994). Elle suggère que, lorsqu'une entité est perçue (stade précoce de la perception), ses propriétés (e.g., sa couleur, son orientation, la direction du mouvement s'il s'agit d'un objet animé) déclenchent un pattern d'activation neurale qui lui-même active des zones de convergence de premier ordre (appelée également zones de convergence locales) au sein des cortex sensoriels et moteurs primaires. Ensuite, des zones de convergence de second ordre (non locales) combinent ces activités des zones de premier ordre (voir figure 5). Ce pattern de traitement conjonctif hiérarchique se produit de façon continue jusqu'à ce que toutes les informations pertinentes forment une représentation cohérente. Les zones de convergence ne contiennent pas la représentation intégrée elle-même,

[elles] déclenchent et synchronisent des schémas d'activité neuronale correspondant à des représentations fragmentaires topographiquement organisées de la structure physique, qui ont été pertinemment associées dans l'expérience, sur la base de la similarité, du placement spatial, de la séquence temporelle, ou d'une coïncidence temporelle, ou d'une combinaison de ces éléments. (Damasio, 1989, p.129)

Dans ce modèle, il n'existe pas une aire finale d'intégration, la connaissance émerge d'un processus de rétro-activation au sein des zones de convergence qui se produit dans de multiples régions. Ce cadre théorique suggère que, tant lors de la perception que lors de la récupération en mémoire, les images mentales que nous expérimentons proviennent de l'activité des sites sensorimoteurs primaires (Meyer & Damasio, 2009). Les zones de convergence locales sont ainsi activées tant lors de la perception d'un objet que lors de la récupération sémantique puisque cette dernière nécessite une reconstitution des états sensorimoteurs actifs lors de l'encodage. Notons que des biais peuvent affecter cette reconstitution (« re-enactment ») qui n'est jamais parfaite (Simmons & Barsalou, 2003). Cette idée de « re-enactment » est très proche du principe neural de l'imagerie mentale, à la différence qu'elle crée une simulation plus complexe que celle impliquée dans la mémoire, la conceptualisation ou la compréhension (Barsalou, 1999 cité par Simmons & Barsalou, 2003).

Figure 5

Modèle de zones de convergence de Damasio issu de Meyer & Damasio (2009)



Note. Les petits rectangles représentent des neurones dans les cortex sensorimoteurs primaires. Ceux-ci engendrent des activations dans CDZ₁ et renvoient leur projection au CDZ₂, zones de convergence de premier ordre des cortex sensoriels et moteur primaires. CDZ_n représentent les zones de convergence de second ordre des cortex primaires associatifs.

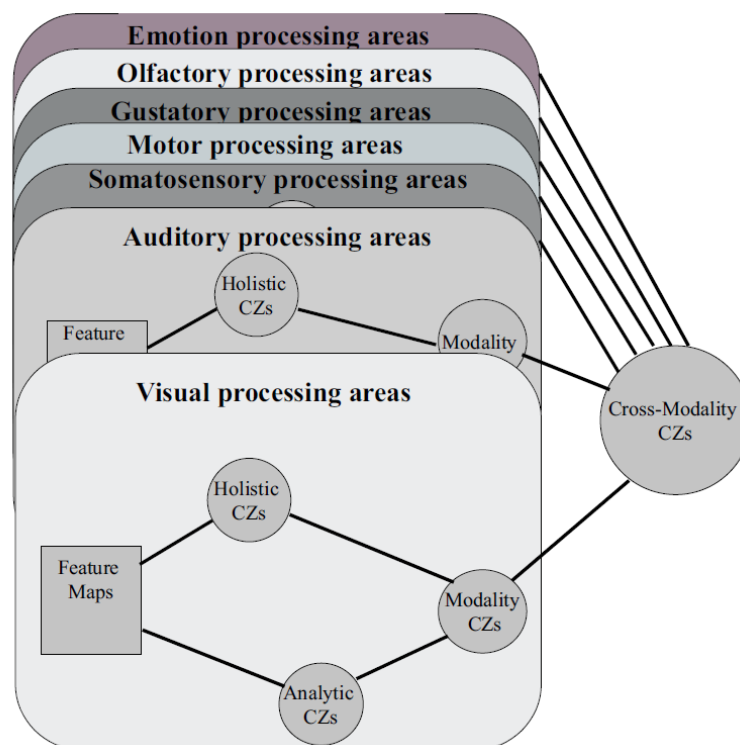
2.3.3 La théorie topographique conceptuelle

Simmons et Barsalou (2003) étendent le modèle de Damasio et développent la théorie topographique conceptuelle. Selon ces auteurs, celle-ci permet d'expliquer les déficits des patients présentant des troubles « catégorie-spécifiques » ou « modalité-spécifiques » tout en unifiant les apports théoriques amenés par la théorie sensori-fonctionnelle (e.g., Farah & McClelland, 1991; Warrington & McCarthy, 1987), la théorie domaine spécifique (e.g., Caramazza, 1998; Caramazza & Shelton, 1998) et la théorie de la structure conceptuelle (e.g., Caramazza et al., 1990; Tyler & Moss, 2001; Tyler et al., 2000). Comme représenté dans la figure 6, ce modèle est composé de « cartes caractéristiques » (« Feature maps ») 1) qui codent l'information des différents états (i.e., visuel, auditif, moteur, somatosensoriel, olfactif, haptique, émotionnel) (e.g., percevoir une voiture va activer ses propriétés visuelles et de mouvement). Ensuite, les zones de convergence (ZC) analytiques 2) vont regrouper et créer des configurations de caractéristiques (e.g., toutes les roues de voitures sont cylindriques et

possèdent des pneus). A ce stade, l'attention portée, par exemple à une roue, va activer des neurones conjonctifs qui vont se chevaucher avec ceux des roues précédemment rencontrées, permettant de lier les différentes caractéristiques visuelles d'une roue aux autres. Les connaissances des propriétés analytiques se développeront donc avec l'apprentissage. Subséquemment, des ZC holistiques 3) capturent les relations entre de multiples propriétés analytiques (comme la configuration des yeux, de la bouche et du nez dans un visage). Ce sont les « ZC modalités » qui 4) vont combiner les informations statistiques (corrélations diverses) distribuées à travers la ZC analytique et holistique. C'est à ce stade que sont formées les représentations catégorielles. Comme représenté sur la figure, cette organisation hiérarchique se produit dans chaque domaine sensoriel séparément. Enfin, les ZC « cross-modal » 5) rassemblent les propriétés entre les modalités (à partir des « ZC modalités ») et créent la représentation complète d'une catégorie à travers les modalités.

Figure 6

Architecture de la théorie topographique conceptuelle selon Simmons & Barsalou (2003)



Les auteurs complètent ce modèle complexe par un principe de similarité topographique expliquant l'émergence des catégories, qui se produit selon la topographie des aires

d'association cérébrale (voir également Plaut, 2002 pour une approche computationnelle similaire). Ils proposent que « la proximité spatiale de deux neurones dans une zone de convergence reflète la similarité des caractéristiques qu'elles rejoignent. Lorsque deux ensembles de caractéristiques conjointes se ressemblent, les neurones conjonctifs qui les relient se rapprochent dans la topographie spatiale de CZ » (Simmons & Barsalou, 2003, p.457). Les auteurs exemplifient leur propos de la manière suivante. Prenons l'exemple d'une tête humaine, de celle d'un singe et d'un éléphant. Un grand nombre de neurones distribués va s'activer au sein de la carte traitant les caractéristiques visuelles. Ensuite, les neurones de la zone de convergence visuelle rassemblent ces caractéristiques en associant les neurones respectifs types. Le visage de l'humain et du singe seront alors plus proches dans la ZC visuelle que la tête de l'éléphant. Toutefois les neurones conjonctifs qui représentent ces trois têtes seront plus proches entre eux que ne le seront ceux qui traitent des objets totalement différents (e.g., stylo). Cette organisation permet ainsi d'expliquer la production des représentations de catégories individuelles. Une lésion dans ce système distribué produira une variété de déficits qui correspond à ceux rencontrés dans la littérature.

Contrairement à Damasio, ces auteurs considèrent que les ZC locales peuvent fonctionner de manière autonome, en particulier pour les processus automatiques de catégorisation. Par exemple, dans le cas de la catégorisation d'objets familiers ou d'association de mots, les neurones actifs peuvent produire une réponse correcte sans qu'il y ait nécessairement une activation de la carte complète des caractéristiques. Par contre, lorsque les stratégies de traitement nécessitent une construction, une manipulation ou une évaluation d'une représentation, les simulations des caractéristiques complètes de la carte sont nécessaires.

Les auteurs offrent également un point de vue intéressant concernant la représentation lexicale. Lors de la perception d'un mot, les caractéristiques acoustiques des phonèmes sont détectées dans le système auditif et les « cartes caractéristiques » du système visuel détectent les mots écrits. Les caractéristiques des phonèmes et des lettres étant relativement uniques, leur représentation est topographiquement isolée des autres dans les zones de convergence d'ordre supérieur. Par exemple, les mots parlés doivent être relativement distincts des autres stimuli auditifs, avec toutefois des analogies existantes pour le langage écrit. Simmons et Barsalou (2003) placent donc le lexique comme jouant un rôle central dans le traitement conceptuel et ne l'envisagent donc pas comme un système séparé. Dans la même idée, Vigliocco et al. (2004) proposent que les représentations des caractéristiques (organisées selon les modalités) font

partie intégrante de la structure conceptuelle et sont reliées aux représentations lexico-sémantiques qui fournissent une interface entre la connaissance conceptuelle et les autres informations linguistiques (syntaxe et phonologie).

2.3.4 Le modèle Act-In

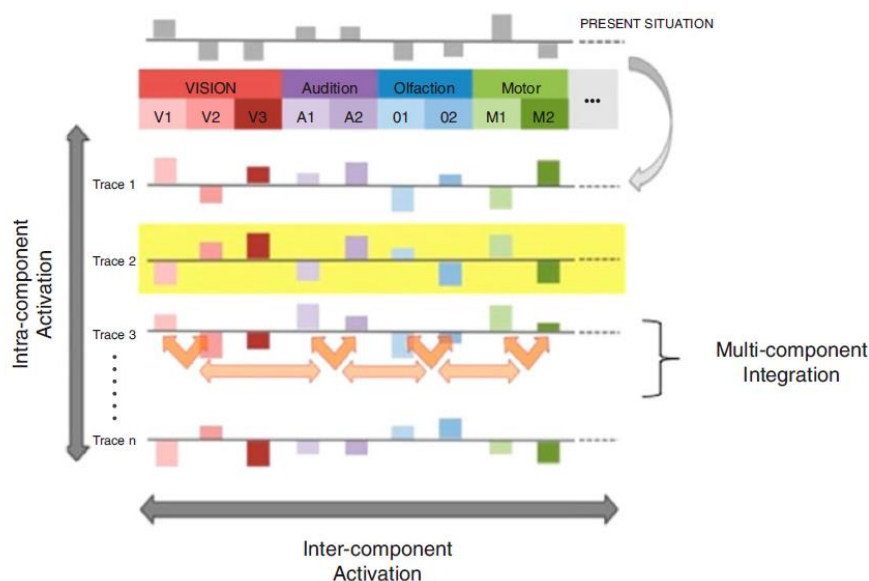
Alors que de nombreuses théories (comme celles présentées précédemment) tentent d'expliquer les interactions entre structure conceptuelle et informations sensorimotrices, le modèle Activation-Intégration (Act-In, Versace et al., 2014) propose de spécifier les mécanismes qui sont à l'origine de l'émergence des connaissances dans une perspective incarnée et située de la cognition. Il s'agit d'un modèle fonctionnel de la mémoire développé à partir des modèles à traces multiples (e.g., MINERVA2, Hintzman, 1986) qui ont initialement défini les mécanismes d'émergence des connaissances à partir de l'activation simultanée de multiples traces en mémoire. Ces modèles postulent que la mémoire conserverait des traces de toutes les expériences d'un individu, celles-ci incluant toutes les caractéristiques sensorielles et motrices des objets et de son environnement. Il s'agit d'une conception unitaire de la mémoire contenant les traces multidimensionnelles de nos expériences passées (Versace et al., 2018).

Le modèle Act-In (voir figure 7) reprend ces principes et propose plus spécifiquement de comprendre les mécanismes impliqués dans l'émergence des représentations sur le plan mnésique via 2 processus : l'activation (inter-traces et intra-traces) et l'intégration (voir également Reder et al., 2009). La perception (ou un état interne) d'un élément (e.g., un chien) (ou de la situation présente) va engendrer une activation des mêmes composants que celui-ci qui se propage automatiquement en cascade vers d'autres composants associés (similaires) à la trace mnésique selon leur points communs (e.g., les autres animaux à 4 pattes et à poils). Il s'agit de l'activation « inter-traces » (représentée en colonne dans la figure 7) qui va permettre l'émergence de connaissances conceptuelles. En parallèle, l'activation d'un composant va se diffuser aux autres composants associés à cette trace (e.g., auditif : l'aboiement), appelée activation « intra-trace » (représentée par les lignes horizontales), qui permettra l'émergence d'un souvenir spécifique (i.e., épisodique) (e.g., le souvenir du chien de votre ancien voisin qui aboyait toute la journée). Cette double activation simultanée est initiée à la fois par l'expérience vécue (dans l'exemple, la perception d'un chien) mais également par les propriétés réactivées non présentes dans l'expérience actuelle (les souvenirs liés aux chiens). Le processus d'intégration permet d'intégrer de manière dynamique l'ensemble des composants de la trace

mnésique (i.e., sensori-moteurs, contextuels, émotionnels) afin de faire émerger la représentation mentale.

Figure 7

Représentation schématique du modèle Act-In selon Versace et al. (2014)



Note. Chaque ligne représente une trace mémorielle (un évènement) et chaque colonne représente une composante de cette trace.

Ce modèle s'inscrit dans un système de mémoire unique dans lequel la réactivation des traces multidimensionnelles engendre l'émergence d'un souvenir. Celui-ci est constitué du couplage entre l'expérience passée et présente. Selon la quantité des traces réactivées, le souvenir sera soit épisodique (état spécifique associé à une expérience donnée) soit une connaissance sémantique (état associé à une catégorie d'expériences similaires) (Versace et al., 2009; Versace et al., 2014). De ce point de vue, les différentes formes de représentations en mémoire ne sont pas distinguées, les souvenirs épisodiques et sémantiques étant basés sur les mêmes composants (Brunel et al., 2015).

Plusieurs études ont permis d'illustrer ces mécanismes d'activation (e.g., Brunel, Lesourd, et al., 2010; Lehmann & Murray, 2005; Rey et al., 2016a; Riou et al., 2015). Par exemple, Brunel et al. (2009) utilisent un paradigme d'amorçage à court terme composé de deux phases. La première phase d'apprentissage consiste en l'association entre une forme géométrique et un bruit blanc présentés pendant une durée de 500 ms, afin de permettre la construction de traces.

Ensuite, les chercheurs examinent, dans une seconde phase, l'effet d'amorçage de la forme géométrique sur le traitement de cibles auditives (i.e., catégoriser les sons aigus et graves). Dans leurs expérimentations, ils montrent que l'apparition de la forme, associée en mémoire au bruit blanc, facilite le traitement de la cible (dans la seconde phase) lorsque la forme est présentée durant 500 ms (similaire à la phase d'apprentissage). Ils suggèrent que la perception de la forme, associée en mémoire au bruit blanc, réactive ce bruit (comme s'il était réellement présent) et pré-active les zones neuronales auditives, facilitant le traitement des cibles auditives. Par contre, lorsque le son à catégoriser est présenté durant 100 ms, la performance des participants est ralentie. Les chercheurs suggèrent que le chevauchement qui se produit entre le bruit blanc réactivé et la cible à traiter perturbe le traitement. Leurs expérimentations permettent ainsi de démontrer que les mécanismes perceptifs et mnésiques sont indissociables, dans un système d'activation où les connaissances requièrent une simulation sensorimotrice.

Le modèle Act-In propose également d'expliquer trois phénomènes classiques de la littérature particulièrement intéressants au regard de notre intérêt spécifique pour les connaissances sémantiques : les effets de typicalité, le niveau de généralité des concepts et les troubles spécifiques aux catégories.

1) Les effets de typicalité

Certaines propriétés des concepts sont caractéristiques de la plupart de tous les exemplaires d'une catégorie (e.g., tous les mammifères ont des pattes, Smith et al., 1974). On parle de prototypes pour caractériser les exemplaires les plus typiques de leur catégories (Rosch & Mervis, 1975). Par exemple, un moineau est un exemplaire typique de la catégorie des oiseaux car il présente les caractéristiques les plus fréquemment rencontrées/les plus partagées (les plus classiques) de cette catégorie (e.g., ailes, plumes, vole). A contrario, le pingouin est un exemplaire atypique car, bien qu'étant un oiseau, certaines de ses caractéristiques (e.g., ailes sans plumes) s'écartent des exemplaires classiques (voir Cordier, 1993). De nombreuses études ont mis en évidence l'importance de la typicalité dans le traitement sémantique. Par exemple, dans une tâche de vérification de catégories, les participants sont plus rapides et plus précis lorsqu'ils doivent catégoriser des items typiques (e.g., décider si une pomme est un fruit) contrairement à des items atypiques (e.g., décider si une olive est un fruit) (e.g., Råling et al., 2015, 2017; Rogers et al., 2015). Des effets de facilitation des exemplaires typiques sont également mis en évidence dans des tâches de décision lexicale (Hauk, Patterson, et al., 2006),

de dénomination (Holmes & Ellis, 2006) ou encore de mémoire épisodique (Garcia-Marques et al., 2015).

Tous les exemplaires d'une catégorie ne sont donc pas équivalents. Le modèle Act-In suggère que « [...] l'activation inter-traces permet l'émergence des connaissances qui reflètent les composants qui sont les plus fréquemment trouvés dans les traces activées et qui sont donc caractéristiques des classes d'objets » (Versace et al., 2014, p. 293). Dans ce modèle, c'est donc l'activation inter-traces qui permet l'émergence de la connaissance prototypique.

2) Le niveau de généralité des concepts

Les concepts sont généralement organisés selon une segmentation concernant leur niveau d'inclusion (Rosch et al., 1976). Le niveau basique présente les attributs perceptuels et fonctionnels les plus partagés par les exemplaires de la catégorie (e.g., un chat). Le niveau subordonné partage des attributs de la plupart des membres de la catégorie (e.g., le sphynx) mais possède également des caractéristiques distinctives (e.g., absence de poils). Dans le niveau superordonné (e.g., animaux), peu d'attributs sont communs entre tous les membres de la catégorie. Plutôt que de différencier les concepts selon leur niveau d'inclusion, Versace et al. (2014) suggèrent de les différencier en termes de dynamique d'activation inter-traces. L'activation inter-traces permettrait d'abord l'émergence des exemplaires les plus prototypiques (niveau basique) (qui correspondrait à la « représentation » perceptuelle la plus prototypique du système de symboles perceptuels décrit au point 2.3.1). A partir de ce niveau, il est alors possible d'accéder à des connaissances subordonnées en prenant en compte des propriétés perceptuelles plus spécifiques. L'accès à des connaissances plus générales (niveau superordonné) est également possible grâce à la propagation d'activation inter-composant de l'activation inter-traces. Les auteurs proposent d'utiliser l'exemple du concept « banane » pour spécifier leur propos. La banane est caractérisée par sa couleur, sa forme, son goût ainsi que par les aspects moteurs relatifs à l'action qui y est associée (i.e., l'éplucher). Au niveau superordonné, le « fruit » comprend lui-même une grande variété de formes, couleurs, senteurs et goûts. L'ensemble des fruits sont regroupés par le fait qu'ils sont comestibles et qu'ils sont associés à des expériences visuelles, olfactives, tactiles et gustatives. Il en est de même pour le concept « nourriture » qui est lui-même associé à des expériences sensorimotrices plus larges. Dès lors, les capacités d'accès de certains niveaux reflètent, d'une certaine manière, l'activation intra-composant et inter-composant nécessaire pour faire émerger ces connaissances.

3) Les troubles spécifiques aux catégories

En accord avec d'autres théories (e.g., Caramazza et al., 1990; Tyler et al., 2000), le modèle Act-In suggère que l'individu apprend à grouper certaines propriétés des objets de l'environnement avec lesquels il est en interaction. Cet apprentissage va permettre des regroupements d'objets selon leurs propriétés partagées. Les auteurs du modèle considèrent que ces caractéristiques partagées se situent dans un vaste réseau cérébral distribué dont les sous-bassements sont les propriétés des objets et non les catégories. Dès lors, au sein de ce réseau, les déficits spécifiques aux catégories seraient dus à une dégradation des propriétés qui différencient les exemplaires des catégories. Par exemple, une dégradation des propriétés qui permettent de distinguer le chevauchement des caractéristiques visuelles pourrait expliquer un déficit de catégorie pour les animaux (voir Vallet, Simard, Fortin, et al., 2011 cité par Versace et al., 2014).

En somme, à partir d'un nombre limité de mécanismes mnésiques, ce modèle suggère qu'il est possible d'expliquer un grand nombre de résultats empiriques (voir également Carbonnel et al., 2010 pour des exemples d'application clinique des modèles non abstraits).

2.4 Les visions pluralistes et multimodales

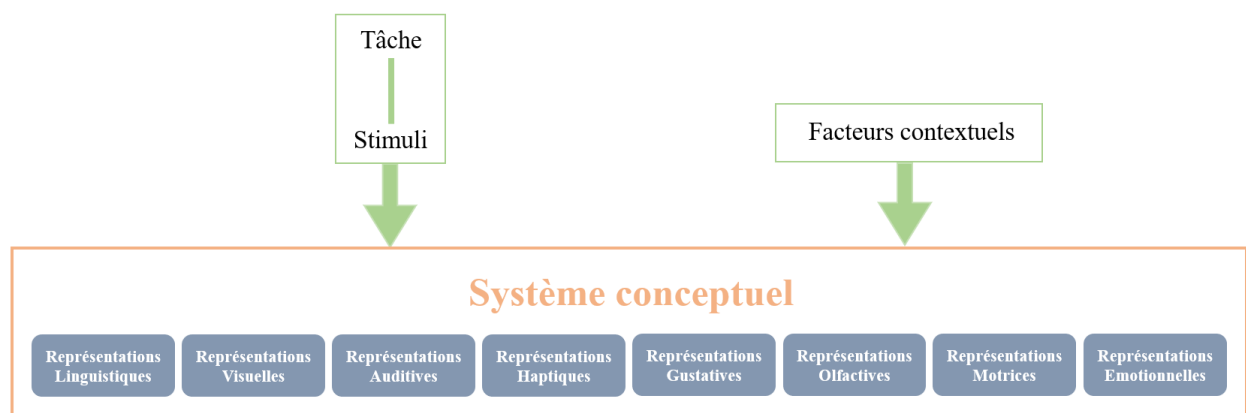
Zwaan (2014) expose les deux problèmes principaux des visions extrêmes amodales (e.g., Collins & Loftus, 1975) vs modales (e.g., Glenberg & Kaschak, 2002). D'un côté, il semble presque impossible d'envisager que la cognition puisse exister comme un flux de symboles et de règles abstraites, sans se reposer sur la perception et l'action. D'un autre côté, la vision consistant à supprimer l'existence de tous symboles paraît tout aussi improbable. Un consensus semble se situer au milieu des deux pôles (pour des revues conciliant/discutant les deux visions voir Dove, 2016; Kemmerer, 2015; Louwerse, 2011; Michel, 2020; Reilly et al., 2016; Zwaan, 2014). Il s'agit de la vision pluraliste. Les modèles dits pluralistes diffèrent toutefois historiquement dans la manière dont ils envisagent le pluralisme représentationnel. On peut mettre en évidence deux grandes classes de modèles pluralistes (voir Reilly et al., 2016)⁴. La première catégorie considère l'existence d'un système sémantique unitaire dans lequel les mots

⁴ Notons que ces deux catégories ne sont pas mutuellement exclusives. Cette ségrégation semblait toutefois importante car notre point de vue théorique concerne principalement la seconde catégorie.

et les percepts convergent vers une résolution amodale (on peut alors inclure dans cette catégorie le modèle du « hub-and-spoke » et le « dynamic multilevel reactivation framework » présentés à la section 1.1.2). La seconde catégorie suggère l'existence de multiples systèmes sémantiques coordonnés, à travers lesquels le langage et la sémantique sensorimotrice constituent des canaux parallèles. De ce point de vue, les représentations conceptuelles sont multimodales, elles impliquent les systèmes de perception, d'action, d'émotion et de langage (Pexman, 2019; Zwaan, 2014) et différents types d'informations sont importantes pour différents types de concepts (e.g., Barsalou et al., 2008; Borghi et al., 2019). « Avec des représentations distribuées à travers les systèmes, le traitement est perçu comme étant dynamique, variant avec le stimulus (Sidhu et al., 2014; Taikh et al., 2015), la tâche (Collins et al., 2011; Connell & Lynott, 2013, 2014a; Pexman et al., 2008; Sidhu et al., 2016) et d'autres facteurs contextuels comme l'expérience (Hansen et al., 2012 ; Hargreaves & Pexman, 2012) » (Pexman, 2019, pp.1274-75). Cette approche pluraliste multimodale admet que les représentations changent de manière dynamique avec nos expériences, nos objectifs en cours et nos ressources disponibles (e.g., Barsalou, 1999, 2008; Connell & Lynott, 2014b; Glenberg, 1997; Glenberg & Robertson, 2000; Lynott & Connell, 2010; Vigliocco et al., 2009; Wilson, 2002). La figure 8 représente le point de vue pluraliste multimodal des représentations conceptuelles qui sont influencées par le type de tâche et de stimuli ainsi que par des facteurs contextuels.

Figure 8

Schéma personnel du système conceptuel basé sur la conception pluraliste multimodale



2.4.1 Des représentations linguistiques essentielles

Ces visions multimodales pluralistes se distinguent des visions modales extrêmes (suggérant que la cognition implique exclusivement des symboles incarnés) en accordant une importance aux représentations linguistiques (e.g., Barsalou, 2010; Dove, 2009, 2011; Markman & Dietrich, 2000; Vigliocco et al., 2009). Selon Connell et Lynott (2014b), inclure à la fois une composante linguistique et une composante incarnée est le meilleur moyen d'aboutir à un modèle cognitif tenant compte de toutes les contraintes représentationnelles. L'importance des représentations linguistiques a été initiée par la théorie du codage dual de Paivio (1971, 1990, 2013) suggérant qu'il existe deux systèmes sémantiques basiques parallèles. Selon Paivio, le langage est constitué des concepts abstraits qui sont codés verbalement à travers les associations linguistiques alors que les concepts concrets reposent à la fois sur un codage linguistique (verbal) et perceptuel (non-verbal). Cet auteur suggère que les deux systèmes mentaux et nos cinq sens présentent une relation orthogonale, c'est-à-dire que chaque code possède des éléments de représentation qui sont qualitativement différents étant donné leur expérience sensorielle d'origine (Sadoski & Paivio, 2004). Le tableau 1 illustre cette relation entre les codes mentaux (verbaux et non verbaux) et les modalités sensorielles et s'explique de la manière suivante. Alors que le code verbal comprend des représentations visuelles pour les unités de langage qui correspondent aux lettres et mots (e.g., le mot *chat*), le code non verbal possède, quant à lui, des représentations visuelles non linguistiques concernant la forme de l'objet (e.g., le chat possède des pattes, une queue, des moustaches). Nous possédons également des représentations auditives pour le code verbal (e.g., les deux phonèmes /ch/ et /a/ constituent le mot *chat*) et le code non verbal (e.g., le miaulement du chat). Des représentations haptiques existent également pour le code verbal pour les actes moteurs du langage (e.g., la prononciation de /ch/, son écriture ou le touché du signe Braille) et les sensations liées aux objets, à leur texture ou leur mouvement constituent les représentations du code non verbal (e.g., le touché d'un chat touffu ou la manière dont il se dandine en marchant). Le code verbal ne possède pas de représentation sensorielle concernant le goût et l'odorat mais ces modalités peuvent être représentées dans le code non verbal (e.g., l'odeur associée à la litière du chat).

Tableau 1

Relation orthogonale entre les codes mentaux et les modalités sensorielles, issu de Sadoski & Paivio (2004)

Modalités sensorielles	Codes mentaux	
	Verbal	Non verbal
Visuelle	Langage visuel (écriture)	Objets visuels
Auditive	Langage auditif (parole)	Sons environnementaux
Haptique	Ecriture manuscrite ou Braille	« Sensations » des objets
Gustative	-	Souvenirs du goût
Olfactive	-	Souvenirs de l'odeur

Dove (2011) développe une idée similaire en soutenant que les concepts sont représentés dans deux systèmes sensorimoteurs qui interagissent entre eux. Le premier est un système de représentation multimodal ancré, qui réunit les expériences sensorimotrices des objets et des entités du monde et le second est un système langagier, qui représente nos expériences linguistiques. Selon cet auteur, le système langagier s'est construit sur le système multimodal. Au fur et à mesure de l'acquisition du langage, le système multimodal ancré se développe et permet la généralisation à travers les situations et expériences (voir Howell et al., 2005 pour une idée similaire). Dès lors, l'acquisition du langage est perçue comme façonnant le système conceptuel (Pexman, 2019).

Dans la même idée, la théorie *Language And Situated Simulation* (LASS, Barsalou et al., 2008) accorde une importance aux représentations linguistiques et modales en suggérant qu'elles interagissent de manière continue pour produire le traitement conceptuel (voir Borghi & Binkofski, 2014 pour une proposition similaire centrée sur les concepts abstraits). Toutefois, alors que Paivio (1971, 1990, 2013) accorde une importance centrale au système linguistique, les auteurs placent davantage de pouvoir computationnel dans le système de simulation. En effet, le système linguistique est ici considéré comme superficiel. Les chercheurs suggèrent que la récupération de la forme linguistique et de ses informations statistiques associées (e.g., associations entre les mots) est suffisante pour réaliser correctement une tâche, sans devoir récupérer nécessairement une information conceptuelle profonde. De nombreuses preuves dans la littérature sur le traitement lexical sont cohérentes avec cette hypothèse (Craik, 2002; Lockhart, 2002; Morris et al., 1977). Selon Barsalou et al. (2008), une fois que le système linguistique a reconnu le mot présenté, ce mot active directement les simulations associées.

« Ces simulations sont situées, se préparant pour une action située. Plus particulièrement, les informations corrélées aux aires cérébrales perceptuelles, motrices et introspectives deviennent actives pour représenter le concept dans une situation probable » (Barsalou et al., 2008, p.250). Par exemple, lorsqu'un mot est entendu ou lu (e.g., chien), le système linguistique est activé initialement (et cette activation se propage aux mots reliés e.g., chat), puis le système de simulation s'active (e.g., la forme du chien, son odeur, l'affection qui lui est portée). L'activation de ces simulations se produit de façon automatique et rapide. En effet, Pulvermuller et al. (2005) montrent qu'elle se produit 200 millisecondes après le début de la présentation du mot. Contrairement aux représentations linguistiques, les simulations modales sont considérées comme possédant des informations conceptuelles « profondes », elles contiennent le contenu conceptuel relatif aux propriétés. Dans ce modèle, il est admis que le fondement des deux systèmes repose sur la structure statistique de leur domaine respectif.

Dans le système de simulation, les simulateurs capturent les fréquences statistiques des propriétés et les relations entre elles dans l'expérience. Dans le système linguistique, il est bien établi que la fréquence des mots, les associations entre eux, et leurs relations à des structures syntaxiques sont codées statistiquement. (Barsalou et al., 2008, p. 252)

Selon les conditions de la tâche, le traitement conceptuel pourra être dominé par un traitement linguistique ou par une simulation. Ces 2 systèmes ne sont toutefois pas indépendants, ils agissent en interaction. Leur interdépendance suppose que des périodes d'activités et d'inactivités de l'un et l'autre système se produisent de manière cyclique : « l'activation des formes linguistiques active les simulations. En retour, les simulations activent les mots qui sont décrits et manipulés par ceux-ci » (p. 272) (voir également Connell & Lynott, 2013, 2014b; Louwerse & Jeuniaux, 2008, 2010; Lynott & Connell, 2010; Vigliocco et al., 2009; Zwaan, 2008).

Plusieurs études empiriques se montrent en faveur de ce modèle théorique (e.g., Louwerse & Connell, 2011; Santos et al., 2011; Simmons et al., 2008). Dans une tâche de vérification de propriétés (e.g., est-ce que le *pépin* fait partie du *raisin* ?), Solomon et Barsalou (2004) contrastent des paires de mots reliées (e.g., banane-singe) et non reliées (e.g., chien-revolver). Pour les réponses fausses (i.e., les items dont la réponse attendue est « non »), ils observent que les temps de réponses sont significativement plus rapides dans le cas des paires non reliées (e.g., est-ce que le *chien* fait partie du *revolver* ?) que reliées (e.g., est-ce que la *banane* fait partie du *singe* ?). Ils suggèrent qu'un traitement linguistique superficiel des associations de mots est

suffisant pour traiter les paires fausses non-relées (e.g., chien-revolver), rendant le traitement plus rapide. En revanche, pour les paires fausses reliées (e.g., banane-singe), l'association de mots ne permet pas un diagnostic correct et les participants doivent récupérer l'information conceptuelle qui spécifie si la propriété est bien une partie de l'objet. Cela nécessite alors un traitement plus profond impliquant une simulation de la propriété. Ces résultats ont été corroborés dans une étude d'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf) utilisant la même tâche (Kan et al., 2003). En effet, les chercheurs montrent une activation des régions cérébrales traitant les images visuelles lors des essais faux reliés (forçant la simulation) et aucune activation de ces aires pour les essais non associés. L'activation des aires des régions visuelles durant le traitement des paires reliées appuie donc bien un traitement plus étendu sous-tendant la simulation modale des concepts.

Notons cependant que les chercheurs n'ont pas toujours été en accord avec la prédominance des facteurs incarnés par rapport au système linguistique (e.g., Louwerse, 2008). Par exemple, alors que Zwaan et Yaxley (2003) montrent que le traitement conceptuel est dominé par des facteurs incarnés, Louwerse (2008) fournit des arguments soutenant que ce sont les facteurs linguistiques qui dominent le traitement conceptuel en utilisant la même tâche. Louwerse et Jeuniaux (2010) proposent alors d'investiguer les conditions dans lesquelles les facteurs linguistiques et d'embodiment dominent le traitement conceptuel en utilisant quatre tâches différentes impliquant des images et des mots. Ils tiennent compte des facteurs incarnés (degré avec lequel les paires de mots sont présentées dans une configuration spatiale correspondante à l'expérience incarnée - e.g., *grenier* présenté au-dessus de *sous-sol*) ainsi que des facteurs linguistiques, opérationnalisés selon la fréquence des paires de mots dans le langage. Ils montrent que les facteurs incarnés prédisent mieux la performance pour les images alors que les facteurs linguistiques prédisent mieux la performance pour les mots. Cette dernière étude soutient la vision que le traitement conceptuel est à la fois linguistique et incarné, selon la nature de la tâche et des stimuli.

Plus récemment, des chercheurs ont suggéré que différentes tâches conceptuelles peuvent impliquer différents degrés d'embodiment (Pulvermüller & Garagnani, 2014; Watson & Chatterjee, 2011; Zwaan, 2014). Par exemple, Zwaan (2014) suggère qu'il est nécessaire de considérer à la fois le contexte linguistique et le contexte du discours se rapportant à la situation de communication afin de faire des prédictions sur l'implication des processus sensorimoteurs dans le langage. Cet auteur définit cinq niveaux d'ancrage impliqué selon le type de

compréhension du langage allant du niveau d'utilisation du langage complètement incarné (e.g., cuisinier expliquant sa recette) à la compréhension impliquant totalement l'abstraction (e.g., lecture de documents légaux).

2.4.2 Des représentations dynamiques et flexibles

L'influence de la tâche et du stimulus impliqué dans la tâche a été mise en évidence comme étant un facteur clé de la cognition incarnée (Wilson & Golonka, 2013). De nombreux travaux ont montré que l'attention implicitement portée envers une modalité particulière facilite la représentation de l'information perceptuelle spécifique à cette modalité (Collins et al., 2011; Connell & Lynott, 2011; Hald et al., 2011; Marques, 2006; Pecher et al., 2003). Par exemple, Connell et Lynott (2014a) montrent que, lorsque l'attention est dirigée vers la modalité visuelle (i.e., décision lexicale), les sujets sont plus rapides et plus précis pour les mots fortement visuels (e.g., petit). En revanche, lorsque l'attention est dirigée vers la modalité auditive (i.e., lecture à voix haute), les sujets sont plus rapides et précis pour les mots fortement auditifs (e.g., rauque). Ces résultats sont corroborés par de nombreux travaux montrant que l'attention sélective envers une modalité particulière augmente l'activation dans le cortex sensoriel correspondant (Foxe et al., 2005). Outre l'influence de la tâche, l'attention peut également être dirigée selon la nature perceptuelle du stimulus (Connell & Lynott, 2014b). Le « modality switching cost effect » illustre parfaitement cela en montrant que la réallocation de ressources attentionnelles d'une modalité à une autre implique un coût (e.g., Connell & Lynott, 2011; Marques, 2006; Pecher et al., 2003). Pour expliquer ces divers effets, Connell et Lynott (2015) développent un cadre théorique de la modulation attentionnelle de l'activation de la signification (Attentionnal Activation of Meaning Activation, AMMA) qui propose une vision du contenu sémantique comme une simulation sensorimotrice modulée par l'attention perceptuelle.

La signification des mots est également sujette à un recrutement dynamique de ses caractéristiques, dépendant du contexte (Barsalou, 1982; Kiefer, 2005; Kiefer & Pulvermüller, 2012). Ce phénomène a fréquemment été observé dans des tâches comportementales montrant que les propriétés d'un mot sont activées uniquement quand le contexte dans lequel le mot apparaît est pertinent (e.g., Anderson & Ortony, 1975; Barclay et al., 1974). Au niveau neurophysiologique, il a également été montré que des patterns d'activation dans les aires sensorielles et motrices sont déterminés selon la saillance des attributs et le contexte de la tâche (Hoenig et al., 2008). De manière plus large, il a également été mis en évidence que la

perception du corps et des stimuli externes peut influencer le contenu des représentations mentales. Par exemple, il est plus facile de se remémorer des souvenirs autobiographiques lorsque ceux-ci doivent être récupérés dans une posture congruente à leur acquisition (Dijkstra et al., 2007).

Ce recrutement dynamique des systèmes perceptuels spécifiques aux modalités dépendant du contexte, du stimulus et de la demande implicite de la tâche a amené les théoristes à concevoir les représentations conceptuelles comme étant flexibles (voir par exemple Connell & Lynott, 2014b et Kiefer & Pulvermüller, 2012 pour des revues). Outre ces aspects relatifs au contexte et aux caractéristiques du stimulus, une autre manière d'appréhender cette flexibilité des représentations conceptuelles est de considérer l'importance de l'expérience.

2.4.3 Des représentations dépendantes de l'expérience

L'expérience est également perçue comme une source de changement représentationnel. Il existe de nombreux arguments empiriques démontrant que les concepts sont façonnés par l'expérience sensorimotrice et l'apprentissage. Les recherches ont principalement analysé l'expérience d'interaction entre un individu et un objet ainsi que la performance spécifique avec cet objet dans un domaine particulier. Des différences individuelles ont été mises en évidence suggérant que la représentation sémantique des objets dans le système sensorimoteur est liée aux expériences passées individuelles et que les expériences vécues peuvent également influencer le traitement des objets (e.g., Fourkas et al., 2008; James & Gauthier, 2003; Weisberg et al., 2007). Par exemple, Chrysikou et al. (2017) comparent des sujets sains gauchers et droitiers ainsi que des sujets présentant des lésions unilatérales suite à un accident cérébral vasculaire. Ils investiguent si l'histoire des personnes dans leur performance d'action avec leur main dominante influence la connaissance qu'elles stockent et récupèrent à propos des objets manipulables. Dans une tâche où ils doivent générer le type de préhension qu'ils utiliseraient pour manipuler un objet (e.g., serrer le manche d'un couteau ou pincer une clé), les jugements étaient plus rapides quand les objets étaient orientés vers la main gauche des patients qui avaient perdu l'utilisation de la main droite, même s'ils étaient droitiers avant la lésion. Ces résultats suggèrent qu'au moins certains aspects de la connaissance sont déterminés par l'expérience motrice et peuvent être changés par des nouveaux patterns d'expérience motrice (Chrysikou et al., 2017). Les données suggérant que l'implication motrice dans le traitement conceptuel est dépendante de l'expérience d'action avec un objet ont également été mises en évidence dans

une étude impliquant l'apprentissage d'action pantomimique avec un objet (Kiefer et al., 2007) et plus récemment, pour l'apprentissage de nouveaux noms d'objets (Bechtold et al., 2019). Dans cette dernière étude, le type d'expérience (manipulation vs visuelle) ainsi que la manipulation apprise (active vs observationnelle) conduit à une augmentation des connectivités fonctionnelles spécifiques entre les régions sémantiques et neurales codant la manipulation des objets et les informations visuo-spatiales, suggérant que le traitement conceptuel des nouveaux objets serait ancré dans les réseaux cérébraux fonctionnels codant spécifiquement l'expérience avec leur référent (Bechtold et al. 2019; voir également James & Gauthier, 2003). Les études portant sur des participants ayant une expérience sportive dans un domaine particulier corroborent également ces résultats. En effet, il a été montré que des joueurs de hockey sur glace montrent une plus grande activation du cortex prémoteur gauche pour les phrases se référant à des actions liées au hockey, comparé à des non-joueurs alors que ces différences n'étaient pas présentes pour des actions de tous les jours pour lesquelles ils avaient le même niveau d'expérience (Beilock et al., 2008; Holt & Beilock, 2006; Lyons et al., 2010). Une excitabilité musculaire chez des joueurs de tennis experts a également été observée lors de l'imagerie mentale d'un swing au tennis (Fourkas et al., 2008). Ainsi, l'action reliée à l'expertise contribue à la représentation des objets dans le système sensorimoteur. Pour citer un autre exemple, une plasticité cérébrale des représentations conceptuelles liées aux instruments de musique dans le cortex auditif a également été mise en évidence chez des musiciens professionnels. Lors d'une tâche d'association mot-image utilisant des instruments de musique, une activation spécifique des aires cérébrales du cortex associatif auditif a été démontrée chez les professionnels alors que ce n'était pas le cas chez les sujets contrôles (Hoenig et al., 2011).

Connell et Lynott (2014b) concluent que les concepts varient à partir des expériences individuelles et sont, par conséquent, malléables. Ils vont changer à mesure de l'expérience directe et vicariante. En intégrant ces visions multimodales, dynamiques, et flexibles, les auteurs proposent de définir les notions de représentations et de concepts, largement débattues à travers les différentes approches théoriques. Nous nous accordons également sur leur point de vue en considérant que les « représentations » réfèrent à des concepts dans un contexte spécifique et situé qui impliquent des patterns d'activation neuronale perceptuels, moteurs, affectifs et linguistiques incluant l'information *online* (i.e., faisant partie de l'expérience en cours) et *offline* (i.e., ne faisait pas partie de l'expérience vécue). Une « connaissance conceptuelle » ou un « concept » réfère à un aspect de l'expérience qui est général, canonique

et décontextualisé, qui peut être réactivé facilement *offline* (i.e., sans expérience directe) et qui se modifiera avec le temps avec l'expérience accumulée.

De ce point de vue, si l'on considère que l'expérience avec les concepts fait évoluer nos représentations, l'étude du vieillissement est d'un intérêt particulier dans la compréhension de l'évolution du système conceptuel et du construit représentationnel. Nous renvoyons le lecteur aux chapitres 3 et 4 pour la littérature spécifique au vieillissement normal et pathologique.

Synthèse du chapitre 1

Comme nous l'avons vu au cours de ce chapitre, la notion de représentation conceptuelle a évolué et a été intégrée dans une approche incarnée et située de la cognition. Des arguments ont été récoltés tant au niveau comportemental (en montrant que des variables perceptuelles et motrices produisent des effets dans des tâches conceptuelles, e.g., Borghi, 2005; Rey et al., 2014), qu'en imagerie cérébrale (où le traitement conceptuel active systématiquement des aires cérébrales spécifiques aux modalités, e.g., Martin, 2007). Ces données ont guidé de nombreuses théories de l'embodiment et ont mené à de nombreuses visions, parfois divergentes, de la cognition incarnée.

Plusieurs modèles d'embodiment ont été présentés. Leur apport peut être résumé de la manière suivante. Le **modèle hybride du « hub and spoke »** considère l'importance des régions spécifiques aux modalités mais suggère néanmoins que l'information amodale s'en extrait. **La théorie des systèmes de symboles perceptuels** garde, quant à elle, l'idée de symboles mais ceux-ci sont implémentés à travers une dynamique de simulation ; l'information sensorimotrice n'est pas traduite de façon amodale mais elle est « réinstanciée », c'est-à-dire que des systèmes sensorimoteurs neuronaux vont se réactiver pour se représenter l'information, la faire émerger. **La théorie des zones de convergence** complète cette notion de simulation en modélisant la cascade de traitement neuronal hiérarchique permettant d'aboutir à une représentation cohérente. De façon complémentaire, la **théorie topographique conceptuelle** ajoute à ce traitement en cascade un système d'activation de cartes contenant les caractéristiques spécifiques des objets et imagine des activations topographiques spatiales particulières selon les propriétés à traiter par les systèmes neuronaux. Par exemple, le lexique activerait lui-même des « cartes caractéristiques » pour la représentation lexicale dans le traitement conceptuel. Enfin, le **modèle Act-In** se propose de comprendre les mécanismes qui font émerger la connaissance via un processus d'activation/intégration qui permet de distinguer l'émergence d'un souvenir spécifique (i.e., épisodique, activation intra-traces) ou d'une connaissance conceptuelle (i.e., activation inter-traces).

Parmi les théories de l’embodiment, nous retenons principalement l’**approche consensus pluraliste multimodale** proposant une vision dynamique et flexible du traitement conceptuel et considérant l’importance de multiples systèmes parallèles (i.e., perceptuels, moteurs, émotionnels, linguistiques). Cette vision théorique est particulièrement pertinente, notamment parce qu’elle accorde une importance à la composante linguistique. Nos questionnements étant centrés sur le traitement lexical et sémantique, le traitement des mots (de l’étiquette verbale) et de leur signification, dans une perspective incarnée de la cognition, est au cœur de notre réflexion. Dans le chapitre suivant nous présenterons les recherches qui ont permis d’appréhender la sémantique incarnée à partir de tâches lexico-sémantiques ainsi que les mécanismes en jeu dans ces tâches, incluant la reconnaissance de mots.

Chapitre 2 – Le traitement lexico-sémantique : analyse des processus impliqués et des effets sémantiques incarnés dans la reconnaissance visuelle de mots

Un grand nombre d'études a permis de considérer diverses dimensions sensorimotrices comme faisant partie intégrante du système sémantique (cf. chapitre 1). Ces études ont généralement utilisé des tâches de reconnaissance de mots isolés. Dans cette dissertation doctorale, notre attention sera spécifiquement portée sur les études qui ont investigué l'influence des connaissances sensorimotrices à un niveau lexical (i.e., traitement d'un mot unique). Des données issues de la littérature soutiennent par ailleurs l'importance de l'information sémantique dans le processus de reconnaissance des mots (Pexman, 2012). Par conséquent, ce chapitre aborde les mécanismes classiques qui entrent en jeu dans la reconnaissance visuelle des mots, tout en incluant les effets incarnés.

1. La reconnaissance visuelle de mots

Les recherches sur la reconnaissance visuelle ont été primordiales dans le domaine de la psychologie cognitive et de la psycholinguistique. Elles ont permis d'analyser les différents codes associés aux mots (i.e., l'orthographe, la phonologie, la sémantique, la syntaxe) afin de mieux comprendre le traitement langagier, l'attention et la mémoire (e.g., Craik & Lockhart, 1972; Posner, 1986). La reconnaissance visuelle de mots a été investiguée à partir de diverses méthodes telles que les modèles computationnels (e.g., Coltheart et al., 2001; Perry et al., 2007; Perry et al., 2010; Seidenberg, 2005) et la neuroimagerie structurale et fonctionnelle (e.g., Flinker et al., 2015; Grainger & Holcomb, 2009; Price & Devlin, 2011). Différents paradigmes ont également été utilisés comme l'amorçage (e.g., Rastle et al., 2000; Rastle & Brysbaert, 2006), la décision lexicale (e.g., Hauk, Davis, et al., 2006), la catégorisation sémantique (e.g., Forster, 2004) ou la dénomination (e.g., Balota et al., 2004; Cortese & Khanna, 2007; Cortese & Schock, 2013; Maloney et al., 2009). Les recherches dans ce domaine ont eu pour objectif de déterminer la nature des représentations des mots écrits (le *quoi*, cf. point 1.1) ainsi que les mécanismes par lesquels ils sont traités (le *comment*, cf. point 1.2.). Les techniques de neuroimagerie structurale et fonctionnelle ont également permis de fournir des informations précises concernant les régions cérébrales et le décours temporel impliqués dans

le traitement de la reconnaissance visuelle des mots (le *quand* et *où*, cf. section 1.3) (voir Fu et al., 2021 pour une revue bibliométrique traitant ces quatre questions).

1.1 Les variables investiguées (le *quoi*)

Un nombre considérable de travaux ont tenté de spécifier quelles variables jouaient un rôle important dans la reconnaissance de mots. Les premières variables dites « lexicales » sont bien connues comme impactant cette reconnaissance. Elles incluent la longueur des mots, leur fréquence, leur âge d’acquisition, la familiarité et les voisins orthographiques et phonologiques (notons que certaines d’entre elles sont également dites « sémantiques » selon les terminologies employées par les chercheurs) (voir Balota et al., 2006 et Rastle, 2016 pour des revues).

Outre ces variables, de nombreuses études ont montré que diverses dimensions sémantiques (dont sensorimotrices) étaient importantes et sont activées dans diverses tâches de reconnaissance visuelle de mots (voir Balota et al., 1991; Pexman, 2012). Toutes ces dimensions ont été regroupées sous le terme de « richesse sémantique ». Les effets de richesse sémantique réfèrent aux résultats montrant que les mots associés avec plus d’information sémantique sont reconnus plus rapidement et plus précisément étant donné leurs représentations plus riches (Pexman, 2012) (voir la section 1.2.2 du présent chapitre pour les explications proposées à ce traitement). Spécifiquement, la reconnaissance visuelle de mots est typiquement plus rapide pour les mots **associés à de nombreuses caractéristiques** (e.g., Grondin et al., 2006; Hargreaves, Pexman et al., 2012; Pexman et al., 2003; Pexman, Lupker, & Hino, 2002; Pexman et al., 2008), qui possèdent un **nombre élevé de voisins sémantiques** (i.e., mots co-occurents ou utilisés dans un contexte lexical similaire ; e.g., Buchanan et al., 2001; Mirman & Magnuson, 2008), qui élicitent de **nombreux associés sémantiques** (i.e., mots fréquemment associés avec le concept ; e.g., Balota et al., 2004; Duñabeitia et al., 2008; Pexman et al., 2007), qui possèdent de **multiples significations** (e.g., Yap et al., 2011), qui évoquent davantage d’**imagerie** (e.g., Balota et al., 2004; Cortese & Fugett, 2004) ainsi que davantage d’**information sensorimotrice** (e.g., Siakaluk, Pexman, Sears, et al., 2008; Sidhu et al., 2014). Ces effets se produisent même lorsque les variables telles que la fréquence des mots, leur longueur, leur imageabilité etc., sont contrôlées. Chaque dimension sémantique apparaît donc comme ayant des relations indépendantes dans la reconnaissance de mots (Pexman, 2012). Toutes ces variables ont ainsi démontré leur importance dans le traitement conceptuel et ont

conduit au développement de théories sémantiques reconnaissant l'existence de multiples dimensions (cf. modèles pluralistes).

1.1.1 Les variables sensorimotrices

Afin d'appréhender l'accessibilité des informations sensorielles/perceptuelles associées (i.e., ancrées) aux concepts, les chercheurs ont eu besoin de collecter des données permettant de spécifier leur contenu. Dans cette perspective, des normes ont été développées afin de capturer le degré avec lequel un mot évoque une expérience sensorielle. Nous les présentons ci-après.

1.1.1.1 *L'imageabilité et la concrétude*

Une des premières variables associée à l'information sensorimotrice est l'imageabilité. Cette variable est définie comme la facilité avec laquelle un mot évoque une image mentale, c'est-à-dire une image picturale, un son ou toute autre expérience sensorielle (Bonin et al., 2011; Paivio et al., 1968). Elle est obtenue en invitant des participants à estimer dans quelle mesure un mot est susceptible d'évoquer, selon eux, une image mentale. Des effets d'imageabilité (i.e., réponses plus rapides pour les mots hautement imageables) ont été rapportés dans toute une série de tâches de reconnaissance de mots (e.g., Newcombe et al., 2012; Yap, Pexman, et al., 2012a). De même, des effets de concrétude témoignant d'un avantage comportemental pour les mots réfèrent à des concepts concrets sont observés dans de nombreuses tâches lexicales (e.g., Binder et al., 2005; de Groot, 1989; Fliessbach et al., 2006; Howell & Bryden, 1987; James, 1975; Paivio et al., 1966; Romani et al., 2008; Schwanenflugel & Stowe, 1989). La concrétude réfère au degré avec lequel les mots renvoient à des personnes, des lieux et des choses qui peuvent être vus, entendus, touchés, sentis ou goûtés (Bonin, Méot, et al., 2003). De par leur haute corrélation et relation théorique dans la théorie du codage dual (i.e., les mots concrets ont à la fois un code de représentation verbal et imaginaire, Paivio, 1990, 2010), l'imageabilité et la concrétude sont souvent utilisées de manière confondue dans la littérature expérimentale (e.g., Binder et al., 2005; Fliessbach et al., 2006; Sabsevitz et al., 2005). Toutefois, il a été mis en évidence que ces deux variables ne reflètent pas la base perceptuelle des concepts car les instructions tendent à biaiser les scores en faveur de la modalité visuelle (Connell & Lynott, 2012). D'autres normes sensorielles, comme le *sensory-experience rating* (SER), ont été récoltées afin de tenir compte de plusieurs modalités perceptuelles.

1.1.1.2 Le sensory-experience rating

Le SER a été récolté en demandant aux participants d'estimer la mesure dans laquelle un mot évoque une expérience sensorielle en prenant en compte cinq modalités perceptives (le goût, le toucher, la vue, l'odorat, l'audition) regroupées en une seule note (Juhasz et al., 2011; Juhasz & Yap, 2013). Il a été mis en évidence que les mots présentant des scores élevés d'expérience sensorielle sont associés à de meilleures performances en décision lexicale, au-delà des effets d'imageabilité et d'âge d'acquisition (Juhasz et al., 2011). Ces effets sont également répliqués en décision lexicale et en dénomination (Juhasz & Yap, 2013) ainsi qu'en décision lexicale pour la langue française (Bonin et al., 2015). Toutefois, il a été mis en évidence que considérer des expériences sensorielles dans leur entièreté (combinées en une seule note) mène à une négligence des modalités auditive, haptique et gustative ainsi qu'à une distorsion des informations olfactives et visuelles. Les individus ne sont pas capables de transférer une simulation perceptuelle inconsciente complète à une imagerie consciente (Connell & Lynott, 2016). Les normes de force perceptuelle (FP) ont alors été développées afin de contrer ces limites.

1.1.1.3 La force perceptuelle

Lynott & Connell (2009, 2013) ont développé des normes de FP spécifiques à chaque modalité (i.e., auditive, visuelle, gustative, haptique, olfactive) en demandant aux participants d'estimer la mesure dans laquelle ils expérimentent un mot selon chacune de ces modalités séparément, sur une échelle de 0 (ce sens n'est pas du tout expérimenté) à 7 (ce sens est fortement expérimenté). Grâce aux scores individuels récoltés par les participants pour chaque modalité séparément, ces normes capturent la mesure dans laquelle un concept est expérimenté à travers différentes modalités sensorielles, sans risque d'ignorer ou de déformer le rôle des modalités particulières (Connell & Lynott, 2012, 2016). L'avantage d'utiliser ces mesures est qu'elles permettent aux chercheurs de capter des effets qui sont liés à certaines modalités et pas à d'autres (e.g., Connell & Lynott, 2010) ou encore de montrer que les modalités perceptuelles impliquées dans la représentation d'un mot influencent la façon dont il est reconnu (voir Connell & Lynott, 2014b). Les résultats obtenus à partir de tâches de vérifications de propriétés, présentés dans le chapitre 1 (e.g., Louwerse & Connell, 2011; Spence, Nicholls, et al., 2001; Van Dantzig et al., 2008), sont des exemples classiques qui démontrent notamment ces effets de facilitation perceptuelle. Les normes de FP ont également permis d'investiguer l'effet de

l'attention perceptuelle dans le traitement conceptuel (Connell & Lynott, 2014a). En outre, il a été démontré que les performances en décision lexicale et en dénomination peuvent être prédites par la FP (Connell & Lynott, 2012, 2014a; Lynott et al., 2019).

Ces normes ont été développées dans différentes langues (e.g., allemand (Speed & Majid, 2017; Speed & Brysbaert, 2021), russe (Miklashevsky, 2018), mandarin (Chen et al., 2019), italien (Morucci et al., 2019 ; Vergallito et al., 2020), serbe (Đurđević et al., 2016)), dont la langue française par Chedid et ses collaborateurs (2019) pour la modalité visuelle et auditive. Parmi ces études, plusieurs ont investigué les relations existantes entre la FP et les variables psycholinguistiques et sémantiques connues comme impactant le traitement des mots (Bonin et al., 2015). Les fortes corrélations observées entre les normes de FP et les variables telles que l'âge d'acquisition, l'imageabilité, la concrétude et la familiarité conceptuelle ont permis aux chercheurs de confirmer que la FP indexe bien un des aspects de la représentation sémantique des mots (Chedid et al., 2019; Connell & Lynott, 2012; Speed & Brysbaert, 2021). Différentes analyses ont également permis de montrer que, bien que fortement corrélée aux variables psycholinguistiques et sémantiques, la force de l'expérience perceptuelle permet de mieux expliquer la performance dans des tâches de traitement de mots (i.e., décision lexicale et dénomination de mots) que la concrétude (Đurđević et al., 2016), l'imageabilité (Connell & Lynott, 2012) et le SER (Chedid et al., 2019; Connell & Lynott, 2016). Les normes de FP ne s'apparentent donc pas aux autres variables, elles contribuent à expliquer la variabilité dans le traitement conceptuel et ce de manière indépendante (Chedid et al., 2019). Selon Vallet (2020),

L'ancrage des connaissances et l'équivalence fonctionnelle entre la perception et la mémoire conduisent à définir les connaissances conceptuelles non plus seulement à travers des variables psycholinguistiques et sémantiques, comme la fréquence ou l'âge d'acquisition (e.g., Ferrand et al., 2010), mais aussi selon le poids de chacune des modalités dans ces connaissances. Ainsi, il semble relativement évident que certaines connaissances sont davantage visuelles (e.g., fourmi) ou auditives (e.g., alarme) alors que d'autres devraient être multimodales par essence (e.g., chien). (p.34)

La FP est donc une variable idéale permettant de capturer la multimodalité des connaissances conceptuelles.

Les normes de FP ont, par la suite, été complétées par une sixième modalité sensorielle : l'intéroception. L'intéroception réfère aux sensations internes du corps provenant des organes

viscéraux (cœur, estomac, poumon, et intestin), du système nerveux autonome et du système immunitaire (Craig, 2002; Craig & Craig, 2009; Critchley & Harrison, 2013; Khalsa & Lapidus, 2016). Cette modalité a été mise en évidence comme participant à l’ancrage des stimuli, au même titre que les autres modalités, notamment lorsque ceux-ci sont émotionnels et/ou abstraits (Connell et al., 2018). Dernièrement, Lynott et ses collaborateurs (2019) tentent également d’appréhender l’expérience d’action dans la représentation sémantique des concepts en récoltant les forces perceptuelles de cinq effecteurs d’action (bouche/gorge, main/bras, pied/jambe, tête -excluant bouche/gorge- et torse) pour près de 40.000 mots. Les chercheurs démontrent que la force perceptuelle et d’action (déclinées en 11 dimension sensori-motrices) facilitent la décision lexicale en terme de temps de réponses et de précision (Lynott et al., 2019).

En raison de sa pertinence, la variable de FP guidera nos travaux tout au long de la partie pratique. Les normes de FP n’étant pas disponibles en langue française pour toutes les modalités (seules les modalités visuelles et auditives ont été développées par Chedid et al., 2019), notre étude 1 aura pour objectif de récolter des normes de FP pour 270 mots de la langue française.

1.1.1.4 L’interaction corps-objet

D’autres aspects ont fait l’objet de collectes de données, comme ceux liés à l’interaction que nous avons avec les objets (e.g., Campanella & Shallice, 2011; Magnié et al., 2003; Myung et al., 2006; Sidhu et al., 2014; Wolk et al., 2005). Ces études ont suggéré que la manipulabilité peut être considérée comme une dimension sémantique. Parmi celles-ci, un intérêt récent a été porté à une variable mesurant l’influence de l’interaction corps-objet (ICO). L’ICO est une mesure évaluant la facilité avec laquelle un corps humain peut interagir physiquement avec le référent d’un mot (Bennett et al., 2011; Siakaluk, Pexman, Aguilera, et al., 2008; Siakaluk, Pexman, Sears, et al., 2008; Tillotson et al., 2008). Il est suggéré que cette dimension capture des informations sensorimotrices et cela indépendamment de l’imageabilité. Par exemple, alors que les mots « stylo » et « château » sont tous les deux imageables, il est plus probable que nous ayons plus d’interaction physique avec le stylo que le château. Donc, le mot stylo présentera un score ICO élevé alors que le château présentera un score ICO faible (Pexman, 2012). L’influence de l’ICO a été observée sur la reconnaissance visuelle de mots. Plusieurs recherches ont, en effet, montré que les mots avec une ICO élevée (e.g., « ceinture ») sont traités plus rapidement et avec plus de précision que les mots avec une ICO faible (e.g., « navire ») dans des tâches de décision lexicale (Siakaluk, Pexman, Aguilera, et al., 2008; Tillotson et al., 2008;

Van Havermaet & Wurm, 2014), de catégorisation sémantique (Bennett et al., 2011; Hansen et al., 2012; Hargreaves, Leonard et al., 2012 ; Siakaluk, Pexman, Sears, et al., 2008; Tousignant & Pexman, 2012; Yap, Pexman, et al., 2012a) ou de lecture de phrases (Phillips et al., 2012; Xue et al., 2015). Les corrélats neuronaux des effets de l'ICO ont été examinés et les résultats montrent que les mots avec une ICO élevé sont associés avec une activation du lobule pariétal inférieur gauche, une aire d'association sensorielle impliquée dans la mémoire kinesthésique (Hargreaves, Leonard, et al., 2012). En somme, ces effets d'ICO dans des tâches lexico-sémantiques ont été interprétés comme une preuve que l'expérience sensorimotrice est un aspect important de la connaissance sémantique.

A l'instar des normes de FP, les normes pour l'ICO n'étaient pas disponibles en langue française. Dans la partie empirique, l'étude 2 ciblera, entre autres, la récolte de scores d'ICO en langue française pour 270 mots.

1.1.1.5 Les autres mesures sensorimotrices

D'autres approches tentent d'investiguer les contributions de multiples modalités sensorimotrices dans le traitement sémantique en récoltant des scores numériques ou catégoriels relatifs à la pertinence de divers attributs (e.g., forme, couleur, mouvement visuel, son). Par exemple, Amsel et al. (2012) récoltent des normes pour 559 noms d'objets scorés pour sept attributs différents (couleur, mouvement, son, odeur, goût, manipulabilité, douleur) et démontrent l'utilité de ces scores pour interpréter la latence dans des tâches de décision lexicale ou sémantique. Fernandino et son équipe (2016) investiguent, quant à eux, les représentations neurales des concepts dans une étude IRMf lors du traitement de 900 mots (i.e. décision lexicale mot-pseudomots) pour lesquels 5 attributs (couleur, forme, manipulation, son, mouvement visuel) ont été récoltés. Les régions responsables de chaque attribut ont pu être identifiées et, en accord avec les théories incarnées, les résultats de leur étude montrent que l'activité corticale déclenchée pour ces aspects de la connaissance conceptuelle est également impliquée dans le traitement de ces attributs spécifiques durant l'expérience de perception et d'action (voir également González et al., 2006; Oliver et al., 2009; Oliver & Thompson-Schill, 2003).

1.2 Les processus d'activation lexico-sémantique (*le comment*)

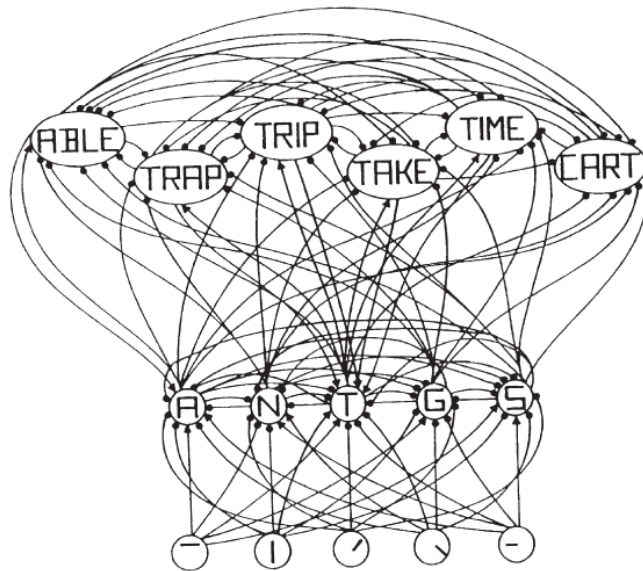
La question de savoir *comment se produit l'activation sémantique lors de la reconnaissance visuelle d'un mot* a été intensément investiguée dans la littérature. Des modèles ont progressivement été développés afin d'expliquer comment le système cognitif accède à la reconnaissance de lettres, de sons, et in fine à la signification.

1.2.1 Les modèles de traitement lexical

Tout d'abord, le modèle à Activation Interactive de McClelland et Rumelhart (1981) a été développé afin d'expliquer la reconnaissance de lettres (voir figure 9). Ce modèle propose trois niveaux de traitement basiques : les détecteurs de caractéristiques, les détecteurs de lettres et les détecteurs de mots. Il existe de nombreuses connexions entre ces niveaux qui sont joints par des chemins facilitateurs (lignes fléchées sur la figure) et/ou inhibiteur (ligne terminant par un point). Lorsqu'un stimulus est présenté, le niveau traitant les caractéristiques est activé et cette activation se propage au niveau des lettres et du mot. Dans ce modèle, il existe un système de traitement de l'information en cascade dans lequel il y a un transfert continu d'activation et d'inhibition au sein et entre les niveaux. Au fur et à mesure du temps, les représentations des lettres seront renforcées via le chemin facilitateur par le niveau de représentation du mot et inversement. Également, dans les représentations au niveau de la lettre et du mot, l'inhibition des représentations hautement activées diminuera l'activation des représentations moins activées, via les voies inhibitrices internes. Ainsi, lorsqu'un mot est présenté, une augmentation de l'activation des lettres cohérentes se produira en même temps qu'une inhibition des lettres incohérentes afin d'activer la représentation correcte du mot.

Figure 9

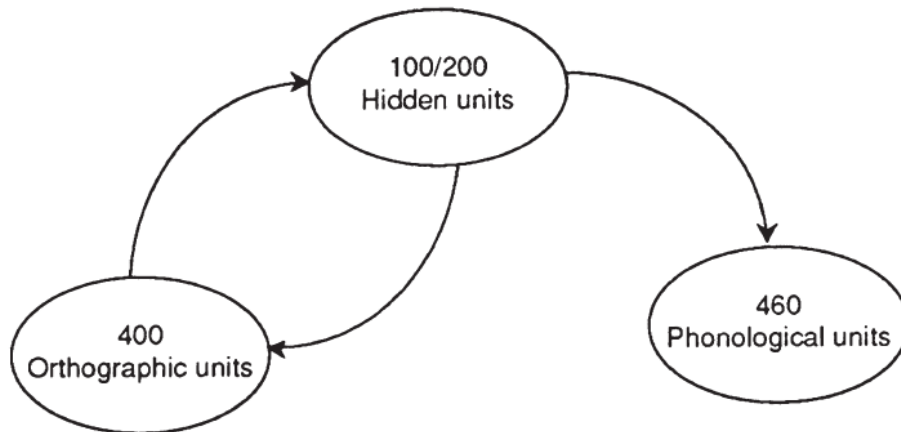
Modèle à Activation Interactive de la reconnaissance de lettres de McClelland & Rumelhart (1981) extrait de Balota et al. (2006)



Par la suite, le modèle de Seidenberg et McClelland (1989) (voir figure 10) a permis d'expliquer l'accès à la phonologie (voir également Coltheart et al., 2001; Perry et al., 2007). Dans ce modèle, il existe un ensemble d'unités d'entrée qui code l'orthographe d'un stimulus (*input*) et un set d'unités de sortie qui représente la phonologie impliquée dans la prononciation (*output*). Toutes les unités d'entrée sont connectées à un ensemble d'unités cachées, celles-ci étant elles-mêmes également connectées à l'ensemble d'unités de sortie. Le poids des connexions entre les unités orthographiques et les unités cachées ainsi que le poids des connexions entre les unités cachées et les unités phonologiques n'implique aucune organisation et est influencé uniquement par l'entraînement. Lors de l'apprentissage, une chaîne orthographique est présentée et produit une sortie phonologique. Les poids reliant les unités d'entrée et de sortie sont ajustés selon une règle de rétropropagation, de sorte que les poids soient ajustés pour réduire la différence entre la prononciation correcte et la sortie du modèle. Ce modèle a donc permis de fournir un cadre théorique expliquant la performance de prononciation (voir Balota et al., 2006).

Figure 10

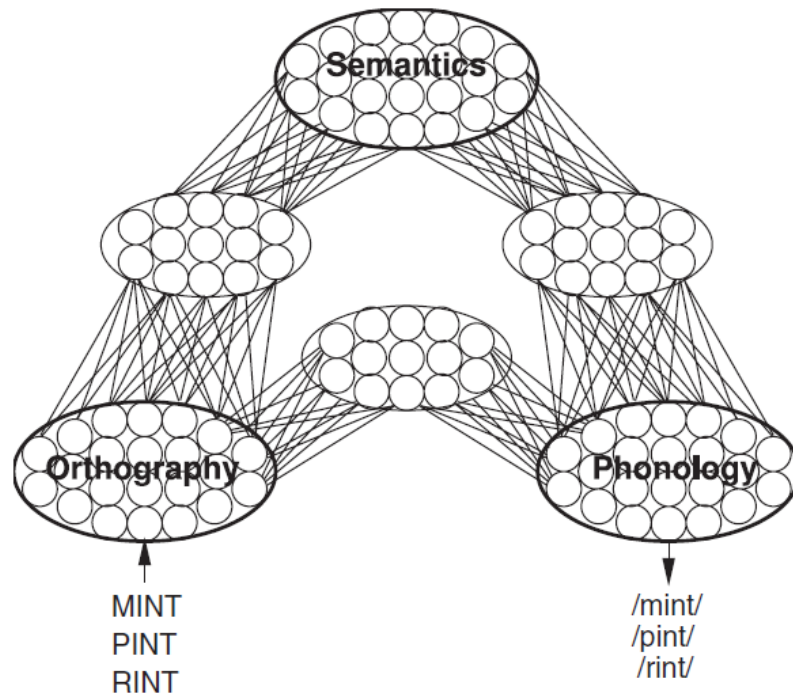
Architecture connexionniste de Seidenberg & McClelland (1989) extrait de Balota et al. (2006)



Toutefois, ce modèle propose une conception minimaliste du système de reconnaissance de mots et n'explique pas comment les significations des mots peuvent influencer la performance dans le traitement lexical. L'ajout de la contribution d'un chemin sémantique a donc été nécessaire afin de comprendre comment la signification d'un mot est calibrée dans le traitement lexical (voir, par exemple, le modèle triangle de Seidenberg et McClelland représenté en figure 11 ; voir également Plaut et al., 1996; Strain et al., 1995; Seidenberg, 2005).

Figure 11

Modèle connexionniste du traitement lexical de Seidenberg & McClelland (1989) extrait de Balota et al. (2006)



Le développement de modèles connexionnistes et computationnels des processus cognitifs (e.g., McClelland et al., 1986; Plaut et al., 1996; Seidenberg & McClelland, 1989; Seidenberg, 2005; Strain et al., 1995; Woollams et al., 2007) a notamment permis d'expliquer les performances des tâches lexicales telles que la prononciation de mots et la décision lexicale. Il s'agit des modèles de traitement distribué parallèle (PDP, Parallel Distributed Processing). Alors que le premier modèle de McClelland et Rumelhart (1981) implique des représentations localisées (i.e., caractéristiques, lettres, mots), ces modèles impliquent des représentations distribuées (e.g., il n'existe pas une seule représentation qui reflète le mot « stylo »). En outre, ces modèles tentent de capturer le développement du système de traitement lexical à partir de l'influence de l'entraînement. Ils impliquent des représentations distribuées qui intègrent trois formes de représentations importantes : les unités orthographiques, phonologiques et sémantiques. Chacune de ces représentations est liée aux autres. Selon le PDP, lorsqu'un mot est vu, les unités orthographiques sont d'abord activées et cette activation se propage aux unités

phonologiques et sémantiques grâce à leurs connexions (voir Phénix et al., 2016 pour une revue d'autres modèles similaires).

Par exemple, le modèle computationnel de Harm et Seidenberg (2004) (basé sur les principes computationnel de Harm & Seidenberg, 1999; Plaut et al., 1996; Seidenberg & McClelland, 1989) propose d'expliquer comment la signification d'un mot est capturée à partir de deux chemins disponibles simultanément, l'un visuel (orthographe => sémantique ; o => s) et l'autre phonologique (orthographe => phonologie => sémantique ; o => p => s). Dans leur modèle, la signification d'un mot est décrite comme un pattern d'activation d'un ensemble d'unités sémantiques qui se développent progressivement avec le temps à partir d'*input* continus provenant à la fois du chemin o => s et o => p => s. Les simulations effectuées à partir de ce modèle ont permis aux chercheurs d'expliquer de nombreux phénomènes comportementaux de la littérature, incluant par exemple les résultats d'études sur les homophones et pseudohomophones. Décider si « mère » signifie « le parent » et pas « l'étendue d'eau » requière d'utiliser la relation entre l'orthographe et la signification. Quant au pseudohomophone « mair », c'est l'information phonologique qui questionnera l'orthographe afin de déterminer s'il s'agit d'un mot.

Dans ces modèles de réseaux connexionnistes, l'information peut suivre un traitement *bottom-up* des informations caractéristiques visuelles de bas niveau vers des représentations lexicales du mot entier, tout en étant capable d'assumer un flux *top-down* à partir des représentations de haut niveau (Carreiras et al., 2014).

Le modèle de route duelle en cascade (Dual Route Cascaded-DRC, Coltheart et al., 2001; Coltheart et al., 2010) est également un des plus influent de la reconnaissance visuelle des mots. Contrairement aux modèles connexionnistes, il propose une vision plus traditionnelle impliquant des représentations locales explicites. Ce modèle décrit deux chemins de traitement des mots : une route directe allant des représentations orthographiques aux représentations phonologiques sans input sémantique et une route indirecte où les représentations orthographiques utilisent le système sémantique pour accéder aux outputs phonologiques. Selon cette perspective, la reconnaissance du mot n'implique donc pas nécessairement un feedback sémantique, l'accès au contenu sémantique étant optionnel.

1.2.2 La théorie du feedback d'activation

L'ensemble de ces modèles ont permis de développer le cadre théorique du feedback d'activation (Hino & Lupker, 1996; Hino et al., 2002; Pexman & Lupker, 1999; Pexman et al., 2001; Siakaluk, Pexman, Aguilera, et al., 2008). Celui-ci repose sur plusieurs hypothèses. **Premièrement**, il existe différents types d'informations qui sont traitées par différents ensembles d'unités ; les informations orthographiques sont traitées par un ensemble d'unités orthographiques, les informations phonologiques sont traitées par un ensemble d'unités phonologiques et les informations sémantiques sont traitées par un ensemble d'unités sémantiques. Toutes ces unités sont interconnectées et des boucles d'activation les relient (e.g., Coltheart et al., 2001; Plaut et al., 1996). **Deuxièmement**, différentes tâches vont activer différemment ces unités. La décision lexicale est basée sur l'activation des unités orthographiques, la décision phonologique et la prononciation sont basées sur l'activation des unités phonologiques et la catégorisation sémantique est basée sur l'activation des unités sémantiques (Balota, Paul, et al., 1999; Hino et al., 2002). Par exemple, il a été mis en évidence que dénommer des mots avec une orthographe irrégulière (e.g., femme) prend plus de temps que des mots avec une orthographe régulière (e.g., pile). Toutefois, cet effet est minimisé lorsque les mêmes stimuli sont utilisés dans une tâche de décision lexicale, celle-ci mettant l'accent sur un chemin visuel plutôt qu'auditif (Andrews, 1982; Seidenberg et al., 1984). Ainsi, la décision lexicale est dirigée par des processus utilisés pour discriminer les mots des non-mots et met l'accent sur le traitement orthographique alors que la prononciation est dirigée par des processus phonologiques. La décision sémantique est, quant à elle, dirigée par des processus décisionnels qui mettent directement l'accent sur la signification des mots. Par exemple, lorsqu'il est demandé à des participants de discriminer des entités naturelles d'objets manufacturés, ils doivent directement accéder à leur connaissance des propriétés spécifiques de ces entités, c'est-à-dire leurs connaissances sémantiques.

Troisièmement, étant donné l'interconnexion des unités orthographiques, phonologiques et sémantiques, le traitement dans un ensemble d'unités peut influencer le traitement dans un autre ensemble d'unités (e.g., feedback d'activation des unités sémantiques vers les unités orthographiques dans une tâche de décision lexicale Yap, Pexman, et al., 2012b).

Quatrièmement, le feedback d'activation sémantique sera déterminé par le type de connexion entre les unités sémantiques et les unités orthographiques et phonologiques. Lorsque les

correspondances entre les unités sémantiques et les autres ensembles d'unités sont multiples, il y aura un effet facilitateur. Plusieurs représentations vont s'activer et c'est la diffusion d'activation dans l'ensemble des unités qui entraînera une réponse plus rapide (Hino & Lupker, 1996; Pexman, Lupker, & Reggin, 2002). Ce cadre théorique a été utilisé pour expliquer des effets facilitateurs tels que les effets d'imageabilité en prononciation (Strain et al., 1995), du nombre de caractéristiques (Pexman, Lupker, & Hino, 2002), de polysémie (Balota et al., 1991; Hino & Lupker, 1996; Hino et al., 2002) et du nombre d'associés (Pexman et al., 2007) en décision lexicale et prononciation (voir les effets de synonymes pour des exemples d'effets inhibiteurs Hino et al., 2002; Pecher, 2001).

1.2.2.1 Application aux effets sémantiques incarnés

Les études montrant que la sémantique lexicale inclut les informations à propos de l'expérience sensorimotrice des objets sont un bel exemple pour illustrer cette théorie. Dans une tâche de décision lexicale et de décision phonologique (dénomination/prononciation), Siakaluk et al. (2008) montrent que les mots associés à plus d'informations sensorimotrices sont traités plus rapidement et plus précisément et sont donc associés à des représentations sémantiques plus riches (voir également Juhasz et al., 2011; Juhasz et Yap, 2012; Sidhu et al., 2014). L'effet facilitateur est expliqué parce que les mots avec des représentations sémantiques riches fournissent un feedback d'activation plus fort à l'orthographe et à la phonologie, permettant ainsi des réponses plus rapides (Siakaluk, Pexman, Aguilera, et al., 2008). Toutefois, parce que les réponses dans ces tâches sont basées sur le traitement orthographique et phonologique et pas directement sur le traitement sémantique, les chercheurs concluent que cette étude ne fournit que des preuves indirectes que les mots avec plus d'informations sensorimotrices génèrent une plus grande activation que leurs homologues contenant moins d'informations sensorimotrices.

Dans une étude ultérieure, les chercheurs décident alors d'évaluer l'activation sensorimotrice directe dans le traitement sémantique en utilisant une tâche de catégorisation (i.e., décision d'imageabilité). En accord avec d'autres chercheurs (e.g., Balota, Paul, et al., 1999; Hino et al., 2002), les auteurs suggèrent que la catégorisation sémantique est basée directement sur l'activation des représentations sémantiques. Dès lors, un effet sensorimoteur devra également être observé dans cette tâche. En effet, les résultats ont permis de mettre en évidence un effet facilitateur de l'information sensorimotrice lors d'un traitement sémantique, suggérant que les connaissances sensorimotrices doivent être intégrées comme un composant essentiel de ce qui

constitue les concepts (Siakaluk, Pexman, Aguilera, et al., 2008). L'approche de simulation sensorimotrice du contenu sémantique est celle qui permet le mieux d'expliquer les effets sémantiques incarnés dans la reconnaissance visuelle de mots (Connell & Lynott, 2015). Une plus grande expérience sensorimotrice (indexée, par exemple, par l'ICO ou le SER) correspond à la perspective « more means better » (*plus signifie mieux*, proposée initialement par Balota et al., 1991, p. 214) conduisant à une plus grande activation sémantique et une facilitation de la reconnaissance visuelle des mots.

Ainsi, les principes théoriques du feedback sémantique et de la simulation sensorimotrice permettent d'expliquer les effets sémantiques incarnés. Notons néanmoins que les deux modèles de reconnaissance visuelle de mots princeps ont été jugés inefficients pour expliquer la modularité de l'attention perceptuelle implicite (Connell & Lynott, 2015). En effet, Connell & Lynott (2015) suggèrent que ces modèles ne permettent pas de prendre en compte l'AMMA démontrant que la tâche module l'activation des informations sémantiques en dirigeant l'attention perceptuelle vers une modalité spécifique (e.g., la dénomination attire implicitement l'attention vers l'information auditive, laquelle bénéficiera aux mots présentant une forte expérience perceptuelle auditive, Connell & Lynott, 2014a). Ils suggèrent notamment que le chemin orthographe => sémantique => phonologie doit être envisagé comme étant direct plutôt qu'indirect.

1.3 Les corrélats neurobiologiques (le où et quand)

Les études d'IRMf ont permis de localiser, dans l'hémisphère gauche, les circuits neuronaux impliqués dans la reconnaissance de mots imprimés. Ceux-ci incluent deux chemins principaux : 1) une voie dorsale comprenant les gyri occipital, supramarginal et angulaire, et les cortex prémoteur et pars opercularis dans le cortex frontal inférieur 2) une voie ventrale impliquant le fusiforme gauche, temporal moyen et antérieur, et la pars triangularis dans le cortex frontal inférieur (Carreiras et al., 2014 ; Price, 2012). Ces deux chemins ne sont toutefois pas indépendants l'un de l'autre, des connectivités structurelles entre les régions appartenant à chacune de ces voies existent (Thiebaut de Schotten et al., 2014). En plus de ces deux voies, il existe un grand débat concernant le rôle du gyrus fusiforme gauche, l'aire présumée de la forme visuelle des mots (Carreiras et al., 2014; Cohen et al., 2000, 2002; Fu et al., 2021). Ce débat consiste à savoir si cette aire est impliquée dans un processus *top-down* ou *bottom-up* de la reconnaissance visuelle des mots. La première approche théorique suggère que l'aire de la

forme visuelle des mots est un site pré-lexical permettant le codage orthographique visuel dans un processus hiérarchique de type *bottom-up* (e.g., lettres, morphèmes, graphèmes) (Dehaene & Cohen, 2011; Vinckier et al., 2007). La seconde approche se veut interactive et suggère que l'activation de cette aire est modulée par les propriétés linguistiques de haut niveau tels que la phonologie, la morphologie et la sémantique (Carreiras et al., 2014; Price & Devlin, 2011). Dans ce dernier point de vue, ce sont les représentations de haut niveau qui modulent le traitement perceptuel orthographique précoce, de manière *top-down*. Bien qu'il existe des preuves en faveur de cette deuxième approche (e.g., effet de la fréquence lexicale Kronbichler et al., 2004), la façon dont les processus de haut niveau module le traitement perceptuel est encore inconnue (Fu et al., 2021).

Alors que les études IRMf permettent de renseigner la localisation des processus neuronaux impliqués dans la reconnaissance visuelle de mots, les méthodes d'électroencéphalographie (EEG) et magnétoencéphalographie (MEG) permettent, quant à elles, de fournir des informations sur la dynamique séquentielle des processus impliqués dans la reconnaissance visuelle de mots grâce à leur résolution temporelle en millisecondes. Différents composants ERP (*Event-Related Potential*, potentiel évoqué) ont pu être identifiés.

La N170 a été identifiée comme étant la composante la plus précoce dans la reconnaissance de patterns visuels. Il s'agit d'une composante négative occipito-temporale latéralisée à gauche qui se produit aux alentours de 170 ms après la présentation d'un mot. Effectivement, une plus grande négativité de la N170 est observée pour les stimuli orthographiques lorsqu'ils sont comparés à d'autres stimuli en chaîne (e.g., faux caractères, symboles) (e.g., Duñabeitia et al., 2012 ; Maurer et al., 2005 ; Simon et al., 2004). Il a donc été suggéré que la N170 pourrait être une réponse automatique liée à la reconnaissance typique visuelle de mots (Allison et al., 1994 ; Nobre et al., 1994; Tarkiainen et al., 2002). Il a également été rapporté que les composants précoces entre 100 et 200 ms sont sensibles à la fréquence lexicale (Assadollahi & Pulvermüller, 2003; Carreiras et al., 2005; Hauk, Davis, et al., 2006; Sereno & Rayner, 2003). Selon Carreiras et al. (2014), il s'agit d'un argument fort en faveur d'une modulation précoce de l'information lexicale de haut niveau.

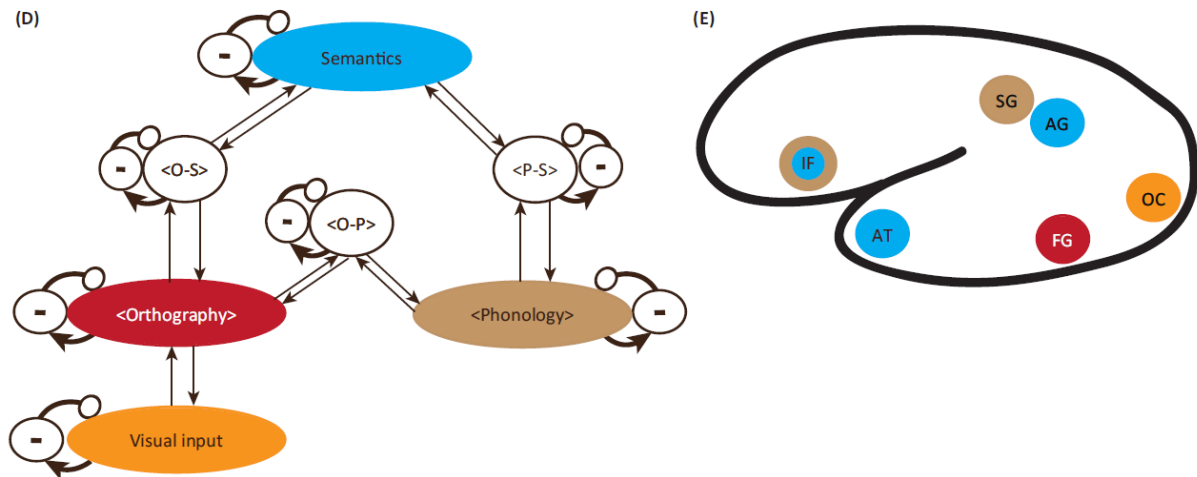
La N250 est également considérée comme un des composants ERP précoce lié à l'identification des mots. Elle apparaît juste après la phase initiale de traitement des caractéristiques des lettres et reflèterait le traitement des chemins orthographiques et phonologiques (Grainger & Holcomb, 2009). Elle est aussi considérée comme reflétant la représentation orthographique

pré-léxicale (Carreiras et al., 2009; Holcomb & Grainger, 2007) et se produirait à l'interface entre l'identification de la forme et de la signification (Chauncey et al., 2008). En effet, cette réponse est suivie de la N400, une déflexion négative piquant à environ 400 ms après la présentation du stimulus qui est identifiée comme étant associée au traitement sémantique (Grainger & Holcomb, 2009; Kutas & Federmeier, 2011; Fu et al., 2021). Il a été mis en évidence que cette composante était sensible aux relations sémantiques entre les mots présentés par paires (e.g., amorçage), dans des contextes plus larges (phrases et discours) ainsi que pour des mots isolés, les manipulations expérimentales modulant son amplitude (pour des revues, voir Kutas & Federmeier, 2011; Kutas et al., 2006; Van Petten & Luka, 2012).

Grâce à ces données, Carreiras et al. (2014) propose un modèle connexionniste (voir figure 12) incluant les informations neurobiologiques. Ce modèle contient les contraintes des représentations orthographiques, phonologiques et sémantiques, celles-ci communiquant par des groupes de neurones intermédiaires (représentés par les étiquettes <o-p>, <o-s>, <p-s>). Les auteurs suggèrent qu'il est alors possible d'étudier les activations dynamiques et les représentations qui émergent dans les régions cérébrales associées à ces différentes représentations. Celles-ci sont représentées par la figure (E) dans une coupe latérale de l'hémisphère gauche ; la couleur des cercles indique les représentations théoriques du modèle pour lesquelles ces régions pourraient intervenir.

Figure 12

Modèle connexionniste incluant les données de neuroimagerie selon Carreiras et al. (2014)



Abréviations. IF, cortex frontal inférieur ; SG, gyrus supramarginal ; AG, gyrus angulaire ; AT, cortex temporal antérieur ; FG, gyrus fusiform (incluant l'aire de la forme visuelle) ; OC, cortex occipital.

1.3.1 Les corrélats neurobiologiques associés à la richesse sémantique

Les études d'imagerie cérébrale fonctionnelle ont également examiné la façon dont les effets de richesse sémantique (i.e., les mots associés à des représentations sémantiques plus riches entraînent une activation plus forte des représentations sémantiques et conduisent à des réponses plus rapides et plus précises) modulent le traitement cérébral langagier. Pexman et al. (2007) examinent, pour la première fois, les conséquences neurales de la richesse sémantique dans une tâche de catégorisation en utilisant l'IRMf. Ils observent une réduction de l'activation du gyrus frontal inférieur gauche pour les mots présentant un nombre élevé d'associés sémantiques contrairement à une activation plus importante pour les mots présentant peu d'associés, suggérant que ces derniers requièrent un effort et un traitement lexico-sémantique plus intense que les stimuli plus riches sémantiquement. Des effets de la N400 ont également été observés montrant des différences d'amplitude pour cette variable (Laszlo & Federmeier, 2011; Müller et al., 2010). Une augmentation de l'effet de la N400 a également été observée dans une tâche de décision lexicale pour les mots associés à de nombreuses caractéristiques (Rabovsky et al., 2021; voir également; Amsel, 2011; Amsel & Cree, 2013; Kounios et al., 2009) ainsi que pour les mots associés à de multiples sens (Taler et al., 2013). Ferreira et ses collaborateurs (2015) démontrent également que les mots associés à plus de caractéristiques

augmentent l'activité du gyrus angulaire gauche et du gyrus temporal antérieur moyen. Les corrélats des effets de richesse sémantique sensorimoteurs (évalués grâce à la variable ICO) ont également été examinés dans des tâches de catégorisation sémantique et montrent que les mots associés à plus d'informations sensorimotrices produisent une activation du lobule pariétal inférieur gauche (une aire d'association sensorielle impliquée dans la mémoire kinesthésique) (Hargreaves, Leonard, et al., 2012) ainsi qu'une modulation de la N400 (Al-Azary et al., 2022).

1.4 Un processus dynamique et flexible

De nombreux travaux montrent qu'extraire la signification d'un mot est un processus dynamique modulé par des facteurs contextuels tels que la demande de la tâche qui dictera l'information activée à partir des lettres imprimées (voir Balota & Yap, 2006; Pexman et al., 2013b). Par exemple, Yap et al. (2012a) analysent l'impact de cinq dimensions sémantiques (nombre de caractéristiques, nombre de significations, densité des voisins sémantiques, imageabilité et ICO) à partir de cinq tâches de reconnaissance visuelle de mots (décision lexicale standard, décision lexicale dans un go/no-go, prononciation, démasquage progressif et catégorisation sémantique). Bien que des effets de richesse sémantique soient observés dans toutes les tâches, leur recherche met en exergue une interaction entre les mécanismes spécifiques à la tâche et le traitement sémantique. En effet, ils montrent que l'imageabilité, le nombre de caractéristiques et l'ICO produisent un effet dans la plupart des tâches (seul le démasquage progressif s'est avéré non concluant pour l'ICO) alors que les autres mesures se sont montrées davantage spécifiques à certaines tâches. Par exemple, la densité des voisins sémantiques produit des effets significatifs en décision lexicale (standard et de type go/no go) mais pas dans les autres tâches (voir Duñabeitia et al., 2008, Pexman et al., 2008 et Yap et al., 2011 pour des exemples similaires). Le participant ajuste donc de façon dynamique le type d'information qu'il utilise pour répondre à la demande de la tâche.

Des recherches montrent également que la consigne peut moduler les effets de la reconnaissance visuelle de mots. La consigne impliquerait des mécanismes *top-down* qui renforcent ou atténuent les effets du traitement lexical (Kiefer & Mertens, 2010). Notamment, différentes décisions catégorielles peuvent induire des résultats différents (e.g., Hino et al., 2006; Pexman et al., 2003). Tousignant et Pexman (2012) examinent l'influence de la consigne sur les effets de l'ICO en proposant quatre consignes de catégorisation sémantique (est-ce une action ? vs est-ce une entité ?; est-ce une action ou une entité ? vs est-ce une entité ou action ?)

et démontrent des effets facilitateur de l'ICO uniquement dans les tâches pour lesquelles les participants connaissaient la présence d'« entité » comme faisant partie du critère de décision. Récemment, Al Azary, Yu et McRae (2022) montrent également que la consigne touchable/non touchable provoque des effets de l'ICO sur la N400 mais pas sur la latence des réponses alors que les mêmes items traités dans une tâche de concrétude (concret vs abstrait) montrent un impact de l'ICO sur les temps de réponse mais pas sur la N400. Cette étude récente corrobore le fait que les effets de richesse sémantique sont dépendants de la tâche.

Les différences de performance selon la spécificité des tâches ont également des conséquences sur les activations cérébrales observées en IRMf. Par exemple, Hargreaves, White et al. (2012) comparent les corrélats neuronaux dans deux types de décisions sémantiques différentes (i.e., est-ce un animal vs est-ce une chose concrète) avec les mêmes items et montrent que la décision de concrétude induit plus d'activité dans les régions motrices alors que la catégorisation basée sur les animaux active des régions liées aux connaissances générales.

Il a également été mis en évidence que les personnes présentant des scores plus élevés en vocabulaire ou étant adeptes des jeux impliquant le vocabulaire (i.e., Scrabble) répondaient plus rapidement à une tâche de décision lexicale et présentaient des effets sémantiques plus faibles (e.g., Hargreaves, Pexman, et al., 2012; Yap et al., 2011; Yap, Balota, et al., 2012). Cela suggère qu'au plus les individus acquièrent de l'expérience en lecture, au plus ils deviennent performants dans les mécanismes automatiques du traitement lexical. Notamment, il est supposé que les experts de Scrabble ne s'appuient pas sur la signification des mots pour juger de leur lexicalité (Hargreaves, Pexman, et al., 2012). L'expérience lexicale du lecteur a donc également un impact dans le processus de reconnaissance de mots.

Cette dernière information suscite tout particulièrement notre intérêt relatif au processus de vieillissement. En effet, en raison de leur expérience de vie, les personnes âgées possèdent naturellement une plus grande expérience lexicale. Si l'expérience façonne la reconnaissance visuelle de mots et améliore l'efficacité du système de reconnaissance visuelle (e.g., Hargreaves, Pexman, et al., 2012), il semble alors pertinent de se demander quel impact potentiel l'expérience des personnes âgées a sur la reconnaissance des mots. Dans le prochain chapitre, nous examinerons en détail comment le vieillissement impacte le traitement conceptuel.

Synthèse du chapitre 2

L'intérêt porté à l'implication conceptuelle dans différentes modalités perceptuelles a suscité le développement de diverses normes sensorimotrices. Parmi celles-ci, la force de l'expérience perceptuelle (FP) s'est révélée extrêmement pertinente en raison de sa capacité à capturer la multimodalité sensorielle/perceptuelle des concepts. De même, la variable d'interaction corps-objet (ICO) est particulièrement adaptée pour capturer des informations davantage relatives à la dimension motrice des concepts. Ces mesures permettent une meilleure compréhension théorique des processus et représentations qui sous-tendent diverses compétences lexicales, en particulier la reconnaissance de mots isolés.

La reconnaissance visuelle de mots implique des mécanismes complexes et différents modèles développés dans la littérature ont été présentés. Ces modèles ont évolué afin d'inclure la représentation d'unités de signification, lesquelles peuvent fournir un feedback d'activation aux unités des mots. La théorie du feedback d'activation sémantique s'est montrée pertinente pour comprendre l'activation et l'interaction des unités orthographiques, phonologiques et sémantiques, notamment selon le type de tâche employée (i.e., décision lexicale, dénomination, catégorisation). Par ailleurs, nous avons souligné que ces tâches impliquent un traitement dynamique et flexible et engendrent des activations cérébrales et un déroulement temporel spécifiques. Pour terminer, le chapitre 2 s'est achevé par une interrogation que nous investiguerons dans le chapitre suivant : *de quelle manière le processus de vieillissement impacte-t'il le traitement conceptuel (et en particulier la reconnaissance des mots) ?*

Chapitre 3 – Le vieillissement normal : ses effets et son implication dans le traitement conceptuel

1. Généralités

1.1 Vieillissement démographique et enjeux sociétaux

Le vieillissement démographique est un phénomène qui se caractérise par l'augmentation de la proportion de personnes âgées dans la population mondiale et qui soulève des enjeux sociétaux importants. L'organisation mondiale de la santé estime que le pourcentage d'adultes âgés de plus de 60 ans aura doublé d'ici 2050, passant de 12% à 22%, soit à près de 2 milliards de la population mondiale (OMS, 2017). Le nombre de personnes âgées de 80 ans et plus devrait également tripler, passant de 143 millions en 2019 à 426 millions en 2050 (ONU, 2019). L'amélioration des conditions de vie, l'augmentation de l'espérance de vie et la baisse de la fécondité sont des facteurs qui expliquent cette croissance. Ce vieillissement démographique fait néanmoins face à de nombreux défis. En effet, il soulève de nombreuses inquiétudes touchant le maintien des systèmes publics de santé, de retraite et de protection sociale pour les personnes âgées (ONU, 2019).

Déficits sensoriels, douleurs chroniques, mobilité réduite, maladies cardiaques, accidents vasculaires cérébraux, affections respiratoires chroniques, cancer et démence sont des problématiques de santé associées à l'âge et celles-ci peuvent entraver la qualité de vie de la personne âgée et le maintien de son indépendance (OMS, 2016). Dans nos sociétés industrialisées, la question de l'état de santé de la personne vieillissante est la plus souvent posée. Elle a amené une vision médicalisée du vieillissement qui a vu se développer des perspectives de « prises en charge » et des stratégies de préventions axées sur la promotion d'une bonne santé. En parallèle au coût croissant des dépenses de santé, la retraite et son financement a conduit à une vision très négative du vieillissement sur la société (Bonnet et al., 2021). Effectivement, ces débats socio-économiques contribuent à associer la personne âgée au déclin, à la dépendance et à des coûts. Le départ à la retraite est considéré comme étant le moment où l'on devient « vieux », la catégorie sociale des retraités est créée dans laquelle le vieillissement est du même coup associé à l'inactivité et la non productivité (Gagnon, 2019).

Il est important de souligner que le contexte sociétal actuel du vieillissement fait partie intégrante de l'environnement de la personne âgée. Les effets de ces facteurs psychosociaux sont d'ailleurs démontrés, tant sur la santé physique que mentale (voir par exemple Adam et al., 2013; Lagacé et al., 2011; Schroyen et al., 2016; Vigouroux-Zugasti, 2014).

1.2 Vieillissement individuel

Bien que naturellement lié, il convient de distinguer le vieillissement individuel du vieillissement démographique. Le vieillissement, appelé également sénescence, est souvent défini d'un point de vue biologique comme le résultat de nombreuses atteintes moléculaires et cellulaires au fil du temps, entraînant une diminution progressive des capacités physiques et mentales ainsi qu'une augmentation du risque de maladies (OMS, 2022). Toutefois, la définition du vieillissement ne peut se cantonner aux aspects biologiques, « l'homme étant à la fois un être biologique mais aussi un être pensant et sensible et un être social » (Henrard, 2002, p.14). Ainsi, le vieillissement est également défini comme un ensemble de processus qui sont variables d'une personne à l'autre, d'une époque à l'autre, et impliquant différentes dimensions (biologique, sociale, psychologique) agissant en interaction (Henrard, 2002). En effet, de très nombreux facteurs peuvent influencer le vieillissement d'un individu comme sa génétique, ses événements de vie, sa façon de réagir à ses expériences sociales ainsi que sa façon de s'adapter (Rousseau, 2018). Amieva et al. (2018) proposent une définition à la fois simple et exhaustive du vieillissement qui englobe des notions d'adaptation aux changements et d'évolution en fonction du temps, celles-ci pouvant s'appliquer aux aspects physiologiques, psychologiques et sociaux.

Il convient de se demander à quel âge est-on considéré comme une personne âgée, vieillissante ? « L'approche traditionnelle considère qu'un individu est âgé des lors que son âge chronologique est supérieur ou égal à un âge « fixe » choisi de manière conventionnelle, variable selon les domaines d'études et l'analyse conduite » (Bonnet et al., 2021, p. 233). D'un point de vue social, suite à l'arrêt de l'activité professionnelle, l'âge de 65 ans est généralement considéré comme un seuil conventionnel. Cet âge plancher de la vieillesse avait également été défini par l'organisation mondiale de la santé, bien que récemment modifié à 60 ans (OMS, 2022). Notons, néanmoins, que celui-ci reste arbitraire et ne tient pas compte des différences individuelles qui sont fréquentes (Rousseau, 2018).

Vieillir est un processus naturel et inéluctable de la vie. Afin de différencier le vieillissement normal⁵ du vieillissement pathologique et de la maladie, il est important d'en connaître les effets. Avec certitude, le vieillissement est associé à des changements dans de nombreux domaines. Certains sont détaillés dans la suite de ce chapitre, sans prétention d'exhaustivité mais bien selon les problématiques qui nous guident.

1.2.1 Vieillissement cérébral

1.2.1.1 Au niveau biologique

Sur le plan biologique, le vieillissement entraîne une accumulation progressive de lésions moléculaires et cellulaires, résultant inévitablement en une diminution globale des réserves physiologiques (OMS, 2016). La neurochimie et l'anatomie du cerveau subissent également les effets cumulatifs du vieillissement. Sur le plan morphologique, on observe une réduction du cerveau en volume et en poids avec un rétrécissement de la matière grise et de la matière blanche ainsi qu'un élargissement des ventricules cérébraux (Drayer, 1988). Des données suggèrent que la réduction du volume du cerveau des adultes âgés en bonne santé est plus importante pour la matière grise et, en particulier, pour le cortex préfrontal. L'hippocampe, le cortex entorhinal et le cortex temporal inférieur n'échappent pas non plus à ces rétrécissements dû à l'âge (Raz et al., 2005). La diminution de la matière blanche et de l'hippocampe peut, par ailleurs, être accélérée par des facteurs vasculaires comme l'hypertension (Raz et al., 2005; Raz & Rodrigue, 2006). Aucun rétrécissement des cortex sensoriels n'est toutefois mis en évidence (Raz, 2000). Les études longitudinales montrent néanmoins que les changements dans le volume cérébral avec l'âge ne sont pas uniformes et varient selon les régions. Les modifications cérébrales morphologiques les plus importantes sont observées dans le noyau caudé, le cervelet, l'hippocampe et les cortex d'association tertiaires avec une réduction significativement plus faible pour le cortex fusiforme (Raz et al., 2005). De surcroît, des différences individuelles sont observées dans les changements cérébraux liés à l'âge. Le cortex latéral préfrontal, la matière blanche préfrontale et l'hippocampe sont les régions dont les rétrécissements varient fortement

⁵ Dans cet écrit, nous considérerons le terme « sain » comme équivalant à « normal » pour décrire le vieillissement normal, par opposition au vieillissement pathologique.

à travers les individus, notamment selon la présence de facteurs de risque tels que l'hypertension et le syndrome métabolique⁶ (Lindenberger, 2014).

Sur le plan métabolique, un hypométabolisme des régions antérieures (cortex frontal et gyrus cingulaire antérieur) est également observé. Les systèmes de neurotransmissions subissent aussi des perturbations en concentration et en densité de récepteurs. Notamment, une diminution de la neuromodulation dopaminergique est renseignée dans le vieillissement normal (Arnsten et al., 2012; Bäckman et al., 2010; Li et al., 2001). Celle-ci est notable étant donné son rôle important pour le fonctionnement cognitif (Bäckman et al., 2010; Li et al., 2001).

1.2.1.2 Au niveau cognitif

Le vieillissement normal s'accompagne classiquement de déclin dans un certain nombre d'habiletés cognitives (voir Salthouse, 2012 pour une revue). Par exemple, par rapport aux jeunes adultes, les adultes âgés (généralement entre 60 et 80 ans) présentent une plus faible mémoire de travail (e.g., Salthouse & Babcock, 1991), de plus faibles capacités attentionnelles (e.g., Craik & Byrd, 1982; Hasher & Zacks, 1988; Madden, 2007), des difficultés à inhiber les informations non pertinentes (e.g., Hasher et al., 1991), ainsi qu'un ralentissement de la vitesse de traitement (e.g., Salthouse, 1992, 1996a; Verhaeghen & Cerella, 2002).

Bien que les mécanismes qui y soient impliqués ne fassent pas l'unanimité, le déficit de la mémoire de travail dans le vieillissement normal fait consensus (Glisky, 2007). La rétention et la manipulation d'information (e.g., tâche d'empan envers) se montrent vulnérables aux altérations dues à l'âge. La diminution des capacités de l'administrateur central dans le vieillissement explique, par exemple, certaines difficultés rencontrées par les personnes âgées dans des activités cognitives complexes (Eustache et al., 2018). Au niveau attentionnel, les tâches pour lesquelles les adultes âgés montrent des perturbations tendent à être celles requérant un contrôle flexible de l'attention, une fonction cognitive associée au lobe frontal qui est une des régions sensibles aux effets de l'âge (Glisky, 2007). Ces atteintes auraient des répercussions sur le déclin d'autres fonctions cognitives, comme la mémoire épisodique, la mémoire prospective et la théorie de l'esprit (Eustache et al., 2018).

⁶ Le syndrome métabolique est un ensemble de facteurs de risques qui reflètent une suralimentation, un mode de vie sédentaire et l'excès d'adiposité qui en résulte (Cornier et al., 2008).

Alors que l'organisation de la mémoire sémantique semble inchangée (Light, 1992; Rossi, 2018), la mémoire épisodique est la plus affectée par l'avancée en âge, particulièrement les souvenirs plus spécifiques relatifs à des événements ou des expériences du passé. En fait, un effet de l'âge sur la mémoire épisodique a été mis en évidence concernant les processus de récupération contrôlée ; les sujets âgés ont besoin de davantage d'indices pour évoquer un souvenir spécifique et fournissent moins de détails en rapport à des événements spécifiques en comparaison aux jeunes adultes (pour des revues, voir Balota et al., 2000; Craik & Byrd, 1982; Craik & Jennings, 1992; Park, 2000). Des difficultés à utiliser spontanément des stratégies lors de l'encodage ont également été avancées, lesquelles dépendent fortement des régions préfrontales (Glisky et al., 2007). Un effet délétère du vieillissement a également été mis en évidence sur la mémoire prospective. Toutefois, cet effet est à nuancer car il semble indirect. Il s'explique soit par une moindre efficacité de la mémoire épisodique (Huppert et al., 2000; Reese & Cherry, 2002), soit par l'implication de processus exécutifs distincts selon le type de tâche (i.e., capacité d'association en mémoire de travail ; inhibition ; planification) (Gonneaud et al., 2011; Kliegel et al., 2003; Kliegel & Jager, 2006). La mémoire prospective peut aussi reposer sur certains aspects de la mémoire de travail pour maintenir une intention future dans le temps et implique probablement l'attention divisée, deux fonctions qui montrent des déficits liés à l'âge (Glisky et al., 2007). En effet, les personnes âgées manifestent typiquement des difficultés lorsqu'il s'agit d'alterner les tâches ou modifier les traitements en fonction des propriétés des stimuli (Rossi, 2018).

Sur le plan exécutif, la réduction des capacités du contrôle inhibiteur débute dès le milieu de l'âge adulte et, avec l'avancée en âge, davantage de difficultés dans l'inhibition de l'action sont observées. Ces déficits s'observent plus précisément dans des tâches requérant une demande de contrôle exécutif élevée (Ren et al. 2012).

Selon Rossi (2018), le ralentissement de la vitesse de traitement et la diminution des capacités d'inhibition sont des exemples de facteurs qui contribuent à augmenter la charge cognitive de la personne âgée et entraînent en conséquence de la fatigue. Les aînés doivent fournir davantage d'effort qu'une personne jeune pour aboutir à la même performance, ce qui réduit considérablement la durée pendant laquelle ils peuvent maintenir la performance. De manière générale, la diminution des ressources de la mémoire de travail et de vitesse de traitement, l'augmentation de la distraction et la difficulté à adopter la stratégie la plus efficace rendent plus difficiles les apprentissages des adultes âgés et, en conséquence, les ralentissent.

Nonobstant ces faits, certaines fonctions cognitives font exception au déclin lié à l'âge. C'est le cas de la mémoire procédurale mais également des capacités sémantiques qui sont connues comme étant préservées au cours du vieillissement normal (Nilsson, 2003) (ces dernières font l'objet du point 3 du présent chapitre).

Bien que les effets du vieillissement sur les performances cognitives soient connus, ils ne se manifestent pas systématiquement de façon identique chez la personne âgée. Des différences inter-individuelles existent et un ensemble de caractéristiques individuelles modulant le vieillissement cognitif ont pu être déterminées. Celles-ci incluent, par exemple, le niveau d'étude, la profession exercée, le style de vie, l'expertise, la condition physique, etc. (Lemaire, 2010). Stern (2002, 2009) introduit la notion de réserve cognitive pour caractériser la résistance aux effets d'un dommage cérébral qui est variable d'une personne à l'autre. Les individus qui disposent d'une plus grande réserve cognitive maintiendront plus longtemps leurs performances alors que ceux qui en ont peu subiront plus rapidement des déficits cognitifs. Différents modèles tentent notamment d'expliquer la plasticité cérébrale observée dans le vieillissement à partir de données de neuroimagerie fonctionnelle (voir par exemple Ska et al., 2011).

1.2.2 Vieillesse motrice

Alors que les performances motrices restent généralement stables à travers l'âge adulte, elles déclinent chez l'adulte âgé. La perte de poids, les changements posturaux, la diminution de la densité osseuse ainsi que l'augmentation de la fragilité osseuse sont couramment expérimentées (Di Pietro, 2001). Les modifications musculaires telles que la diminution de la masse, de la force, de la tonicité et de la flexibilité musculaire affectent tous les comportements moteurs des personnes âgées (Rossi, 2018). Suite au ralentissement global du traitement de l'information, les fonctions motrices sont également ralenties (e.g., Light, 1990). Le vieillissement s'accompagne également d'une diminution de la mobilité. Celle-ci inclut les activités telles que marcher, se tenir debout, se retourner au lit et monter les escaliers qui sont toutefois essentielles pour accomplir les activités de la vie quotidienne (Lowry et al., 2012). En outre, de nombreux aspects fonctionnels chez la personne âgée incluant l'articulation du discours, la préhension manuelle et la stabilité posturale peuvent être impactés par la perte d'acuité sensorielle (Wickremaratchi & Llewelyn, 2006). Notamment, de nombreuses preuves suggèrent que le

déclin proprioceptif⁷, défini comme le résultat de changements dégénératifs dans le système nerveux périphérique et central, peut représenter un aspect fondamental du processus de vieillissement (pour une revue voir Goble et al., 2009). La section suivante cible plus spécifiquement les changements en acuité sensorielle concernant les cinq sens aristotéliens.

2. Vieillesse, sens et perception

2.1 Vieillesse perceptuelle

Un déclin dans la plupart des modalités sensorielles est bien documenté avec l'avancée en âge (voir Schneider & Pichora-Fuller, 2000 pour une revue). Sur le plan visuel, cinq dimensions relativement problématiques sont détectées chez les personnes âgées : la vitesse de traitement visuelle (e.g., la vitesse de lecture), la sensibilité à la lumière (e.g., voir dans le crépuscule ou dans le noir), la vision dynamique (e.g., lire un affichage défilant), la vision proche (e.g., lire les petites écritures) et la recherche visuelle (Winslow et al., 1988 cités par Fozard & Gordon-Salant, 2001). Ces troubles sont prédominants entre 65 et 74 ans et s'accompagnent particulièrement d'une réduction du champ visuel. Ces phénomènes s'accroissent après 75 ans, avec des risques de cataracte, de glaucome et de dégénérescence de la macula (Rossi, 2018). Alors que l'acuité visuelle diminue, les seuils de discrimination auditive augmentent (e.g., Kalina, 1997; Lin & Albert, 2014; Liu & Yan, 2007). Il a été suggéré qu'au moins 50 % des individus âgés de 75 ans et plus présentent une perte auditive (Schneider & Pichora-Fuller, 2000), celle-ci étant suffisamment grave pour altérer la communication (Agrawal et al., 2008 ; voir Bowl & Dawson, 2019 pour une revue des troubles auditifs). Gopinath et ses collaborateurs (2009) rapportent qu'une perte bilatérale est observée chez 17 % des femmes et 28.7 % des hommes âgés entre 60 et 69 ans. En outre, le fait d'avoir travaillé dans un environnement bruyant augmente de 70 à 90 % la probabilité de développer un trouble auditif modéré à sévère

⁷ Le système proprioceptif représente un groupe d'informations relatives à la position et aux mouvements des articulations, aux sensations accompagnant les contractions musculaires et à la synchronisation des commandes motrices ainsi qu'aux sensations liées à l'orientation du corps (Gandevia et al., 2002).

(Gopinath et al., 2009). Les habiletés sensorielles tactiles sont également affectées négativement (Wickremaratchi & Llewelyn, 2006). Par exemple, il a été montré que la capacité de distinguer spatialement deux aiguilles appliquées à la surface de la peau diminue avec l'âge (e.g., Kalisch et al., 2009; Lenz et al., 2012; Ranganathan et al., 2001; Vieira et al., 2016). Une augmentation du seuil de stimulation cutané a également été mise en évidence chez des sujets âgés (55-84 ans) par rapport à des sujets jeunes (19-31 ans) concernant des stimuli mécaniques (tactiles et vibratoires) et des stimuli chauds (Kenshalo, 1986). Les seuils d'acuité tactile au niveau des pieds et des doigts sont en moyenne 80 % plus élevés chez les âgés que chez les plus jeunes (Wickremaratchi & Llewelyn, 2006). Des pertes de goût et d'odorat sont également communes dans le vieillissement normal et touchent au moins un tiers des personnes âgées (Rawson, 2003). Elles provoquent une diminution du plaisir pour la nourriture mais sont également des facteurs de risque pour la nutrition et les défenses immunitaires (voir Schiffman, 1997 pour une revue). Toutefois, les différences entre les jeunes et âgés pour le goût et l'odorat semblent être indirectement liées au vieillissement (Weiffenbach, 1984). Par exemple, des facteurs tels que des maladies chroniques, la médication et des problèmes dentaires ont été avancés comme principales causes du déclin olfactif plutôt qu'un résultat direct du vieillissement (Rawson, 2006).

2.2 Vieillissement et intégration multisensorielle

Notre perception de l'environnement implique typiquement plus d'une modalité sensorielle. La combinaison de l'information provenant de différents sens est appelée l'intégration multisensorielle (IMS, Freiherr et al., 2013; Stein & Meredith, 1990; Talsma, 2015). Il y a de nombreux avantages dans le fait de bénéficier de multiples sens : « chaque sens est d'une utilité optimale dans différentes circonstances, et, collectivement, ils augmentent la probabilité de détecter et identifier des événements ou objets d'intérêt » (Stein & Stanford, 2008, p. 255). La littérature sur le traitement multisensoriel dans le vieillissement met en exergue une plus grande intégration multisensorielle chez les adultes âgés en comparaison aux jeunes adultes (pour des revues voir De Dieuleveult et al., 2017; Freiherr et al., 2013; Mozolic et al., 2012). Par exemple, Diederich et al. (2008) ont montré que les sujets âgés bénéficient davantage d'une stimulation bimodale (visuelle et auditive) qu'unimodale dans une tâche d'attention focalisée. Plusieurs études ont répliqué ces résultats en comparant diverses conditions bimodales et unimodales (e.g., Diaconescu et al., 2013; Laurienti et al., 2006; Mahoney et al., 2011, 2012; Peiffer et al.,

2007). Une explication possible est que la diminution des capacités de traitement des modalités individuelles associée à des altérations cognitives liées à l'âge augmente l'ampleur de l'effet du bénéfice multisensoriel (Brodoehl et al., 2015; Hairston et al., 2003). L'augmentation de l'IMS apparaît donc comme une fonction compensatoire de la diminution du traitement des stimuli unisensoriels avec l'âge (Diaconescu et al., 2013; Diederich et al., 2008). Par conséquent, l'IMS devient de plus en plus importante avec l'avancée en âge car elle permet de compenser les conséquences des détériorations unisensorielles. D'autres explications ont été discutées dans la littérature. Par exemple, il est également possible que les personnes âgées aient des difficultés à supprimer le bruit environnant non pertinent. Cela suppose que les stimuli sont automatiquement traités et intégrés avec les informations pertinentes, ce qui améliore l'IMS (Laurienti et al., 2006; Peiffer et al., 2009) (voir Mozolic et al., 2012 pour une discussion sur les diverses explications possibles).

De manière intéressante, lorsque la vision est intégrée, les personnes âgées priorisent le traitement visuel par rapport au toucher ou l'audition (Costello & Bloesch, 2017). Cet effet, qualifié de « dominance visuelle », a bien été documenté dans les études d'attention multimodale indiquant que, dans des tâches d'IMS, le traitement des personnes âgées est dominé par les composants visuels (Mahoney et al., 2012; Thompson & Malloy, 2004). Notons que la dominance du traitement visuel par rapport aux autres modalités est observée chez tous les humains voyants (Posner, 1976). Toutefois, elle a d'autant plus d'influence chez les personnes âgées en comparaison aux jeunes (Costello & Bloesch, 2017). Dans l'étude de Diaconescu et al. (2013), des participants jeunes et âgés réalisent une tâche de jugement de stimuli présentés en condition soit unimodale (auditive ou visuelle) soit bimodale (auditive et visuelle). Ils montrent que les deux groupes bénéficient de l'addition de la modalité visuelle par rapport à la modalité auditive seule, mais cet effet est plus important chez les adultes âgés. De plus, le gain multisensoriel chez les personnes âgées était associé à une augmentation de l'activité médiale préfrontale et pariétale postérieure (impliquée dans la performance visuo-motrice). Les auteurs expliquent cet effet de dominance visuelle par un mécanisme compensatoire ; les adultes âgés s'appuieraient davantage sur les régions cérébrales du traitement visuel pour compenser les réductions du volume de la matière grise dans les zones corticales et sous-corticales.

2.3 Interactions entre perception et cognition

Dans la littérature sur le vieillissement cognitif, une forte connexion est mise en évidence entre fonctionnement sensoriel et cognition (e.g., Anstey et al., 1997; Baltes & Lindenberger, 1997; Lindenberger & Baltes, 1994; Stankov & Anstey, 1997; Valentijn et al., 2005). La perception est d'ailleurs souvent considérée comme un processus pré-cognitif. Des déficits à ces stades précoces de traitement pourraient donc affecter les fonctions cognitives plus tardivement dans le flux de traitement (Glisky, 2007). Une étude longitudinale sur 6 ans a, par exemple, montré qu'un changement dans l'acuité visuelle était associé avec un changement dans la plupart des mesures cognitives et qu'un changement dans l'acuité auditive était associé avec un changement dans les performances mnésiques (Valentijn et al., 2005). Ces résultats sont corroborés par d'autres études indiquant que les différences liées à l'âge dans des tests d'intelligence étaient modulées par des différences en vision et audition (Baltes & Lindenberger, 1997; Lindenberger & Baltes, 1994). De plus, lorsque ces différences sont statistiquement contrôlées, les différences d'âge n'apparaissent plus dans le fonctionnement cognitif (Baltes & Lindenberger, 1997). Plus récemment, Amieva et al. (2015) ont montré, dans un suivi sur 25 ans, que chez les personnes âgées de 65 ans et plus, la présence d'un trouble auditif non corrigé était significativement associée à une diminution des performances cognitives (évaluées avec le MMSE), alors que celles-ci étaient similaires aux sujets contrôles lorsque les troubles auditifs étaient corrigés. Toutefois, il est à noter que ces études ont ciblé uniquement la vision et l'audition (voir Roberts & Allen, 2016 pour une revue). De plus, ces liens entre perception (visuelle et auditive) et cognition ne sont pas toujours retrouvés dans la littérature ou ne sont pas toujours concordants. En effet, certains chercheurs ne rapportent pas de lien entre la fonction auditive et la cognition (Anstey et al., 2001b; Gennis et al., 1991; Gussekloo et al., 2005) ou entre la vision et les performances des seniors à diverses tâches (Houston et al., 2016; La Fleur & Salthouse, 2014), alors que d'autres constatent des liens francs entre l'audition et mémoire (Rott, 1995). D'autres encore n'ont observé aucun lien entre vision, audition et cognition (Hofer et al., 2003). La nature de l'association entre fonctions sensorielles et fonctionnement cognitif est donc ambiguë. Selon Roberts et Allen (2016),

Il est possible que la perception et la cognition déclinent en tandem étant donné les effets communs du vieillissement, mais il y a aussi des preuves qui suggèrent que les déclinés en perception et en cognition s'impactent l'un l'autre, à la fois à court et long terme. (Roberts & Allen, p.1)

Différentes hypothèses ont été proposées pour identifier les mécanismes qui soutiennent le lien entre ces deux domaines. **L'hypothèse de « déprivation sensorielle »** suppose que la réduction des inputs sensoriels diminue la probabilité que les individus s'engagent dans des interactions cognitives avec leur environnement et causent une atrophie neuronale (Lindenberger & Baltes, 1994). D'autres chercheurs ont avancé **l'hypothèse de la « cause commune »** selon laquelle la dégénérescence neuronale globale du système nerveux explique les déficits sensoriels et cognitifs comme un troisième facteur commun (Anstey et al., 1997; Baltes & Lindenberger, 1997; Christensen et al., 2001; Lindenberger & Baltes, 1994). Il a également été suggéré que la perception et la cognition partagent un système hautement intégré et s'appuient sur des ressources attentionnelles communes. Il s'agit de **l'hypothèse de compensation**. Les personnes présentant des déficits perceptifs, devant allouer davantage d'attention aux informations sensorielles, auraient moins de ressources disponibles pour les tâches requérant une forte demande cognitive (Li et al., 2001; Lindenberger & Baltes, 1994; Lindenberger et al., 2000). Une autre alternative stipule que les personnes âgées sont désavantagées dans les tests psychométriques suite à la conséquence directe de difficultés perceptives résultant soit des processus neurologiques liés à l'âge, soit des manipulations expérimentales (Schneider & Pichora-Fuller, 2000). Il s'agit de **l'hypothèse de dégradation de l'information**. Selon des revues de littérature récentes (Monge & Madden, 2016; Roberts & Allen, 2016), cette hypothèse semble la plus probable étant donné les nombreuses preuves démontrant que des modifications dans la qualité de l'input sensoriel affectent directement les performances des tâches tant chez les adultes jeunes que chez les adultes âgés. Toutefois, d'autres éléments comme ceux de Lindenberger et ses collaborateurs (2001) restent contradictoires. Ces chercheurs rapportent que des différences de performance cognitive sont observées même lorsque les limitations sensorielles sont contrôlées (voir également Scialfa, 2002). Selon Wulff (2019), les différences d'âge en acuité sensorielle seraient donc plus probables de refléter une altération générale liée au vieillissement cérébral plutôt que simplement des déficits sensoriels dans le traitement et l'évaluation des stimuli. D'autres investigations sont encore nécessaires afin de mieux comprendre les mécanismes contribuant au déclin cognitif dans le vieillissement.

Somme toute, ces éléments de la littérature démontrant les relations entre cognition et perception dans le vieillissement mettent en exergue l'importance de tenir compte des déficits perceptuels dans les investigations du vieillissement cognitif (Roberts & Allen, 2016; Scialfa, 2002).

3. Vieillesse et lexico-sémantique

3.1 Généralités

Il est largement reconnu que les connaissances sémantiques sont préservées et même plus importantes chez la personne âgée (e.g., Arbuckle et al., 1994; Bahrck, 1984; Bowles & Poon, 1985; Brysbaert et al., 2016; Burke & Peters, 1986; Perlmutter, 1978). En effet, contrairement aux déclinés marqués dans d'autres habilités cognitives, les performances aux tests sémantiques restent relativement stables à travers le développement de l'adulte. Dans les études du vieillissement cognitif, les habilités sémantiques sont généralement évaluées à partir de tests de vocabulaire. Les performances sont constantes ou continuent à évoluer dans le lifespan, les adultes âgés présentant des scores en vocabulaire plus élevés que des jeunes adultes (Brysbaert et al., 2016; Kavé & Halamish, 2015; Park, 2000; Uttl, 2002; voir Verhaeghen, 2003 pour une méta-analyse). Ils présentent également des effets d'amorçage sémantique préservés (e.g., Burke et al., 1987; Burke & Yee, 1984; Madden et al., 1993; Myerson et al., 1992) et réalisent des associations de mots similaires aux jeunes adultes (Burke & Peters, 1986).

Il a également été établi que l'accumulation de connaissances antérieures (c'est-à-dire les faits, les habitudes, les routines, les schémas) a un impact sur le fonctionnement cognitif tout au long de la vie (Spreng & Turner, 2019). Par exemple, les personnes âgées sont capables d'utiliser leurs connaissances antérieures à leur avantage dans de nombreuses situations telles que la prise de décision et la résolution de problèmes (e.g., Agarwal et al., 2009; Li et al., 2013) ainsi que pour compenser les déclinés mnésiques épisodiques (Umanath & Marsh, 2014). De plus, les réorganisations des réseaux neuronaux soutenant la cognition sémantique ont largement été démontrées avec le vieillissement et soutiennent l'implication de l'expérience de toute une vie (e.g., Davis et al., 2008; Grady et al., 1994; Persson et al., 2007; Pistono et al., 2020; Spreng et al., 2010; Spreng & Turner, 2019). Notamment, une récente méta-analyse investiguant les changements liés à l'âge dans la cognition sémantique montre que le vieillissement entraîne une moindre activation des régions hémisphériques gauches associées au contrôle et à la régulation sémantique (cortex préfrontal inférieur, temporal postérieur et pariétal inférieur) ainsi qu'une augmentation des régions frontales et pariétales droites impliquées dans le traitement contrôlé du domaine général (*domain-general controlled processing*) (Hoffman & Morcom, 2018). Ce phénomène est spécifiquement observé lorsque les seniors performant

moins bien que les jeunes adultes. En accord avec les théories des changements cérébraux fonctionnels liés à l'âge, les auteurs suggèrent, qu'un *shift* des ressources sémantiques spécifiques vers les ressources du domaine général se produit dans le vieillissement. Toutefois, les données actuelles ne permettent pas de déterminer si celui-ci reflète une fonction compensatoire ou s'il est secondaire à une réduction de spécificité de la réponse neurale (Grady et al., 1994; Grady, 2012; Li et al., 2001; Logan et al., 2002).

Bien que les personnes âgées présentent une plus grande réserve de connaissances, Hoffman (2018) s'interroge sur la possibilité de perturbations spécifiques au contrôle sémantique chez les adultes âgés : posséder davantage de connaissances entraîne-t'il un coût de traitement additionnel ? Dans son étude, les personnes âgées présentent effectivement des connaissances plus étendues (évaluées à partir d'un test de vocabulaire) mais également des processus contrôlés préservés lors de la récupération d'une information sémantique peu saillante (tâche d'association sémantique globale), suggérant que ces capacités de récupération contrôlées sont invariantes avec l'âge. Toutefois, le chercheur observe que les personnes âgées se montrent moins performantes que les jeunes dans une tâche impliquant des mécanismes de sélection sémantique. La tâche consistait à associer des caractéristiques selon leurs propriétés partagées (e.g., quel item a la même couleur que le nuage ?). Elle implique des processus de sélection *top-down* afin d'inhiber les liens sémantiques non pertinents pour la tâche (e.g., pluie) et sélectionner la réponse adéquate (e.g., neige). De façon intéressante, cette perturbation de la sélection des représentations sémantiques concurrentes était corrélée avec des fonctions exécutives non sémantiques. Ce déficit marqué pour la sélection sémantique chez les adultes âgés a donc été interprété au regard de la littérature sur le déclin des fonctions inhibitrices des mécanismes globaux de contrôle exécutif (Hoffman, 2018). Ces résultats sont en accord avec des modèles computationnels récents qui suggèrent qu'au fur et à mesure de l'apprentissage de mots, la récupération et la reconnaissance de mots deviennent moins efficaces car les items lexicaux deviennent difficiles à discriminer les uns des autres (Ramscar et al., 2014; Ramscar et al., 2017 cités par Hoffman, 2018).

Récemment, Spreng et Turner (2019) ont examiné plus particulièrement l'interaction entre l'augmentation des connaissances sémantiques et la diminution des processus de contrôle cognitif dans le vieillissement. Ils définissent cette trajectoire opposée comme la « sémantisation de la cognition » qui « [...] se produit dans un contexte de déclin de l'accès aux détails des représentations du passé (e.g., mémoire épisodique), étant donné que les associations uniques et arbitraires qui constituent la base de ces représentations spécifiques se dégradent

avec le temps (Craik & Bialystok, 2006) » (Spreng et al., 2019, p.5). Les auteurs suggèrent que ce changement permet d'expliquer les réorganisations fonctionnelles cérébrales liées à l'âge. Ils proposent un modèle intégratif qui englobe à la fois les gains et pertes dans le vieillissement et prend en compte le rôle du contexte cognitif dans ces changements fonctionnels.

3.2 Traitement lexico-sémantique et reconnaissance visuelle de mots dans le vieillissement

Peu d'études se sont en réalité intéressées aux effets du vieillissement sur la reconnaissance visuelle de mots. Des différences liées à l'âge ont principalement été mises en évidence dans des tâches de décision lexicale et phonologique concernant le niveau sublexical (e.g., longueur de mots) (Allen et al., 1991; Froehlich & Jacobs, 2016; Guttentag & Madden, 1987) et le niveau phonologique (Froehlich et al., 2016). Ces résultats sont corroborés dans une étude récente qui montre que, bien que l'architecture générale du réseau de lecture (traitement de mots isolés) présente des recrutements cérébraux similaires entre les adultes jeunes et âgés, les différences les plus importantes dans l'activité cérébrale sont observées pour les sous-composants de la lecture (traitement phonologique et orthographique) (Froehlich et al., 2018). Toutefois, notre intérêt concerne le traitement lexico-sémantique et nous ciblerons donc plus particulièrement ce dernier.

De manière générale, un ralentissement des temps de réponses chez les personnes âgées est mis en évidence dans les tâches simples de reconnaissance de mots isolés telles que la décision lexicale, la dénomination et la catégorisation sémantique (Froehlich & Jacobs, 2016; Messer, 2017). Toutefois, ces observations seraient liées à un ralentissement cognitif global lié à l'âge (Baltes & Lindenberger, 1997; Lindenberger & Baltes, 1994; Salthouse, 1992, 1996b; Verhaeghen & Cerella, 2002). Verhaeghen et al. (2002) suggèrent notamment que ce ralentissement serait principalement dû à une implication du système exécutif. En effet, ils montrent que les adultes âgés ne présentent pas ce ralentissement dans des tâches lexicales (i.e., décision lexicale) impliquant un faible contrôle exécutif, contrairement aux tâches impliquant un traitement visuo-spatial (voir également Hale & Myerson, 1996; Lima et al., 1991).

Outre le ralentissement, un certain nombre d'études montre que le traitement lexico-sémantique semble être in affecté par l'âge, que ce soit dans des tâches de décision lexicale (e.g., Cohen-Shikora & Balota, 2016; Froehlich & Jacobs, 2016; Ratcliff et al., 2004) de catégorisation

sémantique (e.g., Daselaar et al., 2003; Spaniol et al., 2006) ou d'amorçage sémantique (Balota, Watson, et al., 1999; Burke et al., 1987; Laver & Burke, 1993; Myerson et al., 1992). Par exemple, dans une étude IRMf, Daselaar et al. (2003) comparent les performances de sujets jeunes et âgés dans deux tâches de catégorisation (l'une considérée comme « profonde » : vivant/non vivant et l'autre « superficielle » : majuscule/minuscule). Leurs résultats montrent des performances comportementales ainsi que des patterns d'activation similaires entre les adultes jeunes et âgés durant la catégorisation sémantique, soutenant des processus de récupération lexico-sémantiques préservés dans le vieillissement sain.

S'intéresser au traitement lexico-sémantique dans le vieillissement signifie également investiguer l'influence de l'âge sur les variables lexicales et sémantiques standards. Etant donné que des différences individuelles dans le traitement langagier peuvent influencer la reconnaissance visuelle des mots (e.g., Yap, Balota, et al., 2012), la population adulte âgée, ayant plus d'expérience langagière que les jeunes (car ayant davantage été exposée à des mots et dans différents contextes), offre une opportunité d'étudier l'influence de cette expérience sur le traitement langagier. Des chercheurs ont récemment étudié les changements liés à l'âge dans les performances en reconnaissance visuelle de mots en tenant compte de trois facteurs pouvant potentiellement influencer les résultats : la vitesse de traitement, la vision et la mémoire de travail (Cohen-Shikora & Balota, 2016). Les résultats ne montrent aucune différence liée à l'âge dans trois tâches de traitement lexical différentes (i.e., décision lexicale, dénomination et catégorisation sémantique). Par ailleurs, aucune différence n'est observée concernant l'influence des variables lexicales (i.e., longueur de mots, fréquence, voisins orthographiques, distance orthographique de Levenshtein, valence et concrétude), même lorsque les caractéristiques individuelles des participants étaient contrôlées. Ces résultats sont cohérents avec ceux de Balota et al. (2004) ayant mis en évidence une absence de différence entre jeunes et âgés pour toute une série d'autres variables lexicales (e.g., mesure de consistance, fréquence, familiarité, taille des voisins) et sémantique (e.g., imageabilité et connectivité sémantique) (bien que la tâche employée pouvait moduler ces effets, cela à la fois dans les deux groupes d'âge). Macdonald (2013) démontre également que les adultes âgés présentent un traitement sémantique intacte concernant les effets de voisins sémantiques (mots qui ont des significations partagées ou reliées) et met en évidence des performances similaires entre les jeunes adultes et les adultes âgés (voir également Dunabeitia et al., 2009). Le pattern de résultats observé dans la littérature n'est toutefois pas toujours cohérent entre les études. Par exemple, une diminution de l'effet d'imageabilité avec l'âge a été mise en évidence dans certaines études (e.g., Dirx &

Craik, 1992; Rissenberg & Glanzer, 1987) alors que d'autres ne montrent aucun effet (Bruning et al., 1975). Les effets de fréquence ont également montré des résultats contradictoires (e.g., Balota & Ferraro, 1993, 1996; Ratcliff et al., 2004), tout comme ceux des voisins orthographiques (voir Froehlich & Jacobs, 2016).

Dans une revue récente des effets de l'âge dans des tâches de décision lexicale, Froehlich et Jacobs (2016) discutent une série de recommandations après avoir observé une grande variabilité de résultats. Les auteurs suggèrent de tenir compte des différences de performances en vocabulaire entre les jeunes et âgés, de l'éducation formelle ainsi que de l'analyse spécifique des temps de réaction qui sont ralentis dans le vieillissement lorsque les effets de l'âge sur le traitement lexical sont investigués. Cohen-Shikora et Balota (2016) constatent également que les études sont souvent inconsistantes en raison de différences d'échantillonnage, de procédures d'analyse et des processus spécifiques impliqués dans les diverses tâches. En outre, il est suggéré que les résultats divergents entre études peuvent être liés au fait que les scores utilisés pour les diverses variables d'intérêt ne sont pas spécifiques aux sujets âgés mais sont recueillies chez de jeunes adultes (Ballot et al., 2022; voir également Dorot & Mathey, 2010). En effet, il a été mis en évidence que les adultes âgés présentent des scores plus élevés lorsqu'ils doivent estimer l'imageabilité (Ballot et al., 2022; Gilet et al., 2012; Grandy et al., 2020; Grünh & Smith, 2008), la fréquence subjective (Ballot et al., 2022; Balota et al., 2001; Dorot & Mathey, 2010; Robert et al., 2012) ainsi que la valence émotionnelle et l'*arousal* (i.e., intensité de l'émotion provoquée par un stimulus) (Ballot et al., 2022). Etant donné ces différences d'évaluation, il semble particulièrement pertinent d'utiliser des normes adaptées aux personnes âgées afin d'investiguer les effets de l'âge sur le traitement lexico-sémantique. Afin de suivre ces recommandations, notre étude 2 aura pour objectif de récolter des données de FP également chez les personnes âgées et nous permettra de déterminer si des différences existent avec l'âge dans le jugement de la FP.

4. Regard incarné sur les représentations conceptuelles dans le vieillissement : revue de littérature⁸

⁸ Miceli, A., Wauthia, E., Ris, L., Lefebvre, L., & Simoes Loureiro, I. Les connaissances conceptuelles et leurs représentations sensorimotrices dans le vieillissement à travers le prisme de la cognition incarnée. *Soumis à la Revue Québécoise de Psychologie*.

Les connaissances conceptuelles et leurs représentations sensorimotrices dans le vieillissement à travers le prisme de la cognition incarnée

Conceptual knowledge and its sensorimotor representations in aging through the prism of embodied cognition

Résumé

Les approches incarnées et situées de la cognition considèrent la cognition comme étant ancrée dans notre perception et nos actions. Il s'agit d'une approche uni-système de la mémoire dans laquelle les représentations émergent à partir d'un mécanisme dynamique de simulation sensorimotrice, considéré comme l'élément central du traitement cognitif. Toutefois, les explications offertes par ces théories ont été très peu appliquées pour investiguer les effets du vieillissement. Étant donné les modifications concomitantes des systèmes sensoriels, moteurs et cognitifs rencontrées dans le vieillissement, il est suggéré que ces perturbations impacteraient négativement leurs représentations. Les connaissances conceptuelles étant généralement considérées comme stables dans le vieillissement, les visions incarnées nous amènent donc à nous interroger quant à la qualité des représentations associées à ces connaissances. L'objectif de cette revue est de cerner l'apport de la cognition incarnée dans la compréhension de l'évolution des connaissances conceptuelles chez la personne âgée. L'hypothèse d'un impact du déclin sensorimoteur dans le vieillissement sur les capacités de simulation sensorimotrice impliquée dans l'émergence des connaissances sera discutée. Nous tenterons de recueillir les arguments pour ou contre un plus faible ancrage sensorimoteur des connaissances conceptuelles dans le vieillissement et terminerons par évoquer des pistes pour investiguer la nature des connaissances sémantiques dans le vieillissement.

Mots clés : vieillissement, cognition incarnée, connaissances, représentations, concepts

Abstract

Embodied and situated views of cognition consider cognition as grounded in our perception and actions. This is a single-system approach to memory in which representations emerge from a dynamic sensory-motor simulation mechanism, considered to be the central element of cognitive processing. However, the explanations offered by these theories have been little applied to investigate the effects of aging. Given the concomitant modifications of sensory, motor and cognitive systems encountered in aging, it is suggested that these perturbations would negatively impact their representations. As conceptual knowledge is generally

considered to be stable in aging, embodied visions lead us to question the quality of the representations associated with this knowledge. The objective of this review is to identify the contribution of embodied cognition in the understanding of the evolution of conceptual knowledge in the elderly. The hypothesis of an impact of sensory-motor decline in aging on the sensory-motor simulation capacities involved in the emergence of knowledge will be discussed. We will try to gather arguments for or against a weaker sensory-motor embodiment of conceptual knowledge in aging and will end by pointing avenues to investigate the nature of semantic knowledge in aging.

Keywords: aging, embodied cognition, knowledge, representations, concepts

1. Introduction

Au cours de son développement, l'être humain acquiert des connaissances relatives au monde et aux objets qui l'entourent. Pendant longtemps, les sciences cognitives ont soutenu que ces connaissances conceptuelles étaient encodées sous la forme de représentations amodales, c'est-à-dire abstraites, symboliques et indépendantes de leurs modalités sensorielles (Murphy, 2002). Ces deux dernières décennies, certains chercheurs se sont progressivement éloignés de ces théories classiques et ont adopté une vision ancrée ou incarnée de la cognition soutenant, au contraire, la nature modale des connaissances (Barsalou, 2008). Cette approche soutient que le système conceptuel est ancré dans les systèmes modaux cérébraux et investigate les interactions entre la cognition, le corps et l'environnement (Barsalou, 2008; Martin, 2007; Pulvermüller & Fadiga, 2010; Vigliocco et al., 2004; Warrington & Shallice, 1984). Selon cette perspective, la connaissance s'acquiert à travers les expériences du corps et provient de diverses modalités incluant les systèmes sensoriels (e.g., vision, goût, odeur), moteurs, kinesthésiques et proprioceptifs (e.g., préhension, manipulation d'objets, feedback interne des muscles et articulations), émotionnels (e.g., peur, excitation), et cognitifs (e.g., traitement attentionnel, langagier). Ces expériences, que l'individu fait de l'environnement via son corps, constituent des traces mnésiques distribuées à travers de multiples systèmes neuronaux. La réactivation de ces traces, également appelée émergence, est possible grâce au principe de simulation ; le cerveau simule (recrée) les états multimodaux associés aux traces de ces expériences et fait émerger la représentation associée (Barsalou, 2008). De ce point de vue, un concept est une

simulation sensorimotrice impliquant la réactivation partielle des régions cérébrales qui participent à l'acquisition du concept. Par exemple, lorsque l'on s'assoit sur une chaise,

[...] le cerveau capture les états à travers les différentes modalités sensorimotrices et les intègre dans des représentations multiples stockées en mémoire (e.g., à quoi ressemble une chaise, l'action de s'asseoir, l'introspection du confort et de la relaxation). Plus tard, lorsque le concept « chaise » est évoqué, les représentations multimodales capturées durant les expériences antérieures avec ce concept sont réactivées pour simuler la manière dont le cerveau se représente la perception, l'action et l'introspection qui y sont associées. (Barsalou, 2008, p.618)

Les représentations ne sont donc pas stockées mais émergent de manière dynamique à partir des expériences passées et présentes (Versace et al., 2014). Le contexte, la situation dans laquelle se trouve l'individu, est un facteur important qui contribue à l'émergence de la connaissance. L'environnement physique et social ainsi que l'activité et les objectifs de l'individu font partie intégrante de la dynamique du fonctionnement cognitif. On parle donc également d'approche située de la cognition ; la connaissance à propos de quelque chose étant simulée dans un contexte de situations probables (e.g., les différentes représentations d'un tournevis ne vont pas s'activer identiquement si l'on souhaite l'utiliser pour insérer une vis ou pour ouvrir un pot de peinture) (voir Barsalou, 2003, 2005, 2008, Barsalou et al., 2003, Versace et al., 2018, Yee & Thompson-Schill, 2016 et Yeh & Barsalou, 2006 pour les revues à propos des informations situationnelles dans la représentation et le traitement des connaissances).

L'approche incarnée s'écarte des visions suggérant l'existence de systèmes de mémoire multiples qui proposent un contenu mnésique dépendant du système de mémoire en question (i.e., mémoire procédurale, épisodique, sémantique) (e.g., Anderson, 1983; Squire, 1987; Squire et al., 1993; Tulving, 1995). Au contraire, ce point de vue implique un système de mémoire unique dans lequel la réactivation des traces multidimensionnelles engendre l'émergence d'un souvenir. Selon la quantité des traces réactivées, celui-ci sera soit épisodique (état spécifique associé à une expérience donnée) soit une connaissance sémantique (état associé à une catégorie d'expériences similaires) (Versace et al., 2009; Versace et al., 2014). De ce point de vue, les différentes formes de représentations en mémoire ne sont pas distinguées, les souvenirs épisodiques et sémantiques seraient basés sur les mêmes composants (Brunel et

al., 2015)^a. Parce que la question théorique cruciale de la notion de représentation conceptuelle elle-même reste largement débattue au sein des approches incarnées^b, un éclaircissement sur les notions de *représentations* et *concepts* semble nécessaire. Nous nous référons aux définitions proposées par Connell et Lynott (2014b) pour décrire ces termes. Les « représentations » réfèrent à des concepts dans un contexte spécifique et situé qui implique des patterns d'activation neuronale perceptuels, moteurs, affectifs et linguistiques incluant l'information *online* (i.e., faisant partie de l'expérience en cours) et *offline* (i.e., ne faisant pas partie de l'expérience vécue). Une « connaissance conceptuelle » ou un « concept » réfère à un aspect de l'expérience qui est général, canonique et décontextualisé qui peut être réactivé facilement *offline* (i.e., sans expérience directe) et qui se modifiera avec le temps avec l'expérience accumulée. Il semble également important de proposer un éclairage sur la notion d'ancrage. Nous proposons d'utiliser cette notion pour définir la relation qui existe entre les représentations (i.e. sensorielles, motrices, affectives, linguistiques) et les concepts.

Une multitude de données comportementales (e.g., Louwerse & Connell, 2011; Marques, 2006; Pecher et al., 2003; Spence et al., 2001; Vermeulen et al., 2007), neurophysiologiques (e.g., Kiefer, 2001, 2005; Pulvermüller et al., 1999; Pulvermüller, Shtyrov, et al., 2005) et de neuroimagerie (e.g., Fernandino, Binder, et al., 2016; González et al., 2006; Hauk & Pulvermüller, 2004; Hauk et al., 2004; Kiefer et al., 2008; Simmons et al., 2007; Yee et al., 2010; Zwaan et al., 2002) ont été récoltées en faveur d'étroites associations entre les systèmes sensoriels et moteurs d'une part et le système conceptuel d'autre part (pour des revues voir Barsalou, 2008; Barsalou et al., 2003; Martin, 2007, 2016; Pecher & Zwaan, 2005; Thompson-Schill, 2003). Toutefois, le cadre théorique de la cognition incarnée a principalement été validé dans la population adulte jeune et la question subsiste quant à la généralisation à la population entière. En effet, tandis que les adultes jeunes sont caractérisés par des capacités cognitives et sensorimotrices stables, les enfants acquièrent rapidement ces capacités, alors que celles des personnes âgées peuvent décliner (Loeffler et al., 2016). Pour permettre un cadre compréhensif plus général à cette théorie, une validation dans une perspective vie-entière de l'enfance au vieillissement semble indispensable (Loeffler et al., 2016; Vallet, 2015). Alors que les études

^a Afin de répondre spécifiquement à l'objectif de la revue, une distinction sera réalisée entre les connaissances sémantiques et épisodiques dans cet écrit.

^b Voir Meteyard et al. (2012) pour une revue des théories incarnées placées sur un continuum, des représentations les plus ancrées aux représentations totalement désancrées.

testant le cadre de la cognition incarnée chez l'enfant tendent à se développer (e.g., Inkster et al., 2016; Wellsby & Pexman, 2014), très peu sont actuellement disponibles chez l'adulte âgé (Boutet et al., 2019; Greene & Naveh-Benjamin, 2020; Korkki et al., 2020; Vallet, Simard, & Versace, 2011; Vallet et al., 2017). Pourtant, le vieillissement présente un pouvoir exploratoire pour le champ de la cognition incarnée (Costello & Bloesch, 2017; Vallet, 2015). En effet, il implique de nombreuses modifications sur le plan sensoriel, moteur et cognitif et l'interdépendance élevée entre ces systèmes a largement été démontrée dans la littérature (e.g., Baltes & Lindenberger, 1997; Dannenbaum & Jones, 1993; Lichtenstein et al., 1988; Lin et al., 2011; Loughrey et al., 2018; Manchester et al., 1989; Tanaka et al., 1996; Tremblay et al., 2003; Valentijn et al., 2005; voir Humes & Young, 2016 et Mille et al., 2022 pour des revues). Dès lors, l'approche incarnée formule l'hypothèse que les changements sensorimoteurs impacteraient le fonctionnement cognitif et engendreraient un déclin de l'ancrage cognitif chez les aînés (e.g., Costello & Bloesch, 2017). Plus précisément, si la cognition est ancrée dans le corps et dans ses modalités sensorimotrices et que l'individu subit des changements à ces niveaux, un impact sur les représentations et sur la récupération des connaissances est supposé (Vallet, 2015). Dans des tâches épisodiques, des études ont mis en évidence un phénomène de moindre distinctivité de la trace mnésique chez la personne âgée qui expliquerait les troubles de récupération (e.g., Korkki et al., 2020). Avec le vieillissement, l'accumulation de traces en mémoire induirait une moindre distinctivité des souvenirs qui impacterait négativement la dynamique de simulation (Vallet, 2015). Les souvenirs seraient moins distincts et confus et cette plus faible résolution des représentations induirait une interférence en mémoire (voir Mille et al., 2021). Ces données permettent donc d'apporter une meilleure compréhension à l'origine des troubles épisodiques chez la personne âgée. Toutefois, qu'en est-il des connaissances conceptuelles et de leurs représentations sensorimotrices ? Sont-elles également sujettes à une plus « faible résolution » ? Très peu d'études permettent de fournir une réponse à ces questions. Alors que les aspects sémantiques sont définis comme stables avec l'avancée en âge (Burke, 2002; Light, 1991; MacKay & Abrams, 1996; MacKay & Burke, 1990; Tun & Wingfield, 1993), l'approche incarnée suggérant un plus faible ancrage sensorimoteur chez la personne âgée nous amènent à nous interroger quant à l'immuabilité de leurs représentations.

Dans cette revue, nous nous interrogerons sur ce qu'apporte l'approche incarnée de la cognition à la compréhension de l'évolution des connaissances conceptuelles et de leurs représentations dans le vieillissement. Nous étudierons l'hypothèse de l'approche incarnée de la cognition soutenant que le vieillissement impacte les représentations sensorimotrices, à partir des

quelques études ayant examiné les capacités de simulations perceptuelles et motrices chez la personne âgée. Etant donné que la représentation émerge par un mécanisme dynamique de simulation sensorimotrice, ce processus est considéré comme reflétant la qualité de la représentation. Nous ferons donc le point sur les études qui évaluent la qualité de l'émergence des représentations en ciblant principalement celles impliquant des processus mnésiques et langagiers. Bien que l'hypothèse d'un ancrage moindre chez l'adulte âgé soit avancée, nous verrons que les preuves dans la littérature ne sont pas si prégnantes. Nous analyserons ensuite en quoi les modifications sensorimotrices peuvent influencer la nature des connaissances chez la personne âgée en considérant l'importance de l'expérience dans l'ancrage sensorimoteur et tenterons de dégager des éléments de réponses, amenant des perspectives pour de futures études.

2. Effets du vieillissement sur les capacités de simulation sensorimotrices

Le propos fondamental de la cognition incarnée est que les processus cognitifs et les représentations sont ancrées dans les expériences sensorimotrices. Dans le vieillissement, au vu du déclin sensorimoteur, certains chercheurs formulent l'hypothèse que l'ancrage cognitif devrait aussi décliner (e.g., Dutriaux et al., 2021). Selon Vallet (2015), « si la connaissance reste ancrée dans ses composants sensori-moteurs, la dégradation de ces composants devrait directement impacter la façon dont ces connaissances sont récupérées et utilisées, i.e. dans les performances mnésiques » (p.4). Dans cette vision ancrée, nos connaissances sont définies dans un système de mémoire unique contenant des traces mnésiques (Versace et al., 2009). La récupération en mémoire consiste donc en une ré-instanciation des activités sensorimotrices encodées qui sont simulées afin de permettre l'accès au contenu de la trace mnésique, que celui-ci soit épisodique ou sémantique. Les deux points suivants visent à éclairer ces capacités de simulation dans le vieillissement, selon les tâches impliquant un traitement moteur ou sensoriel.

2.1. Simulation motrice et vieillissement

Selon l'approche incarnée de la cognition, le déclin du système sensorimoteur dans le vieillissement pourrait interférer négativement dans les habilités à formuler des simulations motrices. Ces hypothèses sont soutenues par des études d'imagerie motrice, considérées comme une forme de simulation sensorimotrice consciente (Jeannerod & Decety, 1995). En fait,

l'imagerie motrice, qui correspond à un sous-type d'imagerie mentale impliquant une simulation mentale de l'action (Kosslyn, 1987), offre un regard sur le processus de représentation de l'action (Jeannerod, 2001; Munzert et al., 2009). En effet, elle est perçue comme étant un recrutement *off-line* des mêmes réseaux neuronaux impliqués dans la perception et l'action (Jeannerod, 2007). Différentes recherches qui investiguent l'imagerie motrice montrent que les performances sont moindres chez les personnes âgées (Gabbard et al., 2011; Mulder et al., 2007; Personnier et al., 2010; Saimpont et al., 2009; Skoura et al., 2008). Par exemple, Gabbard et al. (2011) observent de plus faibles capacités à estimer si des cibles présentées dans un espace péri-personnel et extra-personnel sont ou pas à la portée de leur membre dominant alors que les participants sont assis. Les résultats suggèrent donc qu'il y a un déclin des habilités à se représenter mentalement l'action avec l'avancée en âge. Ce déclin est également mis en évidence lorsqu'il s'agit d'observer simplement une action réalisée par d'autres personnes comme, par exemple, estimer visuellement le poids des objets soulevés (Maguinness et al., 2013) ou estimer le temps écoulé durant une vidéo interrompue alors que l'acteur était en train de réaliser une action (Diersch et al., 2013). Certains chercheurs qui tentent de comprendre ce déclin suggèrent que l'affaiblissement des capacités à simuler de manière motrice les actions possibles avec les objets peuvent possiblement résulter de leur perte de force musculaire, réelle ou même perçue (Potter et al., 2009).

Compte tenu de ces éléments, des chercheurs ont donc tenté d'évaluer les effets de la détérioration des performances motrices liées à l'âge sur les capacités de simulations motrices. Dutriaux et al. (2021) ont ainsi investigué si le déficit des systèmes moteurs réduit l'effet d'interférence de la posture sur la mémoire des mots chez des sujets âgés. Dans leur recherche, les participants devaient apprendre une liste d'objets manipulables et non manipulables en maintenant leurs mains face à eux (posture contrôle) ou derrière leur dos (posture interférente). Les résultats montrent des effets d'interférence posturaux similaires aux adultes jeunes (Dutriaux & Gyselinck, 2016) : la posture interférente diminue le rappel des objets manipulables mais pas des objets non manipulables. Les auteurs concluent que la mémoire est bien ancrée dans les systèmes sensorimoteurs et partage des ressources de traitement avec ces systèmes. Toutefois, contrairement à leur hypothèse, cet ancrage est préservé chez l'adulte âgé. Ces résultats sont en accord avec les travaux de Dijkstra et al. (2007) qui démontrent des effets de facilitation pour la mémoire autobiographique lorsque la posture du corps est congruente à la condition dans laquelle le souvenir autobiographique a été encodé, à la fois chez des jeunes et des âgés. Dutriaux et al. (2021) remettent toutefois en question ces résultats. Selon eux, il est

possible que les effets du déclin du système moteur ne soit pas suffisant chez les âgés pour affecter leurs performances dans le rappel libre. Ils supposent également que le matériel utilisé dans leur étude ne requière pas suffisamment de mouvements moteurs fins, le déficit principal observé en terme de manipulation dans le vieillissement concernant surtout les habilités motrices fines (Smith et al., 1999). Cette dernière hypothèse est néanmoins écartée par Dutriaux et al. (2021) après avoir obtenu des résultats identiques en sélectionnant uniquement les objets impliquant des mouvements fins. Ces éléments semblent donc bien soutenir une préservation de l'ancrage chez la personne âgée.

Les études impliquant le système moteur dans la compréhension du langage sont d'un intérêt particulier étant donné leur apport dans le fondement des théories de la cognition incarnée. Malgré leur faible nombre chez l'adulte âgé, elles peuvent nous éclairer quant à la validité de l'hypothèse d'un effet du déclin moteur dans le vieillissement sur les représentations. Des recherches ont permis de mettre en évidence que les jeunes adultes activent des représentations perceptuelles dans des tâches impliquant la compréhension du langage (e.g., Stanfield & Zwaan, 2001; Zwaan et al., 2002; Zwaan & Yaxley, 2003). Par exemple, Stanfield & Zwaan (2001) ont montré que, lors d'une description verbale impliquant une orientation verticale (e.g. John met le crayon dans une tasse), les participants étaient plus rapides pour traiter l'objet correspondant présenté dans la même orientation (e.g., verticale) que pour traiter ce même objet dans une orientation qui n'est pas congruente (e.g., horizontale). La simulation perceptuelle de l'action dans la phrase par le lecteur facilite la reconnaissance de l'objet avec une orientation correspondante. Des résultats similaires sont obtenus concernant la forme (Zwaan et al., 2002) et la couleur (Connell, 2007). Concernant le vieillissement, seules trois études ont été menées à notre connaissance (De Scalzi et al., 2015; Dijkstra et al., 2004; Madden & Dijkstra, 2009). Elles indiquent que ces effets de facilitation sont préservés, voire plus importants avec l'avancée en âge. Dans l'étude de Dijkstra et al. (2004), les participants jeunes et âgés lisent des phrases concernant des objets (e.g., « il voit un aigle dans le ciel ») et doivent ensuite traiter un objet dont la forme implicite correspond (e.g., un aigle avec les ailes déployées) ou pas (e.g. un aigle dans un nid) à l'objet présenté dans la phrase précédente. Les temps de réponses plus rapides observés dans la condition où la forme correspond à l'objet démontrent que la lecture implique une simulation sensorimotrice qui facilite le traitement des images appropriées et corroborent les résultats précédents (e.g., Zwaan et al., 2002). De manière intéressante, cet effet est toutefois plus important chez les participants seniors suggérant que les adultes âgés se reposent davantage sur les informations sensorimotrices que les jeunes pour comprendre le langage. Ces résultats

sont répliqués en 2009, cette fois dans une tâche de dénomination avec une présentation auditive : les participants doivent dénommer des images d'objets juste après les avoir entendus dans une phrase (Madden & Dijkstra, 2009). Les adultes âgés sont plus rapides lorsque le contexte de la phrase correspond à la forme de l'objet alors que les jeunes adultes montrent moins cet avantage. Les chercheurs concluent que la capacité à construire la signification d'un mot et à activer ses représentations appropriées est préservée, voire plus forte avec l'avancée en âge. Les compétences en lecture et les expériences langagières acquises avec l'âge leur permettraient de construire une représentation élaborée de la phrase, voire plus élaborée comparativement aux jeunes (voir Radvansky & Dijkstra, 2007; Stine-Morrow et al., 2006). Ces résultats, suggérant une préservation des systèmes d'action impliqués dans la compréhension du langage, sont corroborés par une troisième étude mettant en évidence des performances similaires entre des jeunes adultes et des personnes âgées saines dans une étude investiguant l'effet de compatibilité de l'action (i.e., jugement de phrase plus rapide lorsque les réponses requièrent un mouvement dans la même direction que celle décrite dans la phrase) (De Scalzi et al., 2015).

2.2. Simulation sensorielle et vieillissement

Alors que de nombreuses études chez l'adulte jeune (e.g., Barrós-Loscertales et al., 2012; Boulenger et al., 2009; Connell, 2007; Glenberg & Gallese, 2012; Marques, 2006; Pecher et al., 2003; Spence, Nicholls, et al., 2001; Zwaan et al., 2002) et chez des patients (e.g., Bonner & Grossman, 2012; Boulenger et al., 2009; Fernandino et al., 2013a; Trumpp et al., 2013; Wolk et al., 2005) suggèrent que le traitement conceptuel est indissociable du traitement sensoriel (i.e., visuel, auditif, haptique,...), très peu d'études ont investigué le lien entre perception et connaissances chez la personne âgée. Vallet, Simard et Versace (2011) démontrent pour la première fois que, comme chez l'adulte sain, la nature des connaissances chez la personne âgée est également dépendante des modalités sensorielles. Au cours de leurs études (2011, 2013), les chercheurs utilisent un paradigme d'amorçage inter-modal dans lequel la moitié des amorces auditives (e.g., miaulement d'un chat) étaient présentées simultanément avec un masque visuel (image sans signification), avant que la cible visuelle (e.g., image d'un chat) ne soit traitée, alors que l'autre moitié était présentée sans ce masque. Les résultats démontrent un effet d'amorçage pour les participants jeunes et âgés mais uniquement pour les sons présentés sans masque. Les auteurs suggèrent que l'interférence du masque (ayant empêché la simulation

visuelle automatique de l'amorce) démontre la nature perceptuelle de l'effet d'amorçage et soutient la théorie des connaissances sensori-dépendantes. Les adultes âgés auraient donc des connaissances sensori-dépendantes tout comme les adultes jeunes.

Par la suite, quelques études ont examiné les relations entre le système perceptuel et mnésique dans le vieillissement. Dans des tâches impliquant des mots et des images à mémoriser, les adultes âgés présentent des performances significativement inférieures aux jeunes adultes pour les distracteurs qui sont proches visuellement (e.g., Vallet et al., 2017). De même, il a été montré que la similarité visuelle entre les stimuli augmente le taux de fausses reconnaissances chez les âgés (Boutet et al., 2019, voire également Greene & Nave-Benjamin, 2020). Ces difficultés auraient une origine neurobiologique au sein des circuits du cortex périrhinal et hippocampique qui sont impliqués dans la distinction d'informations visuelles et sont précocement atteints dans le vieillissement (Burke et al., 2014; Burke et al., 2018). Des changements fonctionnels cérébraux liés à l'âge dans des tâches impliquant un traitement visuel verbal et non verbal ont largement été démontrées (voir Hoffman & Morcom, 2018, Li et al., 2015 et Spreng et al., 2010 pour des revues). Il est donc suggéré que ces perturbations neurophysiologiques induisent des capacités de simulation moins efficaces chez la personne âgée, impliquant à leur tour l'émergence d'une représentation de « faible résolution » (Mille et al., 2021). Ces éléments sont corroborés par une étude récente indiquant que l'appauvrissement de la précision de la représentation était le facteur contribuant au déclin épisodique avec l'âge (Korkki et al., 2020). Toutefois, actuellement, il semble que cette hypothèse ne soit vérifiée que dans des tâches impliquant la modalité visuelle. La généralisation à d'autres modalités perceptuelles reste donc encore à investiguer.

En résumé, pour l'heure, les quelques études disponibles dans la littérature investiguant les effets du vieillissement sur les représentations sensorimotrices semblent indiquer qu'elles sont préservées dans des tâches de mémoire épisodique (Dutriaux et al., 2021) sauf si elles impliquent des items visuellement proches (e.g., Boutet et al., 2019; Vallet et al., 2017), de compréhension langagière (De Scalzi et al., 2015; Dijkstra et al., 2004; Madden & Dijkstra, 2009) et dans un paradigme d'amorçage inter-modal (Vallet, Simard, & Versace, 2011; Vallet et al., 2013). A ce stade, les prémices d'une relation épargnée entre le système conceptuel et sensorimoteur dans le vieillissement semblent donc pouvoir émerger. Bien que les preuves restent ténues et les recherches encore balbutiantes, elles sont encourageantes pour de futures études.

3. Evolution des représentations sensorimotrices dans le vieillissement : qu'en est-il de l'ancrage conceptuel ?

Nous nous intéressons spécifiquement aux connaissances sémantiques car il est bien connu qu'elles restent stables avec l'avancée en âge. En effet, un large éventail d'études dans la littérature nous indique que les processus sémantiques ne sont pas affectés par le vieillissement, contrairement aux déclin cognitifs dans de nombreux domaines (Nilsson, 2003; Nyberg et al., 1996; Park et al., 2003; Rönnlund et al., 2005; Salthouse, 2004; Verhaeghen, 2003). Les approches incarnées, suggérant un impact du déclin sensorimoteur lié à l'âge sur les connaissances (e.g., Vallet, Simard, Fortin, et al., 2011) nous amènent à nous questionner sur la stabilité des représentations sensorimotrices des connaissances chez la personne âgée. Effectivement, ces approches suggèrent que le déclin sensorimoteur lié à l'âge devrait directement altérer les représentations (Vallet, 2015). L'ancrage supposé des connaissances dans leurs propriétés constitutives (e.g., Vallet, Simard, & Versace, 2011; Vallet et al., 2013) font qu'elles émergeraient par la simulation de ces propriétés selon les contraintes de la situation présente (Barsalou et al., 2003). Par conséquent, des chercheurs postulent qu'une altération dans le traitement perceptif (de bas ou de haut niveau) devrait se traduire par une altération des connaissances sémantiques (Vallet, Simard, Fortin, et al., 2011).

Une altération sensorielle ou perceptive de bas niveau se traduirait par une altération de la qualité des représentations perceptives ou des propriétés liées à ces représentations ; une altération du traitement perceptif de haut niveau ou du traitement cognitif se traduirait par une altération des connaissances elles-mêmes. (Vallet et al., 2011, p.328)

Ces hypothèses considèrent qu'il n'existe pas de distinction entre mécanismes perceptuels et conceptuels et sont soutenues dans la littérature par des preuves empiriques récentes (e.g., Brunel et al., 2009, 2010, 2015; Rey et al., 2015, 2016a; Riou et al., 2015). Néanmoins, un point de vue plus contrasté peut également être adopté en supposant que les systèmes modaux ne sont pas considérés comme analogues à la mémoire mais que le traitement sémantique impliquerait des systèmes adjacents et réciproquement liés aux aires primaires sensorielles (e.g., théorie des zones de convergence, Damasio, 1989; Damasio & Damasio, 1994; Simmons & Barsalou, 2003; Vigliocco et al., 2004). Compte tenu de cette intégration inter-modale en association avec les aires modales primaires externes, nous pourrions envisager qu'un concept puisse être préservé et conserver son rôle représentationnel malgré de potentielles perturbations dans

l'activation de cette zone d'intégration, à partir du moment où celles-ci n'impliquent pas une lésion cérébrale (voir Simmons & Barsalou, 2003). En effet, si l'on prend l'exemple d'une lésion dans les aires visuelles, un déficit dans la perception de la forme, de la couleur ou de la texture des composants physiques d'un stimulus peut se produire (Damasio, 1985, 1989). Une autre possibilité discutée dans la littérature est que l'information sensorimotrice soit extraite des expériences directes plutôt qu'une simulation de celles-ci (Meteyard et al., 2012; Thompson-Schill, 2003). Cette proposition provient de données de neuroimagerie ayant montré une activation antérieure (« anterior shift ») durant la récupération sémantique (traitement sémantique) comparé à la perception (traitement sensorimoteur) (Thompson-Schill, 2003). De ce point de vue, peu importe le déclin sensorimoteur lié à l'âge, l'information sensorimotrice conserverait sa représentation avec ses caractéristiques initiales.

Nous pensons dès lors que les éléments discutés jusqu'à présent nous permettent de poser l'hypothèse que les connaissances sémantiques restent stables dans le vieillissement typique tout en maintenant leurs propriétés sensorimotrices intactes. Leur acquisition antérieure à l'apparition insidieuse de perturbations sensorimotrices au fil du temps, n'impliquant pas de lésions cérébrales, constitue un argument complémentaire au maintien des représentations sensorimotrices. En outre, certaines études suggèrent que la dépendance au système sensorimoteur avec l'âge est plus saillante et soulignent l'importance de l'expérience acquise au cours d'une vie (Dijkstra et al., 2004; Madden & Dijkstra, 2009). Plutôt que de considérer les déclin du vieillissement, tenir compte des expériences vécues par la personne tout au long de sa vie semble d'ailleurs être une perspective davantage positive. De nombreuses données de la littérature mettent en exergue les expériences individuelles comme déterminant nos connaissances sémantiques et influençant le traitement des objets (e.g., Beilock et al., 2008; Chrysikou et al., 2017; Fourkas et al., 2008; Holt & Beilock, 2006; Kiefer et al., 2007; Lyons et al., 2010). Par exemple, il a été montré que le type d'expérience (manipulation vs visuelle) ainsi que la manipulation apprise (active vs observationnelle) conduit à une augmentation des connectivités fonctionnelles spécifiques entre les régions sémantiques et neuronales codant la manipulation des objets et les informations visuo-spatiales, suggérant que le traitement conceptuel des nouveaux objets serait ancré dans les réseaux cérébraux fonctionnels codant spécifiquement l'expérience avec leur référent (Bechtold et al., 2019). Récemment, Vignando et ses collaborateurs (2018) se sont particulièrement intéressés à l'importance de nos expériences de vie sur l'organisation des connaissances sémantiques chez des participants âgés en investiguant les habitudes diététiques des participants. Ils montrent, chez des centenaires, de

meilleures performances dans des tâches de reconnaissance de nourriture naturelle (e.g., pomme) par rapport à de la nourriture transformée (e.g., hamburger) suggérant que ces effets sont liés à leur expérience, au vu de leurs habitudes alimentaires acquises. Les adultes jeunes et âgés ne diffèrent pas seulement par leur quantité d'expériences mais aussi par leur contenu. Ces différences d'expériences contribuent à façonner le contenu du lexique et des représentations sémantiques des jeunes et des âgés (Johns et al., 2019). Toutefois, la façon dont les représentations sont façonnées par l'expérience reste malheureusement encore peu explorée (pour une revue voir Wulff et al., 2019). Nous pouvons néanmoins envisager, en toute logique, que l'expérience sensorimotrice acquise au cours de la vie entière soit plus conséquente chez la personne âgée. Des arguments en faveur de cette proposition sont soutenus dans la littérature scientifique. En effet, Connell et Lynott (2014) suggèrent que les concepts varient à partir des expériences individuelles et sont donc, par conséquent, malléables. Les représentations qui se construisent à partir de tels contenus conceptuels sont donc également inévitablement mutables (Connell & Lynott, 2014b). D'ailleurs, de nombreux scientifiques s'accordent sur le fait que les représentations changent de manière dynamique avec nos expériences, nos objectifs en cours et nos ressources disponibles (Barsalou, 1999, 2008; Connell & Lynott, 2014b; Glenberg, 1997; Glenberg & Robertson, 2000; Lynott & Connell, 2010; Vigliocco et al., 2009; Wilson, 2002). Dans ce contexte, nous pourrions donc poser une nouvelle hypothèse : les personnes âgées ayant un vécu sensoriel et moteur plus important, étant donné leur expérience, auraient un ancrage sensorimoteur des concepts plus fort et plus robuste, au moins pour certains concepts qui leur sont familiers. Dans ce cas, les relations avec la zone d'intégration reliant les aires primaires modales et le système conceptuel (Damasio, 1989) seraient différenciées avec l'expérience acquise au cours d'une vie en étant plus solides. D'ailleurs, les réorganisations des réseaux neuronaux soutenant la cognition sémantique mises en évidence chez la personne vieillissante ont largement été démontrées (e.g., Davis et al., 2008; Grady et al., 1994; Persson et al., 2007; Pistono et al., 2020; Spreng et al., 2010; Spreng & Turner, 2019; voir Hoffman & Morcom, 2018 pour une méta-analyse) et pourraient constituer des arguments en faveur d'un ancrage sensorimoteur différencié chez le sujet âgé.

Afin d'interroger la validité de cette hypothèse, le modèle Act-In (Activation-Intégration, Versace et al., 2014) permet de nous éclairer. Il propose de comprendre les mécanismes impliqués dans l'émergence des représentations sur le plan mnésique via 2 processus : l'activation et l'intégration (voir également Reder et al., 2009). La perception (ou un état interne) d'un élément (e.g., un chien) (ou de la situation présente) va engendrer une activation

des mêmes composants associés à celui-ci. Cette activation se propage automatiquement en cascade vers d'autres composants liés (similaires) à la trace mnésique selon leur points communs (e.g., les autres animaux à 4 pattes et à poils). Il s'agit de l'activation « inter-traces » qui va permettre l'émergence de connaissances conceptuelles. En parallèle, l'activation d'un composant va se diffuser aux autres composants associés à cette trace (e.g., auditif : l'abolement), appelée activation « intra-trace », qui permettra l'émergence d'un souvenir spécifique (i.e., épisodique). Le processus d'intégration permet d'intégrer de manière dynamique l'ensemble des composants de la trace mnésique (i.e., sensorimoteurs, contextuels, émotionnels) afin de faire émerger la représentation mentale. Dans ce modèle, il est suggéré qu'au plus une trace est intégrée, au plus la propagation de l'activation sera facilitée (e.g., Brunel et al., 2013). Nous pouvons, dès lors, supposer que les représentations sensorimotrices, associées à l'activation « inter-traces », puissent être renforcées avec l'âge par la rencontre répétées avec de nombreux concepts au cours de leur existence. En effet, alors que les souvenirs épisodiques sont isolés, les connaissances conceptuelles sont en constante répétition. De ce point de vue, une préservation, voire un renforcement des composants sensorimoteurs associés à la trace mnésique d'un concept est donc probable. Toutefois, il n'existe pas à notre connaissance de protocole expérimental permettant de statuer sur ces éléments chez la personne âgée.

4. Conclusion et perspectives

Cette revue de littérature nous a permis de mettre en lumière le regard actuel de la cognition incarnée sur le vieillissement en questionnant l'ancrage des représentations sensorimotrices. La littérature interrogeant le système conceptuel et perceptuel/moteur dans le vieillissement reste toutefois très pauvre et de nombreuses questions sont à explorer. Parmi celles-ci, deux questions nous paraissent essentielles : *Les modifications en perception sensorielle et motrice expérimentées avec l'âge influencent-elles la nature des connaissances sémantiques ? Le poids des représentations modales est-il différent avec l'avancée en âge au vu de leurs expériences acquises au cours de la vie ?* Concernant la première question, nous n'avons pas trouvé d'argument solide en faveur d'un impact du déclin sensorimoteur sur les connaissances conceptuelles. Les éléments discutés dans cette revue nous amènent à de nouvelles interrogations pour la seconde question : *Est-il possible que l'expérience contribue à façonner les représentations sensorimotrices ?* L'hypothèse selon laquelle le poids de ces représentations

serait plus important avec l'avancée en âge est à envisager. Alors que la notion d'invariance est souvent prônée au sein du système sémantique adulte, les concepts et, par conséquent, leurs représentations sont sujets à des changements permanents à travers le *lifespan* (Connell & Lynott, 2014b). La variabilité de ces représentations ne signifie toutefois pas instabilité : « un concept à long terme peut être stable (i.e., non sujet à des changements massifs à partir de perturbations mineures) tout en étant soumis à une évolution progressive dans le temps » (Connell & Lynott, 2014b, p. 400). Au vu de l'expérience accumulée au cours de sa vie, la personne âgée pourrait présenter des représentations sensorimotrices proportionnelles à son expérience de vie. L'examen de la perspective vie entière a, dès lors, tout son intérêt car il est possible que l'ancrage évolue de l'enfance au vieillissement et ce de manière non-linéaire et progressive. Par ailleurs, l'importance des expériences sensorimotrices dans l'acquisition conceptuelle qui a été mise en évidence dans le développement (e.g., Mounoud et al., 2007; Wellsby & Pexman, 2014) suggère que leur influence puisse être tout aussi considérable aux deux extrémités du spectre. Notons également que toutes les expériences sensorimotrices ne s'accumulent pas de manière identique et sont donc sujettes à des variabilités inter-individuelles.

Afin d'éclairer ces éléments, nous suggérons que les prochaines études examinent davantage la nature des connaissances sémantiques dans le vieillissement en ciblant directement le traitement des concepts pour lesquels le poids de l'expérience perceptuelle est connu (e.g., Connell & Lynott, 2012). Il serait, par exemple, pertinent de questionner le traitement des concepts dans des tâches de reconnaissance visuelle de mots. Lynott & Connell (2009, 2013) ont ainsi développé des normes sensorielles spécifiques aux modalités (i.e., auditive, gustative, haptique, olfactive, visuelle) pour un ensemble de concepts. Ils demandent aux participants d'estimer la mesure dans laquelle ils expérimentent un mot selon chacune de ces modalités sur une échelle de 0 (ce sens n'est pas du tout expérimenté) à 5 (ce sens est fortement expérimenté). Grâce aux scores individuels récoltés par les participants pour chaque modalité séparément, les normes capturent la mesure dans laquelle un concept est expérimenté à travers différentes modalités sensorielles, sans risque d'ignorer ou de déformer le rôle des modalités particulières (Connell & Lynott, 2012, 2016). Les auteurs montrent que dans des tâches de traitement de mots (i.e., décision lexicale et dénomination de mots) la force de l'expérience perceptuelle prédit mieux la performance que des variables sémantiques comme la concrétude et l'imageabilité (Connell & Lynott, 2012; Speed & Brysbaert, 2020; voir également Chedid et al., 2019). Ces études sont d'un intérêt particulier car elles amènent la preuve du rôle des systèmes sensorimoteurs dans le

traitement sémantique chez l'adulte jeune sain. Il serait particulièrement pertinent d'investiguer si ces effets, dans des tâches de reconnaissance visuelle de mots, sont identiques dans le vieillissement ou si des différences apparaissent. Cette comparaison nous indiquerait précisément comment les représentations sensorimotrices évoluent avec l'âge.

Financements

Cet article s'inscrit dans le cadre d'un programme d'Actions de Recherche Concertées financées par le Ministère de la Communauté Française-Direction générale de l'enseignement non obligatoire et de la recherche scientifique (Référence : ARC-19/23 UMONS3).

Bibliographie

- Anderson, J.R. (1983). A spreading activation theory of memory. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 22(3), 261-295.
- Baltes, P.B., & Lindenberger, U. (1997). Emergence of a powerful connection between sensory and cognitive functions across the adult life span: a new window to the study of cognitive aging? *Psychology and aging*, 12(1), 12.
- Barrós-Loscertales, A., González, J., Pulvermüller, F., Ventura-Campos, N., Bustamante, J.C., Costumero, V., Parcet, M.A., et al. (2012). Reading salt activates gustatory brain regions: fMRI evidence for semantic grounding in a novel sensory modality. *Cerebral cortex*, 22(11), 2554-2563.
- Barsalou, L. (2003). Situated simulation in the human conceptual system. *Language and cognitive processes*, 18(5-6), 513-562.
- Barsalou, L.W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and brain sciences*, 22(4), 577-660.
- Barsalou, L.W. (2005). Continuity of the conceptual system across species. *Trends in cognitive sciences*, 9(7), 309-311.
- Barsalou, L.W. (2008). Grounded cognition. *Annu. Rev. Psychol.*, 59, 617-645.
- Barsalou, L.W., Niedenthal, P.M., Barbey, A.K., & Ruppert, J.A. (2003). Social embodiment. *Psychology of learning and motivation*, 43, 43-92.
- 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.
- Bechtold, L., Ghio, M., Antoch, G., Turowski, B., Wittsack, H.-J., Tettamanti, M., & Bellebaum, C. (2019). How words get meaning: The neural processing of novel object names after sensorimotor training. *NeuroImage*, 197, 284-294.
- Beilock, S.L., Lyons, I.M., Mattarella-Micke, A., Nusbaum, H.C., & Small, S.L. (2008). Sports experience changes the neural processing of action language. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(36), 13269-13273.
- Bonner, M.F., & Grossman, M. (2012). Gray matter density of auditory association cortex relates to knowledge of sound concepts in primary progressive aphasia. *Journal of Neuroscience*, 32(23), 7986-7991.
- Boulenger, V., Hauk, O., & Pulvermüller, F. (2009). Grasping ideas with the motor system: semantic somatotopy in idiom comprehension. *Cerebral cortex*, 19(8), 1905-1914.
- 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.

- Brunel, L., Goldstone, R.L., Vallet, G., Riou, B., & Versace, R. (2013). When seeing a dog activates the bark. *Experimental Psychology*.
- Brunel, L., Labeye, E., Lesourd, M., & Versace, R. (2009). The sensory nature of episodic memory: sensory priming effects due to memory trace activation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35(4), 1081.
- Brunel, L., Oker, A., Riou, B., & Versace, R. (2010). Memory and consciousness: Trace distinctiveness in memory retrievals. *Consciousness and cognition*, 19(4), 926-937.
- Brunel, L., Vallet, G.T., Riou, B., Rey, A., & Versace, R. (2015). Grounded conceptual knowledge: Emergence from sensorimotor interactions *Conceptual and Interactive Embodiment* (pp. 120-136): Routledge.
- Burke, D.M. (2002). Language production and aging *Constraints on language: Aging, grammar, and memory* (pp. 3-27): Springer.
- Burke, S.N., Gaynor, L.S., Barnes, C.A., Bauer, R.M., Bizon, J.L., Roberson, E.D., & Ryan, L. (2018). Shared functions of perirhinal and parahippocampal cortices: implications for cognitive aging. *Trends in Neurosciences*, 41(6), 349-359.
- Burke, S.N., Maurer, A.P., Nematollahi, S., Uprety, A., Wallace, J.L., & Barnes, C.A. (2014). Advanced age dissociates dual functions of the perirhinal cortex. *Journal of Neuroscience*, 34(2), 467-480.
- Chedid, G., Brambati, S.M., Bedetti, C., Rey, A.E., Wilson, M.A., & Vallet, G.T. (2019). Visual and auditory perceptual strength norms for 3,596 French nouns and their relationship with other psycholinguistic variables. *Behavior research methods*, 51(5), 2094-2105.
- Chrysikou, E.G., Casasanto, D., & Thompson-Schill, S.L. (2017). Motor experience influences object knowledge. *Journal of experimental psychology: General*, 146(3), 395.
- Connell, L. (2007). Representing object colour in language comprehension. *Cognition*, 102(3), 476-485.
- Connell, L., & Lynott, D. (2012). Strength of perceptual experience predicts word processing performance better than concreteness or imageability. *Cognition*, 125(3), 452-465.
- Connell, L., & Lynott, D. (2014). Principles of representation: Why you can't represent the same concept twice. *Topics in Cognitive Science*, 6(3), 390-406.
- Connell, L., & Lynott, D. (2016). Do we know what we're simulating? Information loss on transferring unconscious perceptual simulation to conscious imagery. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 42(8), 1218.
- Costello, M.C., & Bloesch, E.K. (2017). Are older adults less embodied? A review of age effects through the lens of embodied cognition. *Frontiers in psychology*, 8, 267.
- Damasio, A. (1985). Disorders of complex visual processing: agnosias, achromatopsias, Balint's syndrome and related difficulties of orientation and construction. *Principles of Behavioral Neurology, Contemporary Neurology Series*, 26, 259-288.
- Damasio, A.R. (1989). The brain binds entities and events by multiregional activation from convergence zones. *Neural computation*, 1(1), 123-132.
- Damasio, A.R., & Damasio, H. (1994). Cortical systems for retrieval of concrete knowledge: The convergence zone framework. *Large-scale neuronal theories of the brain*, 6174.
- Dannenbaum, R.M., & Jones, L.A. (1993). The assessment and treatment of patients who have sensory loss following cortical lesions. *Journal of hand therapy*, 6(2), 130-138.
- Davis, S.W., Dennis, N.A., Daselaar, S.M., Fleck, M.S., & Cabeza, R. (2008). Que PASA? The posterior-anterior shift in aging. *Cerebral cortex*, 18(5), 1201-1209.
- De Scalzi, M., Rusted, J., & Oakhill, J. (2015). Embodiment effects and language comprehension in Alzheimer's disease. *Cognitive Science*, 39(5), 890-917.
- Diersch, N., Mueller, K., Cross, E.S., Stadler, W., Rieger, M., & Schütz-Bosbach, S. (2013). Action prediction in younger versus older adults: neural correlates of motor familiarity. *PloS one*, 8(5), e64195.

- Dijkstra, K., Kaschak, M.P., & Zwaan, R.A. (2007). Body posture facilitates retrieval of autobiographical memories. *Cognition*, 102(1), 139-149.
- Dijkstra, K., Yaxley, R.H., Madden, C.J., & Zwaan, R.A. (2004). The role of age and perceptual symbols in language comprehension. *Psychology and aging*, 19(2), 352.
- Dutriaux, L., & Gyselinck, V. (2016). Learning is better with the hands free: The role of posture in the memory of manipulable objects. *PloS one*, 11(7), e0159108.
- Dutriaux, L., Nicolas, S., & Gyselinck, V. (2021). Aging and posture in the memory of manipulable objects. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 28(1), 26-36.
- Fernandino, L., Binder, J.R., Desai, R.H., Pendl, S.L., Humphries, C.J., Gross, W.L., Conant, L.L., et al. (2016). Concept representation reflects multimodal abstraction: A framework for embodied semantics. *Cerebral cortex*, 26(5), 2018-2034.
- Fernandino, L., Conant, L.L., Binder, J.R., Blindauer, K., Hiner, B., Spangler, K., & Desai, R.H. (2013). Parkinson's disease disrupts both automatic and controlled processing of action verbs. *Brain and language*, 127(1), 65-74.
- Fourkas, A.D., Bonavolontà, V., Avenanti, A., & Aglioti, S.M. (2008). Kinesthetic imagery and tool-specific modulation of corticospinal representations in expert tennis players. *Cerebral cortex*, 18(10), 2382-2390.
- Gabbard, C., Caçola, P., & Cordova, A. (2011). Is there an advanced aging effect on the ability to mentally represent action? *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 53(2), 206-209.
- Glenberg, A.M. (1997). What memory is for. *Behavioral and brain sciences*, 20(1), 1-19.
- Glenberg, A.M., & Gallese, V. (2012). Action-based language: A theory of language acquisition, comprehension, and production. *Cortex*, 48(7), 905-922.
- Glenberg, A.M., & Robertson, D.A. (2000). Symbol grounding and meaning: A comparison of high-dimensional and embodied theories of meaning. *Journal of Memory and Language*, 43(3), 379-401.
- González, J., Barros-Loscertales, A., Pulvermüller, F., Meseguer, V., Sanjuán, A., Belloch, V., & Ávila, C. (2006). Reading cinnamon activates olfactory brain regions. *NeuroImage*, 32(2), 906-912.
- Grady, C.L., Maisog, J.M., Horwitz, B., Ungerleider, L.G., Mentis, M.J., Salerno, J.A., Pietrini, P., et al. (1994). Age-related changes in cortical blood flow activation during visual processing of faces and location. *Journal of Neuroscience*, 14(3), 1450-1462.
- Greene, N.R., & Naveh-Benjamin, M. (2020). A specificity principle of memory: Evidence from aging and associative memory. *Psychological Science*, 31(3), 316-331.
- Hauk, O., Johnsrude, I., & Pulvermüller, F. (2004). Somatotopic representation of action words in human motor and premotor cortex. *Neuron*, 41(2), 301-307.
- Hauk, O., & Pulvermüller, F. (2004). Neurophysiological distinction of action words in the fronto-central cortex. *Human brain mapping*, 21(3), 191-201.
- Hoffman, P., & Morcom, A.M. (2018). Age-related changes in the neural networks supporting semantic cognition: A meta-analysis of 47 functional neuroimaging studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 84, 134-150.
- Holt, L.E., & Beilock, S.L. (2006). Expertise and its embodiment: Examining the impact of sensorimotor skill expertise on the representation of action-related text. *Psychonomic bulletin & review*, 13(4), 694-701.
- Humes, L.E., & Young, L.A. (2016). Sensory-cognitive interactions in older adults. *Ear and hearing*, 37(Suppl 1), 52S.
- Inkster, M., Wellsby, M., Lloyd, E., & Pexman, P.M. (2016). Development of embodied word meanings: Sensorimotor effects in children's lexical processing. *Frontiers in psychology*, 7, 317.
- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *NeuroImage*, 14(1), S103-S109.

- Jeannerod, M. (2007). Being oneself. *Journal of Physiology-Paris*, 101(4-6), 161-168.
- Jeannerod, M., & Decety, J. (1995). Mental motor imagery: a window into the representational stages of action. *Current opinion in neurobiology*, 5(6), 727-732.
- Johns, B.T., Jones, M.N., & Mewhort, D. (2019). Using experiential optimization to build lexical representations. *Psychonomic bulletin & review*, 26(1), 103-126.
- Kiefer, M. (2001). Perceptual and semantic sources of category-specific effects: Event-related potentials during picture and word categorization. *Memory & Cognition*, 29(1), 100-116.
- Kiefer, M. (2005). Repetition-priming modulates category-related effects on event-related potentials: further evidence for multiple cortical semantic systems. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(2), 199-211.
- Kiefer, M., Sim, E.-J., Herrnberger, B., Grothe, J., & Hoenig, K. (2008). The sound of concepts: Four markers for a link between auditory and conceptual brain systems. *Journal of Neuroscience*, 28(47), 12224-12230.
- Kiefer, M., Sim, E.-J., Liebich, S., Hauk, O., & Tanaka, J. (2007). Experience-dependent plasticity of conceptual representations in human sensory-motor areas. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(3), 525-542.
- 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.
- Kosslyn, S.M. (1987). Seeing and imagining in the cerebral hemispheres: a computational approach. *Psychological review*, 94(2), 148.
- Li, H.-J., Hou, X.-H., Liu, H.-H., Yue, C.-L., Lu, G.-M., & Zuo, X.-N. (2015). Putting age-related task activation into large-scale brain networks: a meta-analysis of 114 fMRI studies on healthy aging. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 57, 156-174.
- Lichtenstein, M.J., Shields, S.L., Shiavi, R.G., & Burger, M.C. (1988). Clinical determinants of biomechanics platform measures of balance in aged women. *Journal of the American Geriatrics Society*, 36(11), 996-1002.
- Light, L.L. (1991). Memory and aging: Four hypotheses in search of data. *Annual review of psychology*, 42(1), 333-376.
- Lin, F.R., Ferrucci, L., Metter, E.J., An, Y., Zonderman, A.B., & Resnick, S.M. (2011). Hearing loss and cognition in the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *Neuropsychology*, 25(6), 763.
- Loeffler, J., Raab, M., & Cañal-Bruland, R. (2016). A lifespan perspective on embodied cognition. *Frontiers in psychology*, 7, 845.
- Loughrey, D.G., Kelly, M.E., Kelley, G.A., Brennan, S., & Lawlor, B.A. (2018). Association of age-related hearing loss with cognitive function, cognitive impairment, and dementia: a systematic review and meta-analysis. *JAMA otolaryngology-head & neck surgery*, 144(2), 115-126.
- Louwerse, M., & Connell, L. (2011). A taste of words: Linguistic context and perceptual simulation predict the modality of words. *Cognitive Science*, 35(2), 381-398.
- Lynott, D., & Connell, L. (2009). Modality exclusivity norms for 423 object properties. *Behavior research methods*, 41(2), 558-564.
- Lynott, D., & Connell, L. (2010). Embodied conceptual combination. *Frontiers in psychology*, 1, 212.
- Lynott, D., & Connell, L. (2013). Modality exclusivity norms for 400 nouns: The relationship between perceptual experience and surface word form. *Behavior research methods*, 45(2), 516-526.
- Lyons, I.M., Mattarella-Micke, A., Cieslak, M., Nusbaum, H.C., Small, S.L., & Beilock, S.L. (2010). The role of personal experience in the neural processing of action-related language. *Brain and language*, 112(3), 214-222.

- MacKay, D.G., & Abrams, L. (1996). Language, memory, and aging: Distributed deficits and the structure of new-versus-old connections.
- MacKay, D.G., & Burke, D.M. (1990). Chapter five cognition and aging: a theory of new learning and the use of old connections *Advances in psychology* (Vol. 71, pp. 213-263): Elsevier.
- Madden, C.J., & Dijkstra, K. (2009). Contextual constraints in situation model construction: An investigation of age and reading span. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 17(1), 19-34.
- Maguinness, C., Setti, A., Roudaia, E., & Kenny, R.A. (2013). Does that look heavy to you? Perceived weight judgment in lifting actions in younger and older adults. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 795.
- Manchester, D., Woollacott, M., Zederbauer-Hylton, N., & Marin, O. (1989). Visual, vestibular and somatosensory contributions to balance control in the older adult. *Journal of gerontology*, 44(4), M118-M127.
- Marques, J.F. (2006). Specialization and semantic organization: Evidence for multiple semantics linked to sensory modalities. *Memory & Cognition*, 34(1), 60-67.
- Martin, A. (2007). The representation of object concepts in the brain. *Annu. Rev. Psychol.*, 58, 25-45.
- Martin, A. (2016). GRAPES—Grounding representations in action, perception, and emotion systems: How object properties and categories are represented in the human brain. *Psychonomic bulletin & review*, 23(4), 979-990.
- Meteyard, L., Cuadrado, S.R., Bahrami, B., & Vigliocco, G. (2012). Coming of age: A review of embodiment and the neuroscience of semantics. *Cortex*, 48(7), 788-804.
- Mille, J., Brambati, S.M., Izaute, M., & Vallet, G.T. (2021). Low-resolution neurocognitive aging and cognition: An embodied perspective. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 15.
- Mille, J., Izaute, M., & Vallet, G.T. (2022). Liens entre le déclin sensoriel et cognitif dans le vieillissement normal: revue critique de la littérature et apports de l'approche incarnée et située de la cognition. *Psychologie Française*.
- Mounoud, P., Duscherer, K., Moy, G., & Perraudin, S. (2007). The influence of action perception on object recognition: a developmental study. *Developmental Science*, 10(6), 836-852.
- Mulder, T., Hochstenbach, J., Van Heuvelen, M., & Den Otter, A. (2007). Motor imagery: the relation between age and imagery capacity. *Human movement science*, 26(2), 203-211.
- Munzert, J., Lorey, B., & Zentgraf, K. (2009). Cognitive motor processes: the role of motor imagery in the study of motor representations. *Brain research reviews*, 60(2), 306-326.
- Murphy, G.L. (2002). The big book of concepts. A Bradford Book: MIT Press.
- Nilsson, L.G. (2003). Memory function in normal aging. *Acta Neurologica Scandinavica*, 107, 7-13.
- Nyberg, L., Bäckman, L., Erngrund, K., Olofsson, U., & Nilsson, L.-G. (1996). Age differences in episodic memory, semantic memory, and priming: Relationships to demographic, intellectual, and biological factors. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 51(4), P234-P240.
- Park, H.L., O'Connell, J.E., & Thomson, R.G. (2003). A systematic review of cognitive decline in the general elderly population. *International journal of geriatric psychiatry*, 18(12), 1121-1134.
- Pecher, D., Zeelenberg, R., & Barsalou, L.W. (2003). Verifying different-modality properties for concepts produces switching costs. *Psychological Science*, 14(2), 119-124.
- Pecher, D., & Zwaan, R.A. (2005). *Grounding cognition: The role of perception and action in memory, language, and thinking*: Cambridge University Press.

- Personnier, P., Ballay, Y., & Papaxanthis, C. (2010). Mentally represented motor actions in normal aging: III. Electromyographic features of imagined arm movements. *Behavioural brain research*, 206(2), 184-191.
- Persson, J., Lustig, C., Nelson, J.K., & Reuter-Lorenz, P.A. (2007). Age differences in deactivation: a link to cognitive control? *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(6), 1021-1032.
- Pistono, A., Guerrier, L., Péran, P., Rafiq, M., Giméno, M., Bézy, C., Pariente, J., et al. (2020). Increased functional connectivity supports language performance in healthy aging despite gray matter loss. *Neurobiology of aging*, 98, 52-62.
- Potter, L.M., Grealy, M.A., & O'Connor, R.C. (2009). Healthy ageing, perceived motor-efficacy, and performance on cognitively demanding action tasks. *British Journal of Psychology*, 100(1), 49-70.
- Pulvermüller, F., & Fadiga, L. (2010). Active perception: sensorimotor circuits as a cortical basis for language. *Nature reviews neuroscience*, 11(5), 351-360.
- Pulvermüller, F., Lutzenberger, W., & Preissl, H. (1999). Nouns and verbs in the intact brain: Evidence from event-related potentials and high-frequency cortical responses. *Cerebral cortex*, 9(5), 497-506.
- Pulvermüller, F., Shtyrov, Y., & Ilmoniemi, R. (2005). Brain signatures of meaning access in action word recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(6), 884-892.
- Radvansky, G.A., & Dijkstra, K. (2007). Aging and situation model processing. *Psychonomic bulletin & review*, 14(6), 1027-1042.
- Reder, L.M., Park, H., & Kieffaber, P.D. (2009). Memory systems do not divide on consciousness: Reinterpreting memory in terms of activation and binding. *Psychological bulletin*, 135(1), 23.
- Rey, A.E., Dabic, S., Versace, R., & Navarro, J. (2016). The Reactivation of Motion Influences Size Categorization in a Visuo-Haptic Illusion. *American Journal of Psychology*, 129(3), 235-244.
- 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.
- Riou, B., Rey, A.E., Vallet, G.T., Cuny, C., & Versace, R. (2015). Perceptual processing affects the reactivation of a sensory dimension during a categorization task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 68(6), 1223-1230.
- Rönnlund, M., Nyberg, L., Bäckman, L., & Nilsson, L.-G. (2005). Stability, growth, and decline in adult life span development of declarative memory: cross-sectional and longitudinal data from a population-based study. *Psychology and aging*, 20(1), 3.
- Saimpont, A., Pozzo, T., & Papaxanthis, C. (2009). Aging affects the mental rotation of left and right hands. *PloS one*, 4(8), e6714.
- Salthouse, T.A. (2004). What and when of cognitive aging. *Current directions in psychological science*, 13(4), 140-144.
- Simmons, W.K., & Barsalou, L.W. (2003). The similarity-in-topography principle: Reconciling theories of conceptual deficits. *Cognitive neuropsychology*, 20(3-6), 451-486.
- Simmons, W.K., Ramjee, V., Beauchamp, M.S., McRae, K., Martin, A., & Barsalou, L.W. (2007). A common neural substrate for perceiving and knowing about color. *Neuropsychologia*, 45(12), 2802-2810.
- Skoura, X., Personnier, P., Vinter, A., Pozzo, T., & Papaxanthis, C. (2008). Decline in motor prediction in elderly subjects: right versus left arm differences in mentally simulated motor actions. *Cortex*, 44(9), 1271-1278.

- Smith, C.D., Umberger, G., Manning, E., Slevin, J., Wekstein, D., Schmitt, F., Markesbery, W., et al. (1999). Critical decline in fine motor hand movements in human aging. *Neurology*, 53(7), 1458-1458.
- Speed, L., & Brysbaert, M. (2020). Dutch sensory modality norms.
- Spence, C., Nicholls, M.E., & Driver, J. (2001). The cost of expecting events in the wrong sensory modality. *Perception & Psychophysics*, 63(2), 330-336.
- Spence, C., Shore, D.I., & Klein, R.M. (2001). Multisensory prior entry. *Journal of experimental psychology: General*, 130(4), 799.
- Spreng, R.N., & Turner, G.R. (2019). The shifting architecture of cognition and brain function in older adulthood. *Perspectives on psychological science*, 14(4), 523-542.
- Spreng, R.N., Wojtowicz, M., & Grady, C.L. (2010). Reliable differences in brain activity between young and old adults: a quantitative meta-analysis across multiple cognitive domains. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(8), 1178-1194.
- Squire, L.R. (1987). *Memory and brain*: Oxford University Press.
- Squire, L.R., Knowlton, B., & Musen, G. (1993). The structure and organization of memory. *Annual review of psychology*, 44(1), 453-495.
- Stanfield, R.A., & Zwaan, R.A. (2001). The effect of implied orientation derived from verbal context on picture recognition. *Psychological Science*, 12(2), 153-156.
- Stine-Morrow, E.A., Miller, L.M.S., & Hertzog, C. (2006). Aging and self-regulated language processing. *Psychological bulletin*, 132(4), 582.
- Tanaka, T., Noriyasu, S., Ino, S., Ifukube, T., & Nakata, M. (1996). Objective method to determine the contribution of the great toe to standing balance and preliminary observations of age-related effects. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, 4(2), 84-90.
- Thompson-Schill, S.L. (2003). Neuroimaging studies of semantic memory: inferring “how” from “where”. *Neuropsychologia*, 41(3), 280-292.
- Tremblay, F., Wong, K., Sanderson, R., & Côté, L. (2003). Tactile spatial acuity in elderly persons: assessment with grating domes and relationship with manual dexterity. *Somatosensory & motor research*, 20(2), 127-132.
- Trumpp, N.M., Kliese, D., Hoenig, K., Haarmeier, T., & Kiefer, M. (2013). Losing the sound of concepts: Damage to auditory association cortex impairs the processing of sound-related concepts. *Cortex*, 49(2), 474-486.
- Tulving, E. (1995). Organization of memory: quo vadis?
- Tun, P.A., & Wingfield, A. (1993). Is speech special? Perception and recall of spoken language in complex environments.
- Valentijn, S.A., Van Boxtel, M.P., Van Hooren, S.A., Bosma, H., Beckers, H.J., Ponds, R.W., & Jolles, J. (2005). Change in sensory functioning predicts change in cognitive functioning: Results from a 6-year follow-up in the Maastricht Aging Study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 53(3), 374-380.
- Vallet, G., Simard, M., Fortin, C., Versace, R., & Mazza, S. (2011). L’altération des connaissances sémantiques est-elle liée à une altération du traitement perceptif? Étude des atteintes catégories-spécifiques dans la démence sémantique. *Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie du Vieillissement*, 9(3), 327-335.
- 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. (2015). Embodied cognition of aging. *Frontiers in psychology*, 6, 463.
- Vallet, G.T., Hudon, C., Bier, N., Macoir, J., Versace, R., & Simard, M. (2017). A SEMantic and episodic memory test (SEMEP) developed within the embodied cognition

- framework: Application to normal aging, Alzheimer's disease and semantic dementia. *Frontiers in psychology*, 8, 1493.
- Vallet, G.T., Hudon, C., Simard, M., & Versace, R. (2013). The disconnection syndrome in the Alzheimer's disease: The cross-modal priming example. *Cortex*, 49(9), 2402-2415.
- Verhaeghen, P. (2003). Aging and vocabulary score: A meta-analysis. *Psychology and aging*, 18(2), 332.
- Vermeulen, N., Niedenthal, P.M., & Luminet, O. (2007). Switching between sensory and affective systems incurs processing costs. *Cognitive Science*, 31(1), 183-192.
- Versace, R., Brouillet, D., & Vallet, G. (2018). *Cognition incarnée: Une cognition située et projetée*: Mardaga.
- Versace, R., Labeye, E., Badard, G., & Rose, M. (2009). The contents of long-term memory and the emergence of knowledge. *European journal of cognitive psychology*, 21(4), 522-560.
- Versace, R., Vallet, G.T., Riou, B., Lesourd, M., Labeye, E., & Brunel, L. (2014). Act-In: An integrated view of memory mechanisms. *Journal of Cognitive Psychology*, 26(3), 280-306.
- Vigliocco, G., Meteyard, L., Andrews, M., & Kousta, S. (2009). Toward a theory of semantic representation. *Language and Cognition*, 1(2), 219-247.
- Vigliocco, G., Vinson, D.P., Lewis, W., & Garrett, M.F. (2004). Representing the meanings of object and action words: The featural and unitary semantic space hypothesis. *Cognitive psychology*, 48(4), 422-488.
- Vignando, M., Aiello, M., Foroni, F., Marcon, G., Tettamanti, M., & Rumati, R.I. (2018). How experience modulates semantic memory for food: evidence from elderly adults and centenarians. *Scientific reports*, 8(1), 1-9.
- Warrington, E.K., & Shallice, T. (1984). Category specific semantic impairments. *Brain*, 107(3), 829-853.
- Wellsby, M., & Pexman, P.M. (2014). Developing embodied cognition: Insights from children's concepts and language processing. *Frontiers in psychology*, 5, 506.
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic bulletin & review*, 9(4), 625-636.
- Wolk, D.A., Coslett, H.B., & Glosser, G. (2005). The role of sensory-motor information in object recognition: Evidence from category-specific visual agnosia. *Brain and language*, 94(2), 131-146.
- Wulff, D.U., De Deyne, S., Jones, M.N., Mata, R., & Consortium, A.L. (2019). New perspectives on the aging lexicon. *Trends in cognitive sciences*, 23(8), 686-698.
- Yee, E., Drucker, D.M., & Thompson-Schill, S.L. (2010). fMRI-adaptation evidence of overlapping neural representations for objects related in function or manipulation. *NeuroImage*, 50(2), 753-763.
- Yee, E., & Thompson-Schill, S.L. (2016). Putting concepts into context. *Psychonomic bulletin & review*, 23(4), 1015-1027.
- Yeh, W., & Barsalou, L.W. (2006). The situated nature of concepts. *The American Journal of Psychology*, 349-384.
- Zwaan, R.A., Stanfield, R.A., & Yaxley, R.H. (2002). Language comprehenders mentally represent the shapes of objects. *Psychological Science*, 13(2), 168-171.
- Zwaan, R.A., & Yaxley, R.H. (2003). Spatial iconicity affects semantic relatedness judgments. *Psychonomic bulletin & review*, 10(4), 954-958.

Synthèse du chapitre 3

Dans ce chapitre 3, les grands changements majeurs qui se produisent au cours du vieillissement ont été parcourus. Nous avons particulièrement développé les effets du vieillissement sur le système sensoriel, sans oublier les relations qui existent entre perception et cognition. Les aspects relatifs à l'évolution des connaissances sémantiques et au traitement lexico-sémantique (impliquant la reconnaissance de mots isolés) au cours du vieillissement ont également été détaillés. Enfin, nous avons mis en lumière le regard actuel de la cognition incarnée sur le vieillissement en questionnant l'ancrage des représentations sensorimotrices. Cette revue de littérature nous a amenés à discuter la possibilité que l'expérience contribue à façonner les représentations sensorimotrices. L'hypothèse selon laquelle le poids des représentations serait plus important avec l'avancée en âge sera particulièrement investiguée dans l'étude 2 de notre partie empirique. Nous avons également suggéré de questionner l'implication des systèmes sensorimoteurs dans le traitement des concepts pour lesquels le poids de l'expérience perceptuelle est connu (i.e., grâce à la variable de FP) afin de comparer directement les performances des sujets jeunes et âgés et, ainsi, obtenir des indications sur l'évolution des représentations sensorimotrices dans le vieillissement. L'étude 3 visera précisément cet objectif.

Chapitre 4 – Le vieillissement pathologique, atteinte du système perceptuel et conceptuel : le cas de la maladie d’Alzheimer

1. Généralités

La maladie d’Alzheimer (MA) est une pathologie neurodégénérative complexe résultant d’une combinaison de nombreux événements pathologiques interreliés incluant des processus neurovasculaires, inflammatoires et métaboliques (Polis & Samson, 2019). Elle entraîne, progressivement et insidieusement, un déclin des fonctions cognitives amenant, plus tard, à un déclin fonctionnel sévère, et à une perte de l’autonomie de l’individu (Galvin & Sadowsky, 2012; Sperling et al., 2011). Après l’apparition des premiers symptômes de la maladie, la durée de survie moyenne des individus est d’environ 8 ans (Alzheimer’s Association, 2015).

La MA est la pathologie la plus fréquente parmi les syndromes démentiels puisqu’elle serait à l’origine de 60 à 70 % des cas de démence (OMS, 2023). Près de 35 millions de personnes sont atteintes de la MA dans le monde et des prévisions indiquent que ce nombre devrait presque doubler tous les 20 ans (Prince et al., 2015). En Belgique, il s’agit de la première cause de décès (Sciensano, 2022) et près de 137.800 personnes sont actuellement atteintes (Ligue Alzheimer, 2023). Etant donné sa prévalence croissante en raison du vieillissement de la population, la MA représente un défi majeur pour les domaines de la médecine, de la société et de l’économie (Polis & Samson, 2019).

Il s’agit d’une maladie complexe qui résulte de l’interaction de multiples facteurs. L’âge est le premier facteur de risque puisqu’elle affecte environ 15% de la population de plus de 65 ans (Alzheimer’s Association, 2010). Le sexe constitue également un facteur de risque puisque les femmes seraient davantage affectées par la maladie. Le fait d’avoir présenté une affection cérébrale (traumatisme crânien, lésions vasculaires cérébrales) augmente également le risque d’apparition d’une démence et aggrave les conséquences de la MA (Derouesné, 2006). De même, les facteurs de risque cardiovasculaire sont associés à un risque accru de démence, comme la présence d’un diabète de type 2 (e.g., Butterfield et al., 2014; voir Cheng et al., 2012 pour une méta-analyse), l’hypertension, l’hypercholestérolémie ou le tabagisme (voir Brayne, 2007; Hachinski, 2008; Whalley et al., 2006). D’autres facteurs de risques tels qu’une faible

implication dans des activités de loisirs et dans les interactions sociales ainsi qu'un état sédentaire sont également retenus (Coley et al., 2008).

On identifie trois stades de la MA en fonction de la sévérité des symptômes cognitifs et comportementaux ainsi que leur impact sur la perte d'autonomie : le stade léger, modéré et sévère (Bombois et al., 2015). L'échelle du MMSE (Mini-Mental State Examination) mesurant le déclin cognitif global est généralement utilisée pour déterminer le stade de la maladie (Folstein et al., 1975; Kalafat et al., 2003).

1.1 Atteintes cérébrales dans la MA

1.1.1 Au niveau biologique

Les perturbations neuropathologiques dans la MA comprennent principalement deux types de lésions histopathologiques : les plaques séniles (PS) et les dégénérescences neurofibrillaires (DNF). Les PS consistent en des dépôts anormaux de protéines beta-amyloïdes qui s'accumulent dans l'espace entre les neurones. Elles entravent la communication entre les neurones au niveau des synapses et contribuent à la mort cellulaire (Glenner & Wong, 1984; Masters et al., 1985). Les DNF sont, quant à elles, causées par l'agrégation anormale des protéines tau, constituant le squelette du neurone et jouant un rôle important dans le transport de protéines à l'intérieur du neurone. En bloquant le transport de nutriments et autres molécules essentielles à l'intérieur des neurones, elles contribuent également à la mort des cellules (Grundke-Iqbal et al., 1986). Ces deux modifications cérébrales débutent dans les régions hippocampiques avant de gagner les aires associatives corticales postérieures (Braak & Braak, 1991; Delacourte et al., 1999). La pathophysiologie de la MA est généralement plus étendue dans les cortex d'association des lobes temporaux, pariétaux et frontaux avec relativement peu de lésions au sein des aires corticales sensorielles et motrices primaires (Arnold et al., 1991; Brun & Englund, 1981; de Lacoste & White, 1993; Thompson et al., 2003). Elle s'accompagne d'une perte neuronale et synaptique ainsi que de modifications réactionnelles (processus inflammatoire) (Hauw et al., 2000).

Ces changements cérébraux débuteraient au moins 20 ans avant l'apparition de symptômes cliniques. Le cerveau compenserait l'apparition de ces altérations en permettant à l'individu de fonctionner normalement, jusqu'à ce que les dommages neuronaux soient trop importants que

pour être compensés. C'est à ce moment que les premiers signes de déclin cognitifs s'observent (Alzheimer's Association, 2016).

1.1.2 Au niveau cognitif

La présence de troubles de la mémoire constitue le symptôme majeur de cette maladie¹¹. Malgré une hétérogénéité dans l'évolution des déficits cognitifs (Eustache et al., 1993), les **troubles de la mémoire épisodique** sont généralement au premier plan, dès les premiers stades de la MA (Ergis & Eusop-Roussel, 2008). Les patients éprouvent des difficultés à se souvenir d'événements récents ainsi qu'à apprendre des informations nouvelles. Ces distorsions de la mémoire se manifestent, par exemple, dans des tâches de rappel libre et indicé (e.g., Buschke et al., 1999; Dubois et al., 2002) où l'échec est massif en situation de rappel différé avec des performances qui s'améliorent peu avec l'indiçage. Les troubles de la mémoire épisodique sont également associés à des **troubles de la mémoire autobiographique**, caractérisés par une meilleure préservation des souvenirs anciens par rapport aux souvenirs récents. Une **désorientation spatio-temporelle** accompagne ce tableau cognitif ; les patients MA présentent précocement des difficultés à se situer dans le temps et dans l'espace (Eustache et al., 2018).

Bien qu'ils soient souvent éclipsés par les déficits proéminents de la mémoire épisodique, des **troubles de la mémoire sémantique** débutent également dès le début de la maladie et sont reconnus comme étant une caractéristique centrale de la MA (Laisney et al., 2010). Les dysfonctionnements sémantiques se manifestent dans différents aspects du traitement langagier, notamment dans le traitement lexico-sémantique (e.g., Nebes, 1989; Nebes & Brady, 1991) (ces aspects seront développés au point 3 du présent chapitre). Les personnes atteintes de la MA expriment également (lorsqu'elles en sont conscientes) des plaintes relatives à la **mémoire de travail** (Van der Linden et al., 1989). Ces perturbations sont massives et affectent plusieurs des composantes du contrôle attentionnel (i.e., capacités de manipulation et d'alternance, attention divisée et inhibition) (Belleville et al., 1996; Belleville et al., 2003; Belleville, 2009). Elles sont surtout observées en situation de doubles tâches, reflétant l'atteinte de l'administrateur central de la mémoire de travail (Eustache et al., 2018).

¹¹ Les informations relatives aux troubles de la mémoire sont basées, dans cette section 1.1.2, sur l'approche classique la plus influente, qui suggère l'existence de plusieurs systèmes de mémoire indépendants.

Même si peu d'études ont été menées sur la **mémoire procédurale** dans le contexte de la MA, elles indiquent qu'elle demeure relativement intacte dans les premiers stades de la maladie, notamment pour l'apprentissage de procédures perceptivo-motrices (Giffard, Desgranges, & Eustache, 2001). Toutefois, la présence d'autres troubles cognitifs (e.g., mémoire de travail) entraverait les premières phases d'apprentissage avant qu'il ne soit automatisé. En contrepartie, les compétences acquises et maîtrisées depuis longtemps (e.g., jouer d'un instrument de musique) sont moins affectées par la maladie (Eustache et al., 2018).

Au-delà de l'atteinte mnésique, la MA affecte également d'autres fonctions cognitives. C'est le cas des **fonctions exécutives** qui sont précocement atteintes et qui perturbent les activités instrumentales de la vie quotidienne de la personne malade. En effet, des altérations sévères des fonctions exécutives sont rapportées dans de nombreuses études empiriques impliquant l'évaluation de l'inhibition et de la flexibilité mentale (Bherer et al., 2004). L'**apraxie** fait également partie de la symptomatologie de la MA. Les patients MA présentent, par exemple, des difficultés lorsqu'il s'agit d'effectuer un geste (apraxie idéomotrice) ou un dessin (apraxie constructive) sur commande. De plus, dans les stades plus avancés de la maladie, une apraxie de l'habillage est fréquemment observée (Eustache et al., 2018). Bien que les **troubles gnosiques** soient moins fréquents, ils peuvent se manifester pour des objets ou des visages familiers (prosopagnosie) (Derouesné, 2006).

La sémiologie de la MA s'accompagne également de **modifications psychologiques et comportementales**. L'apathie et la perte d'intérêt sont le plus couramment rapportées, mais les patients peuvent également présenter des manifestations telles que de l'anxiété, de la dépression ainsi que des hallucinations et idées délirantes. Ces manifestations comportementales sont toutefois variables d'une personne à l'autre. Si certains symptômes sont liés aux conséquences des lésions cérébrales dans les régions soutenant les fonctions émotionnelles, d'autres traduisent des difficultés relatives aux troubles cognitifs et à une mauvaise interprétation des attitudes et intentions d'autrui (Derouesné, 2006; Eustache al., 2018).

1.2 Diagnostic

L'approche diagnostique actuelle de la MA repose sur l'identification d'un profil clinique caractérisé par un syndrome amnésique de type hippocampique ainsi que sur la détection de marqueurs biologiques spécifiques, et ce indépendamment du stade de la démence. Les troubles

cognitifs légers (MCI, Mild Cognitive Impairment) sont d'ailleurs reconnus comme des signes avant-coureurs de la MA, lorsqu'ils sont étayés par ces biomarqueurs typiques (Dubois et al., 2013; McKhann et al., 2011)¹².

L'évaluation neuropsychologique est essentielle afin d'établir le diagnostic et caractériser le profil cognitif des troubles observés. Elle vise à objectiver des altérations de la mémoire (significatives d'une atteinte hippocampique) ainsi que d'autres fonctions cognitives (langage, fonctions exécutives, praxies,...) (Eustache et al., 2018). Des marqueurs physiopathologiques et topographiques sont également disponibles pour augmenter la fiabilité du diagnostic. En effet, les niveaux de fluide cébrospinal en peptide bêta-amyloïde et protéines tau sont des biomarqueurs établis pour la MA (Scheltens et al., 2016; Sunderland et al., 2003). Ceux-ci peuvent être recueillis à partir d'une ponction lombaire et d'un bilan sanguin. L'IRM permet également de révéler une atrophie des régions hippocampiques. Des anomalies de perfusion dans certaines régions cérébrales comme les hippocampes et les zones pariéto-temporales peuvent également être mises en évidence grâce à la tomographie par émission de positons (Derouesné, 2006; Herholz et al., 2002; Klunk et al., 2004; Schuff et al., 2009).

Il convient de souligner que le diagnostic de la MA ne peut être confirmé de manière définitive qu'après l'autopsie, où la présence de deux marqueurs neuropathologiques, les PS et les DNF, peut être détectée. Par conséquent, le diagnostic de la MA pendant la vie du patient est considéré comme « probable » (Beach et al., 2012; Serrano-Pozo et al., 2011).

2. Maladie d'Alzheimer et système perceptuel

2.1 Troubles sensoriels dans la maladie d'Alzheimer

Des changements dans les systèmes sensoriels sont associés avec l'âge (cf. chapitre 3). Dans le cas de la MA, des déficits sensoriels sont également présents, mais ceux-ci sont plus importants que dans le vieillissement normal. **Sur le plan visuel**, les patients présentant une MA montrent une acuité visuelle réduite par rapport à des participants contrôles (Cronin-Golomb et al., 2007; Neargarder et al., 2003). Ce phénomène est également observé concernant la sensibilité au

¹² Notons toutefois que les individus présentant un MCI ne développeront pas systématiquement une MA (Thomas-Anterion & Laurent, 2006).

contraste (Cronin-Golomb et al., 2007; Neargarder et al., 2003). Outre les aspects visuels périphériques, des dysfonctions du système nerveux central ont également été mises en évidence comme contribuant au déficit visuel des patients MA (voir Kirby et al., 2010, Kusne et al., 2017 et Tzekov & Mullan, 2014 pour des revues). Ceux-ci impliquent, par exemple, une perturbation de la fonction oculaire motrice (Molitor et al., 2015) ainsi que des dysfonctionnements de la voie dorsale et ventrale de la vision (voir Kirby, 2010) causant un déficit du champ visuel (e.g., Cronin-Golomb et al., 1991; Lee & Martin, 2004; Trick et al., 1995; Whittaker et al., 2002) et de la perception de couleur (e.g., Paquet et al., 2007; Salamone et al., 2009; Wijk et al., 1999).

Les **pertes auditives**, appelées également presbyacousie, sont communes dans le vieillissement normal et sont davantage rapportées dans la MA. Ce déclin est rapporté comme étant prioritairement causé par une dysfonction de la cochlée liée à l'âge (Gates & Mills, 2005). Toutefois, des mécanismes centraux ont également été mis en évidence comme jouant un rôle important dans ce déclin (Gates et al., 2011; Humes et al., 2012; Jerger et al., 1995; Mudar & Husain, 2016). Ils seraient causés par une atteinte du noyau central du colliculus inférieur, de la division ventrale du thalamus auditif et des aires corticales auditives primaires et secondaires (voir Swords, 2018 pour une revue de l'atteinte du système auditif dans la MA).

Une **réduction significative du goût** a également été rapportée chez les patients MA en comparaison à des sujets contrôles (Broggio et al., 2001; Schiffman et al., 1990 ; Schiffman, 1997; Schiffman, 2002). Par ailleurs, il a été établi que les **déficits olfactifs** présents dans la MA dépassent nettement ceux rencontrés dans le vieillissement normal. En comparaison à des sujets contrôles, les patients MA présentent des déficits olfactifs incluant la détection de sensibilité, la discrimination et l'identification d'odeurs (Djordjevic et al., 2008; Doty et al., 1991; Doty et al., 2003; Meshulam et al., 1998; Serby et al., 1991). Il a été suggéré que ces déficits dans les seuils de détection olfactive et dans l'identification olfactive se produisent précocement dans la MA, avant que les symptômes cliniques ne se développent complètement (Djordjevic et al., 2008). En outre, le déficit d'identification d'odeurs a été montré comme étant corrélé avec l'atrophie hippocampique (Murphy et al., 2003). Des plaques amyloïdes et des dégénérescences neurofibrillaires, signes distinctifs de la MA, ont également été mises en évidence dans le bulbe olfactif, en particulier le nucléus antérieur olfactif (Hyman et al., 1991; Kovacs et al., 1999).

Concernant le sens du toucher, les études sont très rares mais celles disponibles mettent en évidence un **dysfonctionnement somatosensoriel** précoce dans la progression de la maladie (Stephen et al., 2010; Wiesman et al., 2021). Ces troubles somatosensoriels dans la MA seraient toutefois dépendants de la variabilité interindividuelle dans le déclin cognitif (i.e., attention et vitesse de traitement) (Wiesman et al., 2021).

En somme, les déficits sensoriels périphériques dans la MA sont bien documentés. Des déficits centraux ont également été rapportés dans les régions auditives et visuelles montrant des altérations structurelles et fonctionnelles dans la MA (voir par exemple Kirby, 2010, Kusne et al., 2017 et Swords et al., 2018 pour des revues). Toutefois, l'atteinte des cortex sensoriels primaires ne fait pas consensus. En effet, d'autres données de la littérature en neuroimagerie de la MA montrent que les cortex primaires sensoriels sont épargnés jusque relativement tard dans la maladie (Abbruzzese et al., 1984; Ewers et al., 2011; Frisoni et al., 2010; Uylings & De Brabander, 2002).

Malgré la présence de ces déficits sensoriels dans la MA, les tâches de perception de bas niveau (e.g., détection d'orientation ou de couleurs) peuvent être effectuées avec succès (Vallet, 2015). C'est également le cas pour l'amorçage perceptif qui reste préservé dans la MA (e.g., Fleischman et al., 2005; Verfaellie et al., 2000).

2.2 Liens entre troubles sensoriels et cognition dans la maladie d'Alzheimer

Alors que les déficits les plus importants de la MA concernent la cognition, une multitude de dysfonctionnements des systèmes sensoriels ont également été identifiés et peuvent être considérés comme un signe précoce de la maladie (voir Albers et al., 2015 pour une revue ciblant les systèmes olfactif, auditif et visuel). Ainsi, les relations entre les troubles sensoriels et la cognition dans la MA sont généralement investiguées en considérant les troubles sensoriels comme de potentiels prédictors de la maladie.

Concernant le déclin visuel, il a été mis en évidence que des déficits en sensibilité de contraste dans des cas de MA sévère peuvent drastiquement impacter le fonctionnement visuel quotidien de ces patients (Dunne et al., 2004; Koss & Gilmore, 1998). Par exemple, la simple amélioration de contraste entre des assiettes et des tables a permis d'augmenter significativement leur consommation de nourriture (Dunne et al., 2004). Par ailleurs, l'amélioration des performances

grâce à l'augmentation du contraste a également été observée dans des stades légers de la MA dans des conditions de laboratoire utilisant une variété de stimuli visuels (Cronin-Golomb et al., 2007; Gilmore et al., 2005). Des chercheurs montrent également que la performance de patients MA en recherche visuelle, tout comme celles des sujets sains, s'améliore dans une tâche écologique (i.e., jeu du Bingo) lorsque des interventions d'amélioration visuelle sont apportées (i.e., contraste, taille, complexité visuelle) (Laudate et al., 2012).

Ces résultats ont donc motivé les chercheurs à examiner les relations existantes entre déficits visuels et déficits cognitifs dans la MA. Par exemple, Toner et al. (2012) testent l'hypothèse selon laquelle les faibles performances en recherche visuelle des patients MA seraient dues à leurs déficits visuels plutôt qu'à leurs dysfonctionnements cognitifs de haut niveau. Dans une tâche de recherche visuelle, ils manipulent différents niveaux de contraste et investiguent si de pauvres performances à la tâche seraient directement liées à un déficit de sensibilité au contraste des participants. Alors que les faibles performances des individus sains étaient dues, en grande partie, à leur faible sensibilité au contraste, les chercheurs observent que l'amélioration de la force du stimulus n'optimise pas les performances des sujets MA. Ces données amènent à la conclusion que les participants MA sont affectés par le déficit sensoriel visuel, en plus de l'impact de leurs perturbations cognitives (Toner et al., 2012). Etant donné les manifestations significatives du système visuel (périphériques ou centrales) dans la MA, un intérêt grandissant s'est donc développé pour détecter quels changements du système visuel pourrait aider au diagnostic de cette maladie (voir Kusne et al., 2017 pour une revue).

Concernant l'audition, de nombreuses études ont mis en évidence une association entre la presbycousie et le déclin cognitif dans le vieillissement normal (Anstey et al., 2001a; Golub et al., 2017; Lindenberger & Baltes, 1994; Quaranta et al., 2014; Taljaard et al., 2016; cf. chapitre 3). Quant à la MA, étant donné qu'elle atteint les structures du lobe temporal qui abritent le cortex auditif (et d'autres sous-éléments associés), des chercheurs ont investigué si la perte auditive pouvait être un facteur de risque potentiel de la maladie (e.g., Gates et al., 2011; Lin et al., 2011; voir Loughrey et al., 2018 pour une méta analyse). Les données recueillies suggèrent que les changements pathologiques dans le système auditif peuvent être objectivement mesurés et peuvent potentiellement contribuer à différencier les déclin cognitifs du vieillissement normal, du MCI et de la MA (Hardy et al., 2016; Taljaard et al., 2016; Vecchio & Määttä, 2011). Ainsi, des mesures auditives neurophysiologiques couplées à des évaluations audiologiques pourraient fournir une opportunité de détecter et caractériser la sévérité de la MA (voir Swords et al., 2018 pour une revue).

Chez les adultes âgés cognitivement sains, les déficits olfactifs sont également associés à une augmentation du risque de développer une démence (Attems et al., 2005; Devanand et al., 2015; Stanciu et al., 2014). Il a notamment été suggéré que les troubles olfactifs pouvaient être un indicateur précoce de la MA et qu'ils apparaissaient avant que les symptômes de la maladie ne se développent (e.g., Devanand et al., 2015; Djordjevic et al., 2008; Morgan et al., 1995; Serby et al., 1991). Par ailleurs, la sensibilité et la spécificité des déficits d'identification d'odeur serait comparable à celle obtenue pour plusieurs tests neuropsychologiques de mémoire, lorsqu'il s'agit de distinguer des patients MA de sujets contrôles (Devanand et al., 2000; Murphy, 2002; Tabert et al., 2005). De même, le déficit concernant l'identification du goût a été suggéré comme étant utile pour distinguer des participants MA de sujets contrôles et serait ainsi un indicateur précoce du diagnostic de la MA (Naudin et al., 2015; Steinbach et al., 2010).

L'ensemble de ces études mettent en évidence l'importance des troubles sensoriels comme prédicteurs précoces de la MA et leur utilité pour le diagnostic. Cependant, il convient de noter que d'autres recherches sont encore nécessaires pour confirmer ces résultats et pour mieux comprendre les mécanismes sous-jacents aux troubles sensoriels dans la MA.

2.3 Intégration multisensorielle et hypothèse de déconnexion cérébrale dans la maladie d'Alzheimer

Bien que les déficits de mémoire soient les plus saillants dans la MA, d'autres déficits cognitifs fonctionnels, tels que ceux en intégration multisensorielle (IMS), sont aussi à considérer dans cette pathologie. Pour rappel, l'IMS est la capacité du cerveau humain à combiner l'information pertinente provenant de différentes modalités sensorielles pour former une perception unifiée et cohérente de l'environnement (Talsma et al., 2010, 2015; cf. section 2.2 du chapitre 3 pour les informations relatives à l'IMS dans le vieillissement normal). Plusieurs études ont mis en exergue un déficit d'IMS dans la MA (e.g., Delbeuck et al., 2007; Festa et al., 2005; Festa et al., 2017; Lakmache et al., 1998). Ces études ont généralement comparé des conditions expérimentales unimodale auditive, unimodale visuelle et bimodale audio-visuelle. Par exemple, Delbeuck et al. (2007) évaluent l'intégration des stimuli auditifs et visuels dans la perception du discours en utilisant des stimuli de type McGurk (i.e., fournissant des informations audio-visuelles congruentes ou incongruentes) et montrent une altération spécifique des patients MA dans l'habilité à intégrer deux canaux sensoriels (voir également

Festa et al., 2017). Ces résultats sont corroborés sur le plan électrophysiologique en montrant que le bénéfice de l'intégration visuo-auditive est nettement plus tardif chez ces patients (ainsi que dans le MCI), en comparaison à des sujets contrôles (Wu et al., 2012). De plus faibles activations des régions impliquées dans l'intégration multimodale ont également été observées chez des patients MA en neuroimagerie et indiquent un déficit dans le traitement de l'information multisensorielle et de l'intégration cognitive (Yang et al., 2013). Ce déficit ne se produit pas uniquement lors de l'intégration de stimuli visuels et auditifs, d'autres données suggérant, par exemple, un déficit d'intégration visuo-moteur en stade débutant de la MA (Tippet & Sergio, 2006). De manière générale, les études comparant diverses conditions d'IMS observent que lorsque la tâche implique une haute demande d'intégration sensorielle (et donc des interactions corticales inter-modales) les performances des patients MA chutent (e.g., Festa et al., 2005; Foster et al., 1999; Parra et al., 2010; Tales et al., 2002; Venkatesan et al., 2018).

Pour expliquer ces résultats, des chercheurs suggèrent qu'une conséquence précoce de la MA serait une réduction de la connectivité fonctionnelle entre les différentes aires corticales (Hof et al., 1990; Hof & Morrison, 1990; Morrison & Hof, 2002; Morrison et al., 1991). De ce point de vue, la MA ne serait pas une conséquence d'une perturbation dans un ou plusieurs systèmes neuronaux mais plutôt d'un déficit d'interaction entre les systèmes neuronaux. Il s'agit de l'hypothèse de déconnexion cérébrale (voir Delbeuck et al., 2003 pour une revue). Des preuves en faveur de cette hypothèse sont soutenues sur le plan **neuropathologique** montrant que les marqueurs neuropathologiques de la MA (PS et DNF) prédominent dans les cortex associatifs (dans les lobes temporaux, pariétaux et frontaux) et conduiraient à la perte de neurones pyramidaux responsables des connexions entre les aires corticales associatives (e.g., De Lacoste & White, 1993; Morrison et al., 1986). D'autres preuves proviennent de plusieurs études de **neuroimagerie** (e.g., Buck et al., 1997; Grady et al., 2001; Haxby et al., 1985; Jagust et al., 1996; Rapoport, 1991) et d'**électrophysiologie** (e.g., Cook & Leuchter, 1996; Dunkin et al., 1995; Hogan et al., 2003; Knott et al., 2000; Stevens et al., 2001). Par exemple, Golob et al., (2001) utilisent des mesures électrophysiologiques de l'activité corticale auditive et visuelle en réponse à des inputs sensoriels spécifiques (sons ou flashes). Dans cette étude, les interactions entre les régions du cortex visuel et auditif sont inférées en comparant les potentiels évoqués de paires de stimuli sensoriels ayant la même modalité (paires intra-modales) avec les paires de stimuli de deux modalités différentes (paires inter-modales). Ils observent des effets réfractaires (i.e., réduction de l'amplitude et de la latence d'un composant due à la détection d'un stimulus déjà rencontré, Naatanen & Picton, 1987) préservés dans la condition intra-modale (e.g.,

présentation d'un stimulus visuel suivi d'un stimulus visuel) chez les sujets sains, les MCI et les MA alors que ceux-ci sont absents dans la condition inter-modale (e.g., stimulus visuel suivi d'un stimulus auditif) uniquement dans le cas de la MA. Ils concluent, dès lors, que l'absence d'effet réfractaire dans la MA dans la condition inter-modale reflètent un défaut de connexion entre les aires primaires sensorielles.

Ainsi, les déficits d'IMS dans la MA seraient expliqués par l'hypothèse de déconnexion cérébrale. Il a également été suggéré que les performances en mémoire épisodique des patients MA pourraient être, au moins en partie, une conséquence de cette déconnexion (voir Delbeuck et al., 2003). Les déficits en mémoire épisodique pourraient, en fait, être attribués aux déficits d'IMS (Vallet, 2015), des données de neuroimagerie montrant que l'hippocampe serait partiellement déconnectée des informations sensorielles (Stoub et al., 2006). Les souvenirs épisodiques, nécessitant l'émergence et l'intégration multimodale des différentes composantes des traces en mémoire, seraient alors atteints étant donné le déficit d'IMS (e.g., Vallet al., 2013; voir également Parra et al., 2010 pour une répercussion sur la mémoire de travail). Toutefois, trop peu d'informations sont actuellement disponibles dans la littérature scientifique et d'autres études sont encore nécessaires afin d'investiguer l'impact de potentielles déconnexions cérébrales sur les performances en mémoire. Notamment, il reste à déterminer si les déficits sémantiques présents dans la MA pourraient également être expliqués par un défaut de connectivité cérébrale. Ce point sera abordé dans la section discussion générale de ce travail.

3. Maladie d'Alzheimer et système conceptuel

3.1 Atteinte lexico-sémantique dans la maladie d'Alzheimer

Les troubles lexico-sémantiques apparaissent systématiquement dans la MA (Altmann & McClung, 2008; Chertkow et al., 1993; Hodges & Patterson, 1995; Hodges et al., 1996; Nebes, 1989; Rogers & Friedman, 2008). Les premiers signes débutent avec l'anomie, appelée également le « manque du mot ». Les patients éprouvent des difficultés de récupération lexicale qui se manifestent dans le discours par des paraphasies (substitution d'un mot cible par un autre) et des circonlocutions (définitions de mots). Avec l'avancée de la maladie, l'anomie s'aggrave et le discours devient progressivement incompréhensible en raison de symptômes tels que la dysarthrie, l'écholalie (répétition involontaire automatique des mots ou phrases entendues), la

palilalie (répétition involontaire et spontanée d'un ou plusieurs mots) et la perte de contenu. À un stade très avancé de la maladie, les patients peuvent être atteints d'un mutisme total et d'un déficit sévère de compréhension qui affectent considérablement leurs interactions sociales (Kempler, 1995).

Ces difficultés peuvent être mises en évidence dans des tâches de dénomination qui montrent que les patients MA tendent à produire des paraphrasies sémantiques (i.e., dire le nom d'un concept sémantiquement proche), des erreurs visuo-perceptives (i.e., dire le nom d'un concept visuellement proche) ou des réponses superordonnées (i.e., dire le nom de la catégorie au lieu du concept) (Martin & Fedio, 1983). Un déficit dans les tâches de fluences verbales est également observé (Weiner et al., 2008) avec une plus faible production d'items pour la catégorie sémantique comparativement à la catégorie phonémique. Les patients tendent également à produire des catégories plus générales (Gomez & White, 2006; Henry et al., 2004; Roberta Perri et al., 2012; Sailor et al., 2004). Les études qui ont investigué les détériorations sémantiques dans la MA en utilisant des mesures expérimentales plus sensibles montrent, en fait, que les connaissances subordonnées (e.g., rose et marguerite) sont plus atteintes que les superordonnées (e.g., fleur) (Chertkow & Bub, 1990; Hodges, Patterson, et al., 1992; Simoes Loureiro & Lefebvre, 2015). Cette détérioration distincte suggère que les attributs et les coordonnés sont précocement déficitaires alors que les plus hauts niveaux superordonnés sont préservés (théorie *bottom-up*). Les tâches d'amorçage sémantique se sont montrées pertinentes pour tester cette théorie. Dans les stades précoces de la MA, ces tâches montrent que, lorsque les paires de mots amorce et cible partagent une relation coordonnée (e.g., tigre-lion), un effet facilitateur apparaît (effet d'hyper-amorçage) (Giffard, Desgranges, Nore-Mary, et al., 2001; Giffard et al., 2002; Perri et al., 2011). Cet effet témoignerait de la dégradation des attributs distinctifs des concepts (e.g., rayure et crinière) qui permettent de distinguer des concepts sémantiquement proches (Giffard et al., 2002; Laisney et al., 2004; Martin, 1992). En effet, la perte des caractéristiques distinctives rend les concepts reliés progressivement similaires, l'effet d'hyper-amorçage devient alors comparable à un amorçage de répétition, l'amorce et la cible devenant indifférenciées (Giffard et al., 2002; Laisney et al., 2004; Martin, 1992). Il a ainsi été admis que les caractéristiques partagées par de nombreux concepts (e.g., le lion et le zèbre ont des pattes) sont celles les plus résistantes aux dommages causés par la MA et que les caractéristiques distinctives (qui sont spécifiques pour seulement peu ou très peu de concepts, e.g., présenter des rayures) représentent les connaissances sémantiques les plus vulnérables (Devlin et al., 1998; Flanagan et al., 2013; Perri et al., 2019). Notons qu'avec l'avancée de la

maladie, un effet contraire d'hypo-amorçage (temps de réponses anormalement longs entre l'amorce et la cible) est observé et s'expliquerait par la dégradation complète des concepts (Laisney et al., 2010). Cette atteinte sémantique sévère en stade avancé de la maladie peut notamment être observée dans des tâches de catégorisation d'objets où les patients sont déficitaires quel que soit le niveau hiérarchique des concepts (Hodges & Patterson, 1995).

Deux explications ont été apportées dans la littérature pour expliquer la nature des détériorations sémantiques observées dans la MA. La première théorie propose que la dégradation des aires d'association néocorticales qui stockent les représentations des concepts et de leurs attributs entraîne une perte de connaissances (hypothèse de dégradation) (Altmann & McClung, 2008; Garrard, Ralph, et al., 2005; Gonnerman et al., 1997; Grossman et al., 2003; Laisney et al., 2011). La seconde hypothèse suggère que c'est le déficit des processus exécutifs impliqués dans l'accès aux représentations qui cause une difficulté à récupérer l'information au sein d'un réseau sémantique préservé (hypothèse de déficit d'accès) (Daum et al., 1996; Hartman, 1991; Nebes et al., 1989; Nebes et al., 1984; Rogers & Friedman, 2008). Des preuves en faveur de ces deux théories ont été avancées mais elles sont toujours débattues. Un consensus a néanmoins été proposé pour allier ces deux points de vue. Les deux types de perturbations existeraient dans la MA mais varieraient en proportion en fonction de la gravité de la maladie ; des difficultés de récupération se produiraient en début de maladie et s'étendraient progressivement à une dégradation totale des concepts (Cardebat et al., 1995; Rogers & Friedman, 2008; Salehi et al., 2017; Silveri et al., 1991). Les études d'amorçage montrant que la détérioration sémantique dans la MA débute au niveau des attributs spécifiques des concepts se montrent d'ailleurs en faveur de cette hypothèse intermédiaire en suggérant une perte graduelle dans la maladie (Laisney et al., 2010).

Des déficits spécifiques aux catégories sémantiques ont également été mises en évidence dans la MA dans une variété de tâches sémantiques, montrant que les entités biologiques sont plus affectées que les artefacts (Chertkow et al., 1992; Fung et al., 2001; Garrard et al., 2001; Gonnerman et al., 1997; Silveri et al., 1991; Whatmough et al., 2003; Zannino et al., 2002). Ces résultats ont généralement été mis en relation avec les prédictions de la théorie sensori-fonctionnelle (McCarthy & Warrington, 1988; Warrington & Shallice, 1984) (cf. chapitre 1, section 1.1.1). Ils seraient attribués à une distribution inégale des caractéristiques sensorielles entre ces deux catégories. En effet, si les objets vivants sont dépendants des propriétés sensorielles alors que les non-vivants sont dominés par des caractéristiques fonctionnelles, la catégorie des objets vivants serait affectée précocement dans la MA suite à la perte des

caractéristiques sensorielles des concepts (voir Roll-Carpentier et al., 2006). Une altération des propriétés perceptives centrales pourrait donc être associée au désavantage pour les entités vivantes (Roll Carpentier et al., 2003). Notons toutefois que le déficit spécifique à la catégorie des objets biologiques n'a pas toujours été observé (Gainotti et al., 1996; Hodges, Salmon, et al., 1992; Montanes et al., 1996; Perri et al., 2003; Tippett et al., 1996) et pourrait, notamment, être attribué à des procédures expérimentales dans lesquelles certaines variables sont confondues (voir Zannino et al., 2015 pour une revue critique).

3.2 Influence des variables lexico-sémantiques sur le traitement conceptuel dans la maladie d'Alzheimer

Plusieurs facteurs peuvent influencer les déficits lexico-sémantiques dans la MA. En effet, tous les mots ne sont pas affectés de la même manière dans la MA et leur performance peut être améliorée dans diverses tâches (e.g., dénomination, décision lexicale, génération de propriétés) selon les caractéristiques des mots, telles que les variables (psycho)linguistiques et/ou sémantiques. Par exemple, le rôle de l'**âge d'acquisition** des mots a été démontré dans la MA; les mots acquis précocement sont traités plus rapidement et/ou plus précisément que les mots acquis tardivement (e.g., Cuetos et al., 2008, 2010, 2017; Forbes-McKay et al., 2005; Holmes et al., 2006; Kremin et al., 2001; Marques et al., 2011; Silveri et al., 2002). C'est également le cas pour la **fréquence** et la **familiarité**, où les patients présentent de meilleures performances pour les mots de haute fréquence (Cuetos et al., 2012; Kirshner et al., 1984; Ober & Shenaut, 1988; Rodríguez-Ferreiro et al., 2009; Skelton-Robinson & Jones, 1984; Thompson-Schill et al., 1999; Tippett et al., 2007) ou hautement familiers (Done & Gale, 1997; Gainotti et al., 1996; Marra et al., 2007), indépendamment d'autres facteurs (voir Dunabeitia et al., 2009 pour des effets similaires concernant le nombre de **voisins orthographiques**). Notons que ces effets sont observés également chez les sujets âgés sains. Toutefois, bien que des déficits soient observés dans diverses tâches de reconnaissance et récupération lexicale, certaines propriétés des mots prédisent le succès ou l'échec des patients MA. L'interprétation commune de ces études est que les mots plus fréquents, plus familiers et acquis tôt dans la vie sont plus riches et/ou plus facilement accessibles car les représentations sémantiques de ces concepts ont été apprises tôt dans la vie et ont donc été activées plus souvent. Ces représentations sémantiques sont donc plus résistantes aux effets des dommages cérébraux causés par la MA, alors que les mots moins

fréquents, moins familiers et acquis tardivement sont, quant à eux, plus vulnérables (Cuetos et al., 2017).

Les études investiguant l'impact de variables sémantiques connues pour moduler le traitement des mots (e.g., nombre de caractéristiques, nombre d'associés sémantiques) sont rares dans la MA. Un effet de richesse sémantique (i.e., traitement plus rapide et plus précis pour des concepts plus riches sémantiquement) similaire entre des adultes âgés sains et présentant la MA a été observé concernant le **nombre de caractéristiques sémantiques** dans une tâche de dénomination d'images (Duarte & Robert, 2014). Un traitement plus rapide pour les mots présentant de nombreux **voisins sémantiques** par rapport à ceux présentant peu de voisins sémantiques a également été mis en évidence dans une tâche de décision lexicale, tant chez des sujets contrôles que chez des participants MA (Dunabeitia et al., 2009). Duarte et Robert (2014) suggèrent que la richesse sémantique joue un rôle important dans le traitement des mots et leur accessibilité que ce soit dans le vieillissement sain ou pathologique. Par ailleurs, il a été suggéré qu'une diminution de l'avantage associé à la richesse sémantique peut être un indicateur subtil des déficits dans le traitement lexico-sémantique chez des MCI et pourrait permettre de fournir des indications d'un diagnostic précoce de MA (Taler et al., 2009).

Les effets de concrétude et d'imageabilité peuvent également nous renseigner quant à l'accessibilité des informations sémantiques dans la MA. Bien que les études sur les effets de **concrétude** soient rares dans la MA, elles suggèrent que cet effet est préservé, i.e., les mots concrets sont traités plus rapidement et plus précisément que les abstraits (Fung et al., 2001; Hsieh et al., 2012; Rissenberg & Glanzer, 1987). Notons toutefois que cette différence entre les mots concrets et abstraits dans la MA est observée lorsque les items sont neutres mais pas lorsqu'ils sont émotionnels (Giffard et al., 2015). Ces derniers résultats suggèrent que les concepts sont moins sujets à une détérioration cérébrale s'ils sont émotionnellement ancrés (Joubert et al., 2017).

Bien qu'également rares, les investigations des effets d'**imageabilité** peuvent particulièrement nous renseigner quant à l'accessibilité (l'ancrage) des informations perceptuelles associées aux concepts. En effet, l'imageabilité est la première variable sémantique associée à l'information sensorimotrice (cf. chapitre 2, section 1.1.1.1). Plusieurs études utilisant des tâches de dénomination n'ont pas mis en évidence d'effet spécifique de l'imageabilité dans la MA (Albanese, 2007; Cuetos et al., 2005; Cuetos et al., 2012; Rodríguez-Ferreiro et al., 2009). Toutefois, il a été suggéré que la dénomination ne permet pas d'établir des prédictions certaines quant à l'influence de l'imageabilité dans la MA car, si un concept peut être représenté par un

dessin, il est forcément hautement imageable. La dénomination ne permet donc pas d'utiliser une gamme de valeur d'imageabilité aussi large que dans une tâche de sélection lexicale, par exemple (Cuetos et al., 2017). En effet, de meilleures performances pour les mots hautement imageables (e.g., ananas), en comparaison à des mots peu imageables (e.g., idée) ont été mis en exergue dans la MA dans une tâche de sélection lexicale (Cuetos et al., 2017) ainsi que dans une tâche de rappel en série investiguant la mémoire à court terme verbale (Peters et al., 2009). Ces résultats ont été interprétés par les chercheurs comme le reflet d'une faiblesse sémantique associée aux mots peu imageables (voir Peters et al., 2009), leurs représentations étant appauvries par de faibles informations perceptuelles les rendant plus vulnérables (Cuetos et al., 2017).

En somme, l'ensemble de ces études montrent que les déficits en récupération, reconnaissance ou production de mots dans la MA peuvent être investigués sous certaines conditions qui permettent d'analyser l'impact de propriétés lexicales ou sémantiques des concepts. Toutefois, contrairement aux déficits en récupération et en production de mots, les déficits dans la reconnaissance visuelle de mots restent peu investigués dans la MA. Nous avons donc des connaissances limitées quant aux facteurs qui contribuent à la facilité ou à la difficulté de reconnaissance de mots dans la MA (Cuetos et al., 2017). La tâche de décision lexicale a été mise en évidence comme étant idéale pour tester ces effets dans la MA (Cuetos et al., 2010, 2017). En effet, les performances en décision lexicale de patients en stade débutant sont relativement similaires à celles de sujets contrôles sains (Chertkow et al., 1992; Cuetos et al., 2003; Dunabeitia et al., 2009). De plus, cette tâche a été présentée dans la littérature comme offrant une possibilité de détecter les capacités cognitives pré-morbides chez les patients au stade précoce de la MA (McFarlane et al., 2006). Elle permet également d'éliminer les biais relatifs à l'utilisation de multiples mots ou images pour lesquels il est difficile de distinguer les propriétés des cibles et celles des autres mots/images (Cuetos et al., 2017).

Pour l'étude 4 de la partie expérimentale, nous utiliserons la tâche de décision lexicale afin d'investiguer la reconnaissance visuelle de mots dans la MA. Plus précisément, notre intérêt concerne l'impact des informations sensorielles sur le traitement lexico-sémantique. Puisque la variable d'imageabilité a été identifiée comme ne reflétant pas fidèlement la base perceptuelle des concepts (cf. chapitre 2), nous utiliserons la variable de FP afin d'investiguer l'impact des informations perceptuelles dans le déclin lexico-sémantique de la MA.

4. Maladie d'Alzheimer et embodiment

Les théories de l'embodiment ont révélé l'importance des composants sensorimoteurs dans la cognition, notamment dans le système conceptuel pour lequel nous portons une attention particulière (cf. chapitre 1). Le postulat suivant a pu être mis en évidence : si la perception et la mémoire partagent des ressources communes, une dégradation de la perception entraînerait une dégradation des traces mnésiques (épisodiques et sémantiques) (Versace et al., 2014). Comme exposé au chapitre 3, l'étude du vieillissement dans une perspective incarnée de la cognition prend tout son sens compte tenu des multiples altérations sensorielles, motrices et cognitives constatées chez les individus âgés. Ces perturbations, qui s'intensifient en cas de pathologies neurodégénératives telles que la MA, renforcent davantage la nécessité d'examiner l'application de ces théories. Par ailleurs, pour intégrer les apports de la cognition incarnée dans une théorie cohérente et globale, il est nécessaire que les hypothèses de l'embodiment soient vérifiées dans toutes les dimensions de la cognition (Vallet, 2015).

Notre intérêt relatif à l'application des théories de l'embodiment pour la MA se justifie en raison de plusieurs facteurs incluant sa prévalence croissante liée au vieillissement de la population ainsi que son statut de pathologie neurodégénérative la plus fréquente dans le monde. Toutefois, si les études sont rares dans le vieillissement normal, elles le sont d'autant plus dans le cas de la MA. Certaines études permettent, néanmoins, d'apporter quelques éclairages afin d'envisager si les troubles mnésiques dans la MA s'expliquent par la relation entre perception (ou, plus généralement, système sensorimoteur) et connaissances (épisodiques ou sémantiques).

Vallet et ses collaborateurs (2013) utilisent un paradigme d'amorçage inter-modal (i.e., l'amorce et la cible réfèrent au même item mais sont présentées dans différentes modalités, e.g., miaulement de chat suivi d'une image de chat) impliquant la catégorisation d'objets auprès de participants MA. Dans cette tâche, la moitié des amorces (i.e., les sons) étaient présentées avec un masque visuel sans signification. Chez les sujets sains, le masque interfère avec l'effet d'amorçage (i.e., absence d'effet d'amorçage lorsque les amorces sont masquées) démontrant la nature perceptuelle de l'effet (les interactions inter-modales sont perceptuelles et directes) (Vallet et al., 2010, 2011). Toutefois, chez les participants présentant la MA, aucun effet d'amorçage n'est observé, ce qui suggère une altération de l'activation des amorces auditives vers leurs représentations visuelles correspondantes en mémoire. Les auteurs avancent que ces résultats soutiennent l'hypothèse de déconnexion cérébrale dans la MA ; les interactions

cérébrales complexes entre différentes modalités sollicitées par le paradigme inter-modal sont perturbées. Ainsi, alors que l’ancrage des connaissances conceptuelles dans des caractéristiques perceptuelles semble préservé dans le vieillissement normal (Vallet et al., 2011), ce ne serait pas le cas dans la MA.

Dans une étude ultérieure, la même équipe (Vallet et al., 2016) investigate l’impact des composants sensorimoteurs dans la distinctivité de la trace mnésique. Ils observent que des différences de performances en mémoire visuelle incidente s’opèrent dans la MA (et également dans le MCI) selon la nature perceptuelle des items employés. En fait, les performances en reconnaissance étaient meilleures pour les paires d’images ayant des propriétés perceptuelles visuelles uniques que pour celles étant abstraites. La nature perceptuelle visuelle des stimuli influence donc les performances des sujets MA (et MCI) en faveur des items les plus distincts. Les auteurs suggèrent que le rôle des composants sensorimoteurs dans la distinction des informations, combiné au syndrome de déconnexion dans la MA, pourraient être une explication possible des troubles de la mémoire observés dans cette maladie.

Une autre étude ciblant la question de l’ancrage moteur dans la MA a analysé si des jugements de phrases impliquant un déplacement d’un objet loin ou près du corps impliqueraient un phénomène de compatibilité de l’action (i.e., traitement plus rapide quand la réponse requière un mouvement congruent avec le déplacement décrit dans la phrase) (De Scalzi et al., 2015). Les chercheurs montrent que, comme chez les sujets sains, les participants MA bénéficient de l’effet de compatibilité, résultant d’un amorçage entre le langage et le mouvement. Les systèmes neuronaux impliqués dans l’action lors de la compréhension du langage seraient donc préservés dans la MA (De Scalzi et al., 2015).

Actuellement, le nombre de données disponibles dans la littérature semble, à notre connaissance, restreint à ces quelques informations. D’autres recherches sont encore nécessaires afin d’investiguer les effets incarnés de la cognition dans la MA. Les perspectives les plus prometteuses en matière de recherche sur l’embodiment portent sur le développement de nouvelles interventions qui reposent sur des hypothèses radicalement différentes de celles utilisées dans le cognitivisme (Vallet, 2015). Ainsi, il serait, par exemple, envisageable d’améliorer les capacités cognitives en exploitant le fonctionnement global du corps ou en utilisant des programmes de stimulation se focalisant sur l’intégration des composants sensorimoteurs en mémoire (Vallet et al., 2016).

Concernant les altérations mnésiques de la MA, une perspective, en termes de recherche, pourrait être d'analyser davantage la façon dont les performances peuvent varier selon les caractéristiques sensorielles spécifiques des items employés dans les évaluations. Si des différences de performance en mémoire visuelle dans la MA se produisent selon les caractéristiques visuelles des items employés (Vallet et al., 2016), nous pourrions envisager que des différences en termes de FP puissent également impacter la reconnaissance de mots dans la MA. En effet, la variable FP capture différentes dimensions perceptuelles et son traitement dans la MA pourrait être modulé selon l'importance (i.e., le poids) de propriétés perceptuelles des concepts. Dans notre étude 4, nous examinerons précisément cette question en analysant s'il existe un traitement différencié entre deux groupes de mots présentant des poids sensoriels différents (i.e., FP élevée vs FP faible) chez des participants MA en stade débutant et modéré, en comparaison à des sujets sains.

Synthèse du chapitre 4

La MA est la forme de démence la plus commune. Outre une atteinte neuropathologique spécifique, elle est caractérisée par une multitude de déficits cognitifs dans divers domaines. Si les déficits les plus importants de la MA concernent la cognition, une multitude de dysfonctionnements des systèmes sensoriels ont également été identifiés et sont actuellement étudiés comme pouvant être des facteurs de risque potentiels de la maladie. Par ailleurs, des déficits d'IMS ont été mis en exergue dans la MA. Ceux-ci seraient expliqués par l'hypothèse de déconnexion cérébrale suggérant un défaut de connexion entre les différentes aires corticales cérébrales. Par ailleurs, il a été proposé que cette hypothèse puisse être impliquée dans les déclinés mnésiques de la MA.

Dans la description du tableau cognitif de la MA, nous avons particulièrement ciblé et développé l'atteinte lexico-sémantique, dont les manifestations cliniques sont précoces. Notre attention s'est particulièrement portée sur l'impact des variables psycholinguistiques/sémantiques dans le traitement conceptuel. En effet, tous les mots ne sont pas affectés de la même manière et ceux qui possèdent des caractéristiques particulières vont être plus résistants aux effets de la maladie. Cela semble être le cas pour les caractéristiques sensorimotrices (i.e., imageabilité) mais il existe encore trop peu d'études dans ce domaine pour pouvoir avancer une meilleure préservation des concepts possédant davantage de propriétés sensorimotrices dans la MA.

Enfin, nous avons investigué l'intérêt de l'application des théories de l'embodiment dans le cadre de la MA à partir de quelques rares études disponibles dans la littérature scientifique. Afin de vérifier les hypothèses d'embodiment dans la MA, nous proposons d'analyser davantage la façon dont les performances des participants MA varient selon les caractéristiques sensorielles spécifiques des items utilisés par les chercheurs (cf. étude 4).

Conclusion de la partie théorique

Les approches incarnées de la cognition proposent que l'information sensorimotrice forme de manière critique les représentations conceptuelles. Ces représentations sont multiples et impliquent différents systèmes qui requièrent des patterns d'activation neuronaux perceptuels, moteurs, affectifs et linguistiques selon le contexte spécifique et situé. L'approche pluraliste multimodale propose de tenir compte de toutes ces contraintes représentationnelles (incluant une composante linguistique et incarnée) dans une vision dynamique et flexible du traitement conceptuel.

Les études qui investiguent l'impact des informations sensorimotrices dans le traitement lexico-sémantique ont permis de soutenir ces approches. Des variables telles que la FP et l'ICO ont été jugées particulièrement pertinentes pour capturer la dimension perceptuelle (pour la FP) et motrice (pour l'ICO) des concepts. Toutefois, la non-disponibilité de ces variables en langue française constitue un obstacle à leur utilisation dans le cadre des recherches francophones.

Par ailleurs, nous avons relevé que les études soutenant la dimension incarnée de la cognition sont insuffisantes dans le domaine du vieillissement. Elles sont pourtant nécessaires afin de tester ce cadre théorique dans toutes les sphères de la cognition, celles-ci incluant le vieillissement normal et pathologique. Ceci nous amène à souligner l'importance de tester les prédictions suggérant que les altérations de la perception et de la motricité devraient impacter le fonctionnement cognitif et inversement. Notre attention s'est portée sur l'hypothèse d'un plus faible ancrage sensorimoteur des connaissances conceptuelles dans le vieillissement et plusieurs questions essentielles ont été discutées dans le chapitre 3.

Ces considérations théoriques nous ont conduit à la conclusion de la nécessité de développer des normes de FP et d'ICO afin d'obtenir des mesures sensorimotrices précises et adaptées à la langue française et à la population étudiée, puisque l'expérience sensorimotrice associée à un concept est potentiellement variable selon l'expérience de vie de l'individu. En outre, il semble primordial d'explorer, dans le cadre du vieillissement, si les modifications des systèmes sensorimoteurs avec l'âge impactent les représentations conceptuelles et le traitement lexico-sémantique. Si cette exploration est intéressante dans le cadre du vieillissement normal, elle l'est également dans le cadre de la MA qui présente une atteinte unanime des systèmes perceptuel et conceptuel.

Ces problématiques seront au centre de notre partie expérimentale. Comme nous l'avons vu au chapitre 2, les tâches de reconnaissance visuelle de mots sont particulièrement pertinentes pour investiguer la nature des représentations des mots écrits ainsi que les processus impliqués dans leur traitement. Nous analyserons donc l'impact de la FP dans le traitement conceptuel dans le vieillissement à partir d'une tâche de décision lexicale (vieillissement normal et MA) et sémantique (vieillissement normal).

PARTIE EXPERIMENTALE

Chapitre 5 – Etudes empiriques

Introduction

La partie empirique se compose de 4 études.

La **première étude** vise le développement de normes de force perceptuelle (FP) et intéroceptive pour 270 mots de la langue française chez des adultes jeunes. Dans la partie théorique, la variable de FP s'est avérée la plus pertinente pour capturer la multimodalité des connaissances conceptuelles (e.g., Chedid et al., 2019; Connell & Lynott, 2012). Nous avons toutefois souligné l'absence de normes de FP disponibles en français pour toutes les modalités, ce qui justifie l'objectif de cette première étude qui constitue le fondement initial de nos recherches. Celle-ci se subdivise en 2 parties. La première partie concerne les normes de FP pour les modalités visuelle, auditive, haptique, olfactive et gustative ainsi que leur relation avec les variables psycholinguistiques et sémantiques. La seconde partie est relative à la force intéroceptive. Bien que cette variable ait révélé son importance dans la représentation conceptuelle (Connell et al., 2018), nos analyses confirmeront que l'intéroception est surtout pertinente pour les concepts émotionnels qui sont les moins concrets et les moins imageables de notre corpus de mots. Pour ces raisons, ce travail s'est focalisé, par la suite, sur la FP relative aux 5 modalités sensorielles classiques pour les mots concrets.

Les études soulignant l'importance de l'expérience acquise au cours de la vie (e.g., Dijkstra et al., 2004; Madden & Dijkstra, 2009) nous ont conduit à nous interroger sur l'influence du processus de vieillissement sur l'évaluation des variables sensorimotrices telles que la FP et l'ICO (interaction corps-objet). Dans la **seconde étude**, les effets de l'âge sur le jugement de la FP et de l'ICO seront explorés en comparant les données de sujets adultes jeunes et âgés pour 270 mots de la langue française. Cette étude nous amènera, notamment, à discuter la question de l'évolution des représentations sensorimotrices avec l'âge. Néanmoins, les mesures recueillies dans cette étude sont purement explicites et nous avons été amenés à proposer l'étude 3 afin d'examiner les processus implicites qui peuvent être impliqués dans le traitement conceptuel.

La **troisième étude** vise à investiguer l'impact de la FP sur le traitement lexico-sémantique dans le vieillissement normal en comparant les performances de sujets adultes jeunes et âgés à une tâche de décision lexicale et de décision sémantique. La récolte de données de FP chez les sujets jeunes (étude 1) et âgés (étude 2) a été essentielle à la constitution de ces protocoles expérimentaux. Notre travail s'inscrivant dans une démarche exploratoire, nous serons amenés à proposer et discuter des pistes d'interprétations tout en accordant une attention particulière aux aspects méthodologiques.

Etant donné que nos objectifs visaient également à explorer le vieillissement pathologique, nous avons également investigué l'impact de la FP dans le cas de la MA dans une **quatrième étude**. Celle-ci compare les performances de participants âgés sains (testés dans l'étude 3) à des participants présentant la MA en stade débutant (MA1) et modéré (MA2) dans une tâche de décision lexicale (identique à l'étude 3). Cette dernière étude s'est focalisée sur la décision lexicale pour des raisons pratico-pratiques, la décision sémantique n'ayant pas été réalisable en raison de difficultés de compréhension/mémorisation des consignes rencontrées par les sujets MA.

Finalement, l'ensemble de ces résultats sera discuté de manière approfondie dans la **discussion générale** (chapitre 6). Nous veillerons à fournir une analyse critique et rigoureuse de nos études et examinerons attentivement leurs implications dans le contexte du vieillissement sain et de la MA. De plus, nous ouvrirons le débat sur les perspectives de recherche dans ce domaine.

ETUDE 1

Etude 1 : Récolte de normes de force perceptuelle et intéroceptive pour 270 mots de la langue française

Miceli, A., Wauthia, E., Lefebvre, L., Ris, L. & Simoes Loureiro, I. (2021). Perceptual and Interoceptive Strength Norms for 270 French Words. *Front. Psychol.* 12. doi: 10.3389/fpsyg.2021.667271

Résumé

L'expérience perceptuelle à travers les cinq modalités (i.e., vision, audition, toucher, goût et odorat) a démontré son rôle crucial dans la sémantique. Les chercheurs ont également mis en évidence le rôle des informations intéroceptives dans l'ancrage représentationnel des concepts. Cependant, à ce jour, il n'existe pas de données disponibles en langue française pour ces modalités. Par conséquent, l'objectif de cette étude était de combler cette lacune. Des participants âgés de 18 à 50 ans ont répondu à une enquête en ligne dans laquelle nous avons enregistré des scores de force perceptuelle, d'information intéroceptive, d'imageabilité, de concrétude, de familiarité conceptuelle et d'âge d'acquisition de 270 mots de la langue française. Nous avons également analysé les relations entre les modalités perceptuelles et les variables psycholinguistiques. Les résultats ont révélé que la grande majorité des concepts était dominante sur le plan visuel. Les analyses de corrélation ont démontré que les cinq modalités perceptuelles et les variables psycholinguistiques étaient fortement corrélées et révèlent que les variables perceptuelles reflètent bien un aspect des représentations sémantiques. Par ailleurs, des scores intéroceptifs élevés ont été observés principalement pour les mots les moins imageables et les moins concrets, soulignant ainsi leur importance dans l'ancrage des concepts abstraits. De futures recherches pourraient utiliser ces normes pour étudier le rôle de l'expérience perceptuelle dans la représentation des concepts et son impact sur le traitement des mots.



Perceptual and Interoceptive Strength Norms for 270 French Words

Aurélie Miceli^{1,2,3*†}, Erika Wauthia^{1,2,3*†}, Laurent Lefebvre^{1,2,3}, Laurence Ris^{2,3,4} and Isabelle Simoes Loureiro^{1,2,3}

¹Cognitive Psychology and Neuropsychology Department, Faculty of Psychology and Educational Sciences, University of Mons, Mons, Belgium, ²Institute of Health Sciences and Technologies, University of Mons, Mons, Belgium,

³Interdisciplinary Research Center of Psychophysiology and Cognitive Electrophysiology, University of Mons, Mons, Belgium,

⁴Neuroscience Department, Faculty of Medicine and Pharmacy, University of Mons, Mons, Belgium

OPEN ACCESS

Edited by:

Alain Morin,
Mount Royal University, Canada

Reviewed by:

Alessandra Vergallito,
University of Milano-Bicocca, Italy
Guillaume T. Vallet,
UMR6024 Laboratoire de
Psychologie Sociale et Cognitive
(LAPSCO), France

*Correspondence:

Aurélie Miceli
aurelie.miceli@umons.ac.be
Erika Wauthia
erika.wauthia@umons.ac.be

[†]These authors share first authorship

Specialty section:

This article was submitted to
Cognitive Science,
a section of the journal
Frontiers in Psychology

Received: 12 February 2021

Accepted: 05 May 2021

Published: 11 June 2021

Citation:

Miceli A, Wauthia E, Lefebvre L,
Ris L and Simoes Loureiro I (2021)
Perceptual and Interoceptive
Strength Norms for 270
French Words.
Front. Psychol. 12:667271.
doi: 10.3389/fpsyg.2021.667271

Perceptual experience through the five modalities (i.e., vision, hearing, touch, taste, and smell) has demonstrated its key role in semantics. Researchers also highlighted the role of interoceptive information in the grounded representation of concepts. However, to this day, there is no available data across these modalities in the French language. Therefore, the aim of this study was to circumvent this caveat. Participants aged between 18 and 50 completed an online survey in which we recorded scores of perceptual strength (PS), interoceptive information, imageability, concreteness, conceptual familiarity, and age of acquisition of 270 words of the French language. We also analysed the relationships between perceptual modalities and psycholinguistic variables. Results showed that vast majority of concepts were visually-dominant. Correlation analyses revealed that the five PS variables were strongly correlated with imageability, concreteness, and conceptual familiarity and highlight that PS variables index one aspect of the semantic representations of a word. On the other hand, high interoceptive scores were highlighted only for the less imageable and less concrete words, emphasizing their importance for the grounding of abstract concepts. Future research could use these norms in the investigation of the role of perceptual experience in the representation of concepts and their impact on word processing.

Keywords: perceptual strength, interoception conceptualization, norms, semantic, psycholinguistic variables

INTRODUCTION

Traditional conceptualizations of semantic knowledge mainly focused on the investigation of how concepts are organised in memory, notably by analysing relationships between them (Quillian, 1967; Collins and Loftus, 1975) or by evaluating their shared and distinct features (Farah and McClelland, 1991; McRae et al., 1997; Tyler and Moss, 2001; Vigliocco et al., 2004; Rogers et al., 2006). According to the classical neuropsychological approaches, conceptual knowledge would be symbolic and concepts would be stored in memory in an abstract way, independently of our sensorial modalities (Murphy, 2002). These models also posited that

sensory and emotional information would only be considered during pre- and post-semantic processing steps (Fodor, 1983; Pexman, 2019). Over the past two decades, new conceptualizations emerged and progressively adopted an embodied approach which postulates that knowledge and conceptual representations are a direct result of interactions with the environment and are grounded in action and perception (Barsalou, 1999, 2008; Wilson, 2002). In this context, a growing number of studies observed that semantic representations rely on multimodal experiences and are associated with activations in several brain regions, including the sensory and motor cortex (e.g., González et al., 2006; Simmons et al., 2007; Kiefer et al., 2008; Fernandino et al., 2016; for reviews, see Thompson-Schill, 2003; Martin, 2007; Patterson et al., 2007; Binder, 2016).

The investigation of the conceptual involvement in semantic memory requires appropriate stimuli. In this perspective, norms have been developed to capture the degree to which a word evokes a sensory and/or perceptual experience in the participant's mind (Juhasz et al., 2011; Juhasz and Yap, 2013; Bonin et al., 2015). In these studies, participants were asked to rate on a Likert scale the degree to which any given word evokes a sensory experience in a single note. This method has been shown to lead to information loss because the score did not refer to a specific perceptual modality. Therefore, auditory, haptic, and gustatory modalities were neglected by people while olfactory and visual information was distorted (Connell and Lynott, 2016). Consequently, Lynott and Connell (2009, 2013) have extended these first norms by asking participants to rate the extent to which they experience a word in each of the five sensory modalities on a scale of 0 (not experienced at all) to 5 (highly experienced). In these studies, they highlighted the importance of separately assessing perceptual modalities when trying to standardize the sensory bases of words and concepts in order to capture effects that are related to particular modalities and not to others (Connell and Lynott, 2012, 2016). For example, it has been shown that perceptual and conceptual processing share a disadvantage in the tactile modality relative to other perceptual modalities; people are slower and less accurate in detecting stimuli related to tactile sensations (Spence et al., 2001; Turatto et al., 2004) and are equally slower and less accurate in detecting words that evoke touch (Connell and Lynott, 2010).

Numerous other behavioural studies highlight the importance of information related to the five modalities in predicting performance in various conceptual tasks such as modality-switching cost paradigms, which shows that checking a property in one modality (e.g., auditory: *rustle* for "leaf") will take less time after having checked another property in the same modality (e.g., *noise* for "mixer"; e.g., Pecher et al., 2003; Vermeulen et al., 2007; Van Dantzig et al., 2008). Studies have also demonstrated that the performance in lexical and naming decision tasks can also be predicted by perceptual strength (e.g., Connell and Lynott, 2012, 2014; Lynott et al., 2019).

Concreteness and imageability are the traditional variables thought to facilitate word processing (e.g., Paivio, 1969, 1991; Rubin, 1980; de Groot, 1989; Binder et al., 2005). These concepts reflect different aspects of semantic representations.

Concreteness refers to the degree to which words refer to people, places and things that can be seen, heard, touched, smelled, or tasted, and imageability is defined to the ease with which it is possible to form a mental image associated with a word (Bonin et al., 2003a). Words processing also appeared to depend on concepts' age of acquisition (AoA; e.g., the age at which a word was learned) or conceptual familiarity (e.g., the degree to which people come in contact with or think about a concept; e.g., Bonin et al., 2003b; Ferrand et al., 2008; Kuperman et al., 2012; Chedid et al., 2019b). Interestingly, while Vergallito et al. (2020) reported imageability as a stronger predictor of Italian word processing reaction times, studies conducted in other languages (e.g., Canadian French: Chedid et al., 2019a; English: Connell and Lynott, 2012; Dutch: Speed and Brysbaert, 2020) revealed that the effect of perceptual strength was even more important than the effect of well-known psycholinguistic variables, such as concreteness and imageability, suggesting that the importance of these variables could be influenced by cross-linguistic differences. Connell and Lynott (2012) also suggested that imageability and concreteness could, in fact, be biased in favor of the visual modality and would not reflect the sensory richness of a concept (Hargreaves et al., 2012; Newcombe et al., 2012; Yap et al., 2012). This highlights the need to provide an accurate measure of the perceptual basis of concepts by evaluating each modality separately and to investigate the relationships between the perceptual strength and the traditional psycholinguistic characteristics of words.

In a further study, researchers extended their findings about perceptual strength to a new sensory modality, namely interoception, which refers to internal body sensations emanating from the visceral organs (heart, stomach, lungs, and intestines), the autonomic nervous system, and the immune system (Craig, 2002; Craig and Craig, 2009; Critchley and Harrison, 2013; Khalsa and Lapidus, 2016). In this research, Connell et al. (2018) ran a series of exploratory analyses and demonstrated that interoception plays an important role in how individuals experience abstract and concrete concepts, especially emotions. Furthermore, they evidenced that adding the interoceptive strength in the five traditional sensory modalities significantly facilitated words processing in a lexical decision and in a word naming task as measured by shorter reaction times and higher response accuracy. Previous studies have demonstrated close relationships between interoception and depression and anxiety levels (e.g., Schandry, 1981; Harshaw, 2015). Nonetheless, to the best of our knowledge, there is no study specifically investigating the impact of such clinical variables on the interoceptive rating in healthy individuals, which could be meaningful in the investigation of the relationships between clinical states and the perceptual grounding of concepts.

In recent years, perceptual strength norms have been widely developed in different language, e.g., Dutch (Speed and Majid, 2017; Speed and Brysbaert, 2020), Russian (Miklashevsky, 2018), Mandarin (Chen et al., 2019), Italian (Morucci et al., 2019; Vergallito et al., 2020), and Serbian (Đurđević et al., 2016). Despite their essential role in future studies that investigate the interactions between perceptual, conceptual, and semantic processing, the current databases on perceptual experience

available in French are (1) those obtained by Chedid et al. (2019a) which only focus on the visual and the auditory modalities and (2) those obtained by Bonin et al. (2015) on the global sensory-motor experience (SERs; Bonin et al., 2015) which did not refer to a specific perceptual modality. Therefore, this paper aims to extend these existing data in French through two original studies presented in the following section. The aims of our first study were (1) to collect modality-specific perceptual strength ratings for 270 words of the French language as well as their respective norms of psycholinguistic semantic variables (concreteness, imageability, conceptual familiarity, and AoA) and (2) to explore the relationship of our newly developed variables with these psycholinguistic ones. As demonstrated for visual and auditory perceptual strength by Chedid et al. (2019a), we hypothesize that the five perceptual modalities would be considered as semantic, through their relationship with the other semantic variables (Juhasz et al., 2011; Connell and Lynott, 2012; Juhasz and Yap, 2013; Bonin et al., 2015). Our second study was designed to collect interoceptive information since it has been shown to participate in the perceptual grounding of conceptual representations (Connell et al., 2018). More specifically, it also aimed to introduce new control variables: the level of anxiety, depression, and the interoceptive awareness of participants, as well as the arousal and the valence of each word. Including these data allowed us to explore important issues in a more clinical perspective as well as determine whether or not these variables define interoceptive strength.

STUDY 1: PERCEPTUAL STRENGTH NORMS FOR 270 FRENCH WORDS AND THEIR RELATIONSHIP WITH PSYCHOLINGUISTIC VARIABLES

Materials and Methods

Participants

One hundred and forty-one French-speaking participants (100 women and 41 men), aged between 18 and 50 (mean age = 25.75; SD = 7.43) with a socio-cultural level of higher education (bachelor's degree; socio-cultural level = 5.12; five corresponding to the bachelor level; SD = 0.80) took part in this study. They were recruited through social media ads. The inclusion criteria were as follows: Participant must (1) have normal or corrected-to-normal vision, (2) have normal or corrected-to-normal hearing, (3) not have any other sensory disturbances, and (4) do not present any motor disorders. The study was approved by the ethical board of the Psychology and Educational Sciences Faculty of the University of Mons (Mons, Belgium) and followed the guidelines of the Declaration of Helsinki.

Stimuli

We selected 270 common nouns of the French language, most of which were concrete nouns. Among these, 188 were selected from Bonin et al. (2003a). The words sample was then completed by 82 common concrete words from the Lexique 3 database (New et al., 2007).

Procedure

After completing the consent form and answered questions about personal information, participants completed the rating study on an online platform (Limesurvey). Each participant received the words list and were asked to rate on a Likert-like scale, ranging from 0 (*not at all*) to 5 (*greatly*) the extent to which they experience each word through a specific modality. The modalities were presented in the following order: visual, auditory, haptic, gustatory, and then olfactory. Each question started with an instruction page. The instructions and examples were similar to those from Lynott and Connell (2009, 2013) and from Chedid et al. (2019a) and were as follows: "To what extent, in your opinion, is this word associated with a visual/auditory/haptic/gustative/olfactory sensory experience?" (in French: « A quel point, ce concept est-il associé, selon vous, à une expérience sensorielle visuelle/auditive/tactile/gustative/olfactive »; see Appendix A). The ratings were automatically saved by the server in a secured database. Once the participants had completed the first modality, they received an email link to fulfill the second modality and so on. They were informed that they could complete the task in several sessions. The order of the 270 words was randomised for each participant for each question. The entire list was divided, for each modality, into two subsets of words to make it compatible with the Limesurvey format. The subdivision was made according to the alphabetical order of words and the randomisation was made within each subset. A screenshot of an experiment page is reported in Appendix B.

At the end of this assessment, participants were asked to assess, through the exact same online format, the psycholinguistic characteristics of the 270 words, namely concreteness, imageability, conceptual familiarity, and age of acquisition. The instructions for the different variables were either adapted on the basis of original instruction taken from previous published studies (e.g., Bonin et al., 2003a,b; Ferrand et al., 2008; Chedid et al., 2019b) and are available at the Appendix C.

The demographic information of the participants for the separate components of data collection is provided in Table 1.

Data Reduction and Analyses

All analyses were conducted using SPSS 21. Significant level was set at $p = 0.05$ throughout analyses. First, we proceeded to a screening of the outliers. The mean and SD of all participant's ratings in each modality were calculated and participants were discarded from analyses when their mean score fell outside ± 2.5 SD from the group mean. The data of five participants (four females) were excluded. The exclusion was done at a participant level in order to keep the same number of participants for all modalities.

For intra and inter-study reliability, Spearman correlation coefficients were computed (since the distribution of our variables did not check the normality assumption) as well as Cronbach's alphas for inter-item and inter-rater consistency. For the analysis of the relationships between modalities, we ran a principal component analysis (PCA) with an orthogonal (Varimax) rotation. Finally, the relationships between the perceptual strength variables and words' psycholinguistic characteristics were analysed through correlation analyses.

TABLE 1 | Participant demographics for the separate components of data collection.

Component	Sex	Socio-cultural level (M)	Socio-cultural level (SD)	N	Age (M)	Age (SD)
Perceptual strength	Female	5.15	0.79	96	26.18	8.03
	Male	5.05	0.81	41	24.43	5.18
Psycholinguistic variables	Female	5.27	0.78	80	26.96	8.28
	Male	5.12	0.72	16	25.56	4.72

Results and Discussion

Intra- and Inter-study Reliability

As in Chedid et al. (2019a), we first measured the internal consistency of the ratings. This split-half reliability coefficient is obtained by splitting the ratings of the participants into two groups (according to even and odd participant numbers), and by computing a Spearman correlation between the two groups data for each variable separately. If the ratings of the two groups are well-correlated, they should provide similar results, meaning that the ratings have good internal consistency reliability. The results show significant corrected Spearman correlations for the five perceptual strength (visual: $\rho = 0.974$, $p < 0.001$; auditory: $\rho = 0.949$, $p < 0.001$; haptic: $\rho = 0.983$, $p < 0.001$; gustatory: $\rho = 0.814$, $p < 0.001$; and olfactory: $\rho = 0.916$, $p < 0.001$).

The Cronbach's alphas conducted for inter-item consistency showed a high reliability for all modalities (visual: $\alpha = 0.993$; auditory: $\alpha = 0.986$; haptic: $\alpha = 0.988$; gustatory: $\alpha = 0.975$; and olfactory: $\alpha = 0.986$). Participants also showed high inter-rater reliability for each modality, according to Cronbach's alphas for inter-rater agreement (visual: $\alpha = 0.985$; auditory: $\alpha = 0.989$; haptic: $\alpha = 0.988$; gustatory: $\alpha = 0.996$; and olfactory: $\alpha = 0.993$).

Mean Rating and Modality Exclusivity

The overall mean perceptual strength rating for the five modalities are presented in Table 2. As observed across previous studies in different languages (e.g., Lynott and Connell, 2013; Miklashevsky, 2018; Lynott et al., 2019; Speed and Brysbaert, 2020; Vergallito et al., 2020), words were rated as primarily experienced in the visual modality, while the gustatory one was least experienced.

Table 3 shows a sample of the words used in our study with their rating profile across modalities and modality exclusivity scores. As suggested by Lynott and Connell (2009, 2013) and Lynott et al. (2019), the modality exclusivity score represents the extent to which a particular concept is perceived through a single perceptual modality and it is computed by dividing the rating range by the sum, as in the formula below, where M is a vector of mean ratings for each of the five perceptual modalities ($\max M - \min M / \sum M$). Each score extends from 0% for completely multimodal concepts, to 100% for completely unimodal concepts. Lynott and Connell (2009) have proposed the following categorisation: 0–35% (low), 35–65% (moderate), and 65–100% (high). For example, the most multidimensional word in our norms is *potato chips* (“chips” in French) with a modality exclusivity of 8.55% because it refers to a concept that can be strongly experimented through the five modalities.

TABLE 2 | Mean ratings (M) of perceptual strength (0–5) for 270 words across five modalities, with SD, SE, and 95% CI per scale.

	M	SD	SE	95% CI
Visual	2.66	0.84	0.05	2.56
Auditory	1.09	0.87	0.05	0.99
Haptic	1.86	1.00	0.06	1.74
Gustatory	0.62	1.13	0.07	0.48
Olfactory	0.77	0.96	0.06	0.65

Conversely, the word *moon* (“lune” in French) was scored as highly unidimensional with a sensory exclusivity of 88.74% because it refers to a concept exclusively experimented visually. Overall, words had an average modality exclusivity score of 41.31%, which support that our sample of words was experienced in a multimodal way, as it has been demonstrated in previous norming (e.g., Lynott and Connell, 2009, 2013; Winter, 2016; Miklashevsky, 2018; Vergallito et al., 2020). However, our results are conflicting with those observed in the Dutch norms. Indeed, Dutch norms present an average modality exclusivity score slightly higher, with a mean situated at 47% (Speed and Majid, 2017) and 49.7% in a study including a larger panel of words (Speed and Brysbaert, 2020). In particular, Speed and Brysbaert (2020) show that modality exclusivity averages vary according to the category of words. These discrepancies between languages leave open the question of cultural or methodological divergences.

Each word was then assigned to a dominant modality according to its strongest perceptual modality (i.e., the one that received the highest mean rating). Table 4 shows the distribution of words over the five modalities, with their mean ratings and modality exclusivity scores. As observed repeatedly across sensory norms (Lynott and Connell, 2009, 2013; van Dantzig et al., 2011; Speed and Majid, 2017; Miklashevsky, 2018; Chen et al., 2019; Morucci et al., 2019; Speed and Brysbaert, 2020; Vergallito et al., 2020), the vast majority of concepts were visually-dominant and the smallest number was words dominated by olfaction. Indeed, similarly to other languages, olfaction appears to be relatively unimportant for the meaning of these words.

In line with previous norming ratings (Đurđević et al., 2016; Speed and Majid, 2017; Lynott et al., 2019; Speed and Brysbaert, 2020), visual dominant words had the highest modality exclusivity scores (average of 43.05%) and gustatory modality had the lowest (22.57%), indicating that this is the most multimodal sense. Nevertheless, heterogeneous patterns between norming studies have been observed. For example, for Vergallito et al. (2020), olfaction received the highest exclusivity rating whereas it was the lowest for the study of Lynott and Connell (2013).

TABLE 3 | Sample of words from the norms for a range of modality exclusivity (M.E.) score (%), including their ratings of perceptual strength (0–5) across five modalities.

	Visual	Auditory	Haptic	Gustatory	Olfactory	M.E.	Dominant modality
Alcohol	2.78	0.70	1.98	3.04	2.88	20.59	Gustatory
Candle	3.48	0.58	2.30	0.10	2.70	36.90	Visual
Rooster	2.30	2.77	1.02	0.71	0.69	27.82	Auditory
Star	3.44	0.21	0.38	0.04	0.07	82.26	Visual
Mango	2.35	0.46	2.08	2.74	2.25	23.11	Gustatory
Music	2.02	4.30	0.71	0.04	0.13	59.07	Auditory

TABLE 4 | Numbers of words and modality exclusivity (M.E.) scores (as percentage), per dominant modality, with the mean ratings of perceptual strength (0–5) in each modality.

	Dominant modality				
	Visual	Auditory	Haptic	Gustatory	Olfactory
Visual rating	2.61	2.29	2.77	3.12	2.47
Auditory rating	1.05	2.80	1.17	0.69	0.58
Haptic rating	1.76	1.28	2.93	2.51	1.65
Gustatory rating	0.25	0.14	0.70	3.43	1.17
Olfactory rating	0.52	0.55	0.51	2.65	3.23
M.E. scores	43.05%	39.55%	35.93%	22.57%	29.09%
N	217	13	9	30	1

Chen et al. (2019) showed, for their part, the lowest exclusivity rating for the haptic modality. Once again, differences in methodology, such as item selection, may explain these disparities but a cross-linguistic difference cannot be excluded.

Although they are mostly visual, it was noticed that words with a moderate modal exclusivity score also have moderate perceptual strength scores in the other modalities and can, therefore, be characterised as bimodal (e.g., “sponge” was rated 3.28 for visual and 2.80 for haptic, with negligible presence on the other modalities) or multimodal (e.g., “shopping cart” was rated 2.75 for visual, 1.69 for auditory, and 2.72 for haptic with gustatory and olfactory ratings <1).

Furthermore, the words that were dominant for the gustatory modality had the highest perceptual scores, indicating that the gustatory experience should be perceptually distinct from the other modalities, while scores tend to indicate that, even if most frequent, the visual experience would be the least distinct. These results concerning the highest perceptual scores in the gustatory dominant modality are similar to those obtained in Italian (Vergallito et al., 2020), Dutch (Speed and Brysbaert, 2020), and English (Lynott and Connell, 2013). However, it is possible that the methodology used (e.g., word selection procedure) leads to different results. Indeed, depending on the methodology, different results are observed within the same language. For example, in English, the highest perceptual score is visual in one study (Lynott and Connell, 2009; adjectives) but gustatory in the next (Lynott and Connell, 2013; nouns randomly selected). Similarly, in Dutch, the highest perceptual score shifts from

auditory (Speed and Majid, 2017; nouns selected to cover equally all the five modalities) to gustatory (Speed and Brysbaert, 2020; words selected to cover a wide variety of word classes).

The complete norms as well as the appendices may be downloaded from this link https://sharepoint1.umons.ac.be/FR/UNIVERSITE/FACULTES/FPSE/SERVICESEETR/SC_CO/Pages/Appendixes.aspx.

Relationship Between Modalities

Relationships between modalities were then examined through PCA with an orthogonal (Varimax) rotation. We used a Kaiser normalization (Kaiser, 1960), with a criterion cut-off score set at 1. The factor solution obtained gave a KMO = 0.611 and a Chi-square in the Bartlett sphericity test of $\chi^2(10) = 595.40$; $p < 0.001$. The five modalities have been reduced to two factors, jointly explaining 77.80% of the original variance. The first with an eigenvalue of 2.51, accounts for 50.27% of the variance and is composed of visual, haptic, gustatory, and olfactory strengths. The second, with an eigenvalue of 1.38, accounts for 27.53% of the variance and is composed only of auditory perceptual strength. The loadings of the dimensions in the two components are shown in Table 5.

The correlation matrix between different modalities is reported in Table 6. The strongest positive correlations were observed between visual and haptic ratings, and between gustatory and olfactory modality. This pattern is evidenced widely in the literature (Lynott and Connell, 2009, 2013; Speed and Majid, 2017; Chen et al., 2019; Lynott et al., 2019; Morucci et al., 2019; Speed and Brysbaert, 2020; Vergallito et al., 2020), suggesting that these associations are replicated across languages. The strongest positive correlation observed between the visual and haptic ratings indicates that words with a strong visual experience are also concepts that could be manipulated (i.e., many things that can be seen can also be touched). The strong correlation observed between the gustatory and olfactory modality, recalling the evidence that concepts that can be tasted (e.g., food) can also be smelled (Mojet et al., 2005). This is not surprising since taste and smell are integrated within the same neural pathway and share overlapping brain networks (de Araujo, 2003; Delwiche and Heffelfinger, 2005; Rolls, 2008).

Compared to the other modalities, the auditory modality seems to show singular results across languages. Indeed, whereas visual components tend to cluster with haptic as well as olfactory with gustatory, the auditory modality stands apart from the others. For example, in Russian, their factor analysis shows that auditory modality is not part of any factor and the author

TABLE 5 | Component matrix obtained from principal component analysis (PCA) with a Varimax rotation.

	Factors	
	1	2
Visual	0.822	0.386
Haptic	0.824	0.332
Gustatory	0.709	−0.583
Olfactory	0.764	−0.493
Auditory	0.272	0.730

TABLE 6 | Correlation matrix between modalities for mean ratings of perceptual strength.

	Visual	Auditory	Haptic	Gustatory	Olfactory
Visual	–	0.324**	0.809**	0.361**	0.357**
Auditory	–	–	0.313**	0.050	0.133*
Haptic	–	–	–	0.422**	0.423**
Gustatory	–	–	–	–	0.668**

*The Spearman correlation is significant at the 0.05 level.

**The Spearman correlation is significant at the 0.01 level.

concludes that the nature of auditory is unclear and needs further exploration. Likewise, in Mandarin, no clear interaction with the other modalities was found. For our part, the fact that the auditory modality constitutes a factor on its own (see Table 5) seems to confirm that this modality is distinct from the others but requires further investigation.

As can be observed in other languages (e.g., Lynott and Connell, 2013; Speed and Brysbaert, 2020), moderate positive correlations are also observed between haptic-gustatory, haptic-olfactory, visual-gustatory, and visual-olfactory experience, pointing out that things that can be smelled and tasted can also be touched and seen. Interestingly, unlike to the robust pattern observed across different languages and datasets (French: Chedid et al., 2019a; English: Lynott and Connell, 2009; Lynott et al., 2019; Russian: Miklashevsky, 2018; Dutch: Speed and Majid, 2017; Italian: Vergallito et al., 2020), we failed to find any negative correlations on auditory ratings. On the contrary, we observed a positive correlation between auditory-visual and auditory-haptic experiences. Since the 270 words of our study are relatively common, a possible explanation could be that most common concepts for which we have an auditory experience (e.g., the barking dog) can generally be seen and/or touched. This assumption is supported by Chedid et al. (2019a) who suggest that the most common objects (e.g., dog) could be identified through a double visual and auditory association, leading the participants to evaluate it as having a strong perceptual strength. We hypothesize that the differences observed between the French-Canadian norms and our study could be explained by a lower AoA ($M = 5.92$) and a higher concreteness ($M = 4.54$) and books frequency ($M = 31.06$) in the present study, compared to the French-Canadian norms showing instead a higher AoA ($M = 7.21$) and a lower concreteness ($M = 3.97$) and books frequency ($M = 19.25$).

TABLE 7 | Means and SD, minimums, and maximums for psycholinguistic variables for 270 words.

	<i>M</i>	<i>SD</i>	Minimum	Maximum
Lexical variables (from New et al., 2007)				
Books frequency	31.06	62.43	0.00	461.55
Films frequency	29.31	67.86	0.00	470.30
Semantic variables				
Concreteness	4.54	0.79	2.04	5
Imageability	4.63	0.69	2.44	5
Conceptual familiarity	3.11	1.22	1.32	5
Age of acquisition	5.92	2.01	2.44	9.41

Since Sirois et al. (2006) have found differences on some semantic variables between French-Canadian and European French, it seemed relevant to also question the impact of cultural variables. As we share some words in common with the French-Canadian study (Chedid et al., 2019a), we could question whether there are cultural differences in perceptual strength (visual and auditory modality only available) between Canadian French and European French. We computed means and correlational analyses for 163 concepts in common. Significant positive correlations were found ($p < 0.001$) for both visual and auditory modalities. These results suggest that European French speakers rate items in the same way than do French-Canadian subjects. The perceptual strength would, therefore, not seem to be sensitive to a cultural effect.

Relationships Between Perceptual Strength and Semantic Variables

Relationships between the five perceptual strength variables and other semantic psycholinguistic variables that are known to affect word processing were also examined (Connell and Lynott, 2012; Juhasz and Yap, 2013; Bonin et al., 2015; Chedid et al., 2019a). These semantic variables included (1) concreteness, which refers to the degree to which words refer to people, places and things that can be seen, heard, touched, smelled, or tasted (Bonin et al., 2003a); (2) imageability, referring to the ease with which it is possible to form a mental image associated with a word (Bonin et al., 2011); (3) conceptual familiarity, reflecting the degree to which people come in contact with or think about a concept (Bonin et al., 2003b); (4) AoA which is the age at which a word was learned, notably collected by asking participants to estimate, in years, the age at which they learned each word (e.g., Ferrand et al., 2008); and (5) objective words frequency (including films frequency and books frequency) defined by the number of occurrences with which the word is encountered in a language (Alario et al., 2004; Bonin, 2007). Excepted objective words frequency taken from Lexique 3 (New et al., 2007), ratings of these subjective variables were collected through the same online questionnaire Limesurvey from 96 participants (80 women and 16 men), aged 18–50 years old (mean age = 26.73; $SD = 7.80$) with a socio-cultural level of higher education (bachelor's degree;

socio-cultural level = 5.25; SD = 0.77). See **Table 7** for a summary statistic for all variables, including words frequency (from New et al., 2007). From this data, we determined the exact number of concrete and abstract words (see **Table 8**). Ten words with a concreteness rating of less than 3 were judged as abstract (ghost, danger, monster, microbe, vampire, unicorn, war, fever, holiday, and birthday). The following analyses were performed on all words.

Table 9 shows the results of the Spearman correlation analyses conducted between all variables. We found significant and positive correlations ($p < 0.001$) between perceptual strength for each modality and three semantic variables: concreteness, imageability, and conceptual familiarity. These positive correlations indicate that as perceptual strength increased, the values of these semantic variables also increased. This suggests that the more the words are imageable, concrete, and familiar, the higher the perceptual strength is in all modalities. These results extend the data obtained by Chedid et al. (2019a) with the visual and auditory modalities. Miklashevsky (2018) also found positive correlation between imageability and visual, olfactory, gustatory, and haptic modality and suggest that experiences of different nature may contribute to overall imageability of words. For the AoA, we found negative correlations ($p < 0.001$), suggesting that the earlier a word is learned, the stronger its perceptual strength appears. These results are also similar to those obtained by Chedid et al. for the visual modality and by Miklashevsky (2018) for visual, olfactory, and haptic ratings. However, as in Miklashevsky (2018), we failed to observe a correlation between AoA and the auditory modality that can be explained by the fact that the auditory modality distinguishes itself from the others, as seen in **Table 5**.

For the books frequencies, we observe significant positive correlations with all the variables except the gustatory modality. The film frequency also appeared to be significantly correlated with visual and auditory perceptual strength. These results contrast with those obtained with the Sensory Experience

Ratings (Juhász et al., 2011; Juhász and Yap, 2013; Bonin et al., 2015) that showed near null (Bonin et al., 2015) to weak (Juhász et al., 2011) correlations and underline the interest of declining the sensory experience in different modalities as we did. The correlations observed with these semantic variables extend to the five perceptual modalities the initial results made by Chedid et al. (2019a) on the visual and auditory perceptual strength and corroborate the proposition that perceptual strength variables index one aspect of the semantic representations of the words.

It has been shown that visual strength predicts the rate of concreteness and imageability (Connell and Lynott, 2012). Since our words are predominantly visually dominant, we also aimed to test this hypothesis. The results of the linear regression analyses showed that the perceptual strength on all five modalities contributed to the regression model of concreteness ratings ($F_{(5,269)} = 25.36$, $p < 0.001$, $R^2 = 0.324$). More precisely, concreteness can be predicted by a high level of perceptual visual strength ($t = 3.55$; $p < 0.001$) and a high level of haptic strength ($t = 3.50$; $p = 0.001$). Unlike data from Connell and Lynott (2012) who only observed visual effects, the tactile variable also contributed to the prediction of the concreteness rating. This difference can be explained by the fact that the vast majority of our concepts are concrete concepts (see **Table 8**). Therefore, the tactile modality seems to be of great importance. This is corroborated by the study of Speed and Brysbaert (2020) who also observed that visual and haptic rating were the strongest positive predictors for concrete words.

Regarding imageability, only visual perceptual strength contributed to the model ($F_{(5,269)} = 22.73$; $p = 0.001$; $\beta = 0.561$). So, as expected, imageability can be predicted by high level of perceptual strength. These results are consistent with those of Connell and Lynott (2012) and Speed and Brysbaert (2020). Connell and Lynott (2012) noticed that participants tend to rely on visual experience when generating imageability ratings leading other modalities to be neglected or misinterpreted.

TABLE 8 | Mean rating (M) and SD for the five perceptual modality for 270 words divided by category.

	Visual			Auditory		Haptic		Gustatory		Olfactory	
	N	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Abstract	10	1.31	0.69	0.83	0.75	0.51	0.33	0.11	0.13	0.17	0.16
Concrete	260	2.71	0.80	1.10	0.87	1.91	0.98	0.63	1.14	0.79	0.97

TABLE 9 | Correlation values for the five perceptual strength and the psycholinguistic semantic variables.

	Visual	Auditory	Haptic	Gustatory	Olfactory
Imageability	0.632**	0.235**	0.555**	0.282**	0.295**
Familiarity	0.857**	0.370**	0.767**	0.356**	0.313**
Concreteness	0.656**	0.298**	0.739**	0.293**	0.289**
AoA	-0.250**	-0.094	-0.244**	-0.188**	-0.221**
Book frequency	0.333**	0.230**	0.153*	0.102	0.131*
Film frequency	0.265**	0.298**	0.072	0.094	0.115

*The Spearman correlation is significant at the 0.05 level.

**The Spearman correlation is significant at the 0.01 level.

STUDY 2: INTEROCEPTIVE STRENGTH NORMS FOR 270 FRENCH WORDS AND ITS ASSOCIATION WITH CLINICAL VARIABLES

It has been shown that interoceptive information participates in the perceptual grounding of conceptual representations (Connell et al., 2018). Our second study was designed to collect interoceptive strength for the same 270 words of our Study 1. Given the literature highlighting the role of the internal state of the individual in the dysfunctions of depression and anxiety (Paulus and Stein, 2010), we introduced new control variables in this study: the level of anxiety, depression, the interoceptive awareness of participants, and the arousal and the valence of each word. We were interested in observing whether these variables would influence the responses for the interoceptive modality which includes sensing the physiological condition of the body (Craig, 2002), as well as the representation of the internal state (Craig and Craig, 2009).

Materials and Methods

Participants and Procedure

Among the 141 participants of the Study 1, 122 (88 women and 34 men), 18–53 years of age (mean age = 26.22; SD = 7.59; socio-cultural level = 5.29; SD = 0.74) accepted to participate to this Study 2. Inclusion/exclusion criteria and procedure were similar as described in Study 1. Participants that agreed to participate to the entire study entered an online contest for a 200€-gift voucher. The procedure follows the same guidelines than those presented in Study 1. For each concept, participants had to rate on a Likert-like scale ranging from 0 (=not at all) to 5 (=greatly) the extent to which the concept elicit a sensation inside the body (see complete instructions in Appendix D). Sensations refer to the perception of visceral organs (e.g., heart, lungs, and stomach), sensations in the bladder, hunger, thirst, changes of temperature, muscle tensions, pleasure, or pain. Participants were informed that they do not necessarily have to feel all of these sensations at the same time. They were also asked to rate the arousal level of each word on a Likert scale from 0 (*you feel completely calm, lethargic, bored, and/or sleepy*) to 5 (*you feel very stimulated, excited, frantic, and nervous*) as well as the intensity of the valence associated with each word on a scale of −5 (*very negative*) to +5 (*very positive*).

Inventories

The anxiety level of the participants was measured with the State Anxiety Inventory of Spielberger (STAI-Y, Spielberger et al., 1983), and the depression level was evaluated through the Beck Depression Inventory (Beck et al., 1996). These two questionnaires were chosen for the reliability of their psychometric properties, in particular their good internal consistencies. The participants also completed the Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness (MAIA, Mehling et al., 2012). This scale is composed of eight sub-scales: (1) *Noticing*: awareness of uncomfortable, comfortable, and neutral body sensations (four questions); (2) *Not-Distracting*: tendency not to ignore

or distract oneself from sensations of pain or discomfort (three items); (3) *Not-Worrying*: tendency not to worry or experience emotional distress with sensations of pain or discomfort (three items); (4) *Attention Regulation*: ability to sustain and control attention to body sensations (seven items); (5) *Emotional Awareness*: awareness of the connection between body sensations and emotional states (five items); (6) *Self-Regulation*: ability to regulate distress by attention to body sensations (four items); (7) *Body Listening*: active listening to the body for insight; and (8) *Trusting*: experience of one's body as safe and trustworthy (three items). These sub-scales present a high reliability, with Cronbach's alphas between 0.66 and 0.87.

Data Reduction and Analyses

All analyses in this study were conducted on SPSS 21. The significant level was set at $p = 0.05$ throughout the analyses. We carried out the same method as in Study 1 to screen the outliers. The data of 18 participants were discarded after this screening, their ratings being 2.5 SD below the mean of the group on the same list. Thus, the data of 104 participants were included in the statistical analyses.

Results and Discussion

Intra- and Inter-Study Reliability

As detailed in Study 1, we first measured the internal consistency of the ratings by calculating the split-half reliability coefficient. The results show significant corrected Spearman correlations for the interoceptive modality, $\rho = 0.888$, $p < 0.001$, suggesting that the ratings have a good internal consistency reliability. The reliability shown by the Cronbach's alpha for inter-items consistency was also good ($\alpha = 0.991$). Participants also showed high inter-rater reliability for this modality, according to Cronbach's alphas for inter-rater agreement ($\alpha = 0.974$). Results also showed that the reliability for arousal and intensity valence ratings was high, as was shown by the Cronbach's alpha for inter-items consistency (valence intensity: $\alpha = 0.984$; arousal: $\alpha = 0.997$). Participants also showed high inter-rater reliability according to Cronbach's alpha for inter-rater agreement (arousal: $\alpha = 0.950$; valence ratings: $\alpha = 0.990$).

Mean Rating and Modality Exclusivity

The overall mean ratings of interoception, arousal, and valence as well as the average level of anxiety, depression, and interoceptive awareness of participants are presented in the **Table 10**.

Table 11 shows a sample of words used in our study with their profile of ratings across modalities and modality exclusivity scores including interoception as a sensory modality. Wilcoxon test conducted to compare the modal exclusivity score with and without the interoception revealed that the final score is significantly modified when interoception is included in the calculation ($p < 0.001$). For example, the word “spider” which had a modal exclusivity score of 63.33% (visual unimodal tendency with a score of 3.19 for visual strength and 1.36 for tactile strength) with the five sensory modalities become 46.74% (more multimodal with an interoceptive score of 1.76) when we included interoception in the calculation of modal

exclusivity score. This result indicates that interoception contributes to the plurimodality of concepts in agreement with the findings of Connell et al. (2018), suggesting that it is considered as a sixth modality. Since interoception dominates emotional concepts (Connell et al., 2018), we have conducted a complementary analysis to examine whether (1) there is a significant difference between the interoceptive strength of emotional and non-emotional words and (2) whether the modification of plurimodality observed above was different according to the emotionality of the concepts. **Table 12** represents mean for interoceptive strength and modality exclusivity associated with emotional and non-emotional concepts. These were categorised according to the participants' rating of valence; emotional words ($N = 132$) corresponding to those judged negatively (rating between -5 and -2) or positively (rating between $+2$ and $+5$) and non-emotional words ($N = 138$) corresponding to those judged neutral (rating between -1 and $+1$). The Mann Withney analysis conducted on these data revealed a significant difference between emotional and neutral words for the interoceptive rating ($U = 3090.5$; $p < 0.001$), confirming that emotional words have a higher interoceptive value, as suggested by Connell et al. (2018). However, Wilcoxon test conducted to compare the modal exclusivity score with and without the interoception showed that the final score is significantly modified when interoception is included in the calculation whether the words are emotional

($p < 0.001$) or neutral ($p < 0.001$). Thus, although interoception dominates emotional concepts, it contributes to the plurimodality of concepts regardless of their valence. This reinforces its relevance as the sixth perceptual modality in the representation of semantic knowledge.

Relationship Between Modalities

Table 13 shows the distribution of words over the six modalities, with their mean ratings and modality exclusivity scores. As shown in Study 1, a large number of concepts were dominated by the visual modality (79.26%) which was followed by the gustatory one (11.11%). Interoception only dominated 2.22% of concepts but, in terms of relative importance, it also dominated the olfactory and haptic modalities. Qualitative analyses conducted on the interoceptive-dominant words revealed that these concepts were those with the lower scores on the concreteness and the imageability scales (e.g., « danger » and « fever »). Accordingly, regression analyses conducted on this issue showed that the interoceptive strength was significantly predicted by low levels of concreteness ($F_{(1,270)} = 39.46$; $p = 0.001$; $R^2 = 0.128$; $\beta = -0.358$) and by low levels of imageability ($F_{(1,270)} = 11.13$; $p = 0.001$; $R^2 = 0.040$; $\beta = -0.199$). Therefore, these results are in line with a previous study (Connell et al., 2018), showing that concepts that were strongly experienced *via* sensations inside the body tended to be considered as abstract rather than concrete. This pattern of findings suggests that interoceptive strength may capture information of perceptual experience that can hardly be represented by the other modalities. Therefore, as suggested by Connell et al. (2018), interoception offers significant information on concepts that would have otherwise been characterised as lacking of perceptual experience.

In order to quantify the associations between interoceptive information and the modalities, we ran a PCA with a Varimax (orthogonal) rotation. Our selection of factors was based on both a scree plot of eigenvalues and Kaiser's criterion

TABLE 10 | Mean rating (M) for Interoception strength, Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness (MAIA), BDI, State Anxiety Inventory of Spielberger (STAI-Y), arousal, and valence with SD, SE, and 95% CI per scale.

	M	SD	SE	CI 95%
Interoception	0.63	0.62	0.038	0.55
MAIA				
Noticing	3.37	0.767	0.142	3.08
Not-distracting	2.70	0.892	0.166	2.36
Not worrying	2.47	1.08	0.202	2.06
Attention	2.58	0.761	0.141	2.29
regulation				
Emotional	3.27	0.901	0.168	2.92
awareness				
Self-regulation	2.35	1.18	0.219	1.92
Body listening	2.37	1.23	0.228	1.95
Trusting	3.46	1.33	0.247	2.95
STAI-Y	43.55	9.53	1.77	39.93
BDI	11.79	3.69	0.686	10.39
Arousal rating	2.91	0.286	0.053	2.81
Valence rating	5.48	0.551	0.102	5.27

TABLE 11 | Sample of words from the norms for a range modality exclusivity (M.E) score (%), including their ratings of perceptual strength (0–5) across five perceptual modalities and interoceptive modality (0–5).

	V	A	H	G	O	I	M.E	DM
Birthday	2.52	2.55	0.81	0.44	0.31	1.92	26.13	Auditory
Injury	2.49	0.49	2.22	0.32	0.18	2.23	29.12	Visual
Pillow	4.04	1.18	4.08	0.11	1.11	1.34	33.47	Haptic
Smile	4.35	0.60	0.72	0.08	0.09	2.29	52.53	Visual
Thief	1.03	0.42	0.31	0.03	0.11	1.67	41.29	Interoceptive

V, visual; A, auditory; H, haptic; G, gustatory; O, olfactory; I, interoceptive; DM, dominant modality.

TABLE 12 | Mean rating (M) and SD for interoception modality and modality exclusivity (M.E) score (%) including interoception as a sixth modality for 270 words divided by category.

	N	Interoception			M.E.	
		M	SD		M	SD
Emotional	132	0.93	0.66		36.03	12.19
Neutral	138	0.32	0.31		38.65	9.01

TABLE 13 | Numbers of words and M.E. scores (as percentage), per dominant modality, with the mean ratings of perceptual strength (0–5) and interoception (0–5) in each modality.

	Dominant modality					
	Visual	Auditory	Haptic	Gustatory	Olfactory	Interoception
Visual	2.63	2.51	3.01	3.12	2.47	1.05
Auditory	1.05	3.02	1.29	0.69	0.58	0.82
Haptic	1.78	1.44	3.14	2.51	1.65	0.56
Gustatory	0.25	0.16	0.77	3.43	1.17	0.07
Olfactory	0.52	0.63	0.55	2.65	3.23	0.12
Interoception	0.50	1.35	0.80	0.88	1.18	1.82
M.E.	39.95%	32.84%	31.86%	22.11%	25.74%	39.24%
N	214	11	8	30	1	6

(Kaiser, 1960) with the cut-off point set at 1. The factor solution obtained gave a KMO = 0.603, and a Chi-square in the Bartlett sphericity test of $\chi^2(15) = 660.54$; $p < 0.001$, which shows the suitability of the data to perform the PCA. Three components with an eigenvalue greater than 1 were revealed by the PCA and jointly account for 84.90% of the original variance. The first, with an eigenvalue of 2.60, accounts for 43.32% of the variance and is composed by the haptic and visual modalities. The second, with an eigenvalue of 1.39, accounts for 23.09% of the variance and is composed by the gustatory and olfactory modalities. Finally, the third, with an eigenvalue of 1.11, accounts for 18.50% of the variance and is composed by the auditory and interoceptive modalities. The loadings of the dimensions in the three components are shown in **Table 14**. As can be seen in this table, the modalities are evenly distributed between the three factors. Interestingly, results showed strong associations between the visual and the haptic modalities, as between the gustatory and the olfactory ones. However, the auditory and the interoceptive modalities were considered as distinct factors, despite the significant correlations existing between these variables and the other modalities (see **Table 15**).

Inter-correlations of perceptual strength ratings show that interoceptive experience was relatively associated to other modalities. Indeed, interoceptive experience was positively and significantly related to visual ($\rho = 0.225$; $p < 0.001$), auditory ($\rho = 0.184$; $p = 0.002$), gustatory ($\rho = 0.280$; $p < 0.001$), and olfactory ($\rho = 0.274$; $p < 0.001$) strength. However, it was not correlated with the haptic modality ($\rho = 0.083$; $p = 0.171$). Therefore, the sensations felt inside the body seem to correspond to concepts that can also be seen, heard, smelled, and tasted. It can also be assumed that these sensory modalities are also used to build the physical sensations that a concept generates on the body. The correlations observed here are more important than those observed by Connell et al. (2018). A difference also concerns the haptic modality, for which the results were not significant.

Relationships Between Interoceptive Rating and Control Variables

We introduced new control variables: the level of anxiety, depression, the interoceptive awareness of participants, and the arousal and the valence of each word. Indeed, we were interested in observing whether these variables could influence

TABLE 14 | Component matrix obtained from the PCA with a Varimax rotation.

	Factors		
	1	2	3
Visual	0.893	0.208	0.144
Haptic	0.917	0.220	−0.015
Gustatory	0.164	0.909	0.005
Olfactory	0.231	0.889	0.110
Auditory	0.436	−0.293	0.706
Interoceptive	−0.096	0.288	0.876

the responses for the interoceptive modality and whether the average scoring for this modality can be predicted by these variables.

Analyses revealed no significant correlations between the inventories scores and interoceptive strength (all values of $p > 0.05$), with the exception of the MAIA “Trusting” subscale, reflecting confidence in one’s body sensations. These results suggest that the more confidence a person has in their body sensations, the higher the rating of the interoceptive strength is. Finally, regression analyses failed to reveal a significant impact of the level of anxiety, depression, and interoceptive awareness predicted on the mean interoception rating ($F_{(10,94)} = 1.368$; $R^2 = 0.140$; $p = 0.209$).

Spearman’s correlation analyses reveal that valence and arousal ratings were not influenced by participants’ depression and anxiety scores. Regarding interoceptive consciousness, however, we observed a significant negative relationship between “attention regulation” and arousal ($\rho = -0.227$; $p = 0.020$). This suggests that the fewer participants are able to regulate their attention to their body signals for more arousing concepts, the more they strongly “live” the concepts. Results also demonstrated a significant positive relationship between the “not-worrying” scale and concepts valence ($\rho = 0.462$; $p = 0.009$), indicating that the fewer participants worry about their body sensations, the more positively, they will judge the concepts.

In order to determine whether the arousal and valence scores could be predicted by the level of depression, anxiety and interoceptive awareness, we conducted regression analyses. The results were not significant for arousal ($F_{(10,94)} = 1.23$; $R^2 = 0.127$; $p = 0.286$) and valence ($F_{(10,28)} = 0.664$; $p = 0.743$) in predicting the level of anxiety and depression. We also

TABLE 15 | Correlation matrix between modalities for mean ratings of perceptual strength and interoceptive strength.

	Visual	Auditory	Haptic	Gustatory	Olfactory	Interoception
Visual	–	0.324**	0.809**	0.361**	0.357**	0.225**
Auditory	–	–	0.313**	0.050	0.133*	0.184**
Haptic	–	–	–	0.422**	0.423**	0.083
Gustatory	–	–	–	–	0.668**	0.280**
Olfactory	–	–	–	–	–	0.274**

*The Spearman correlation is significant at the 0.05 level.

**The Spearman correlation is significant at the 0.01 level.

observed that interoception score is not predicted by either the arousal or the valence ($F_{(2,31)} = 1.61$; $R^2 = 0.10$; $p = 0.218$). Nevertheless, by dividing the evaluation of emotional and neutral words (see Table 12), we observed that interoceptive strength was significantly predicted by high levels of valence ($F_{(1,104)} = 7.16$; $p = 0.009$; $R^2 = 0.057$; $\beta = 0.258$) and by high levels of arousal ($F_{(1,104)} = 7.74$; $p = 0.006$; $R^2 = 0.061$; $\beta = 0.266$) for emotional words. This is not the case when considering only the evaluation of neutral words ($F_{(2,104)} = 1.14$; $p = 0.323$; $R^2 = 0.003$). Yet again, this highlights the importance of emotional aspects in the interoceptive rating.

GENERAL DISCUSSION

This study provided norms for 270 French words for the five classic sensory modalities as well as the interoceptive modality that is based on the perceptual experience of individuals. Psycholinguistic variables ratings (imageability, concreteness, conceptual familiarity, and AoA) were also provided. These norms are freely available from this link https://sharepoint1.umons.ac.be/FR/UNIVERSITE/FACULTES/FPSE/SERVICESEETR/SC_CO/Pages/Appendixes.aspx.

The associations highlighted between the semantic psycholinguistic variables and the five perceptual variables underline the richness of the conceptual representations. The previous results obtained with the French-Canadian norms of visual and auditory perceptual strength (Chedid et al., 2019a) have been extended to the five sensory modalities and corroborate that perceptual strength indexes one of the aspects of the semantic representation of words. Throughout the different analyses, we observed that there were some discrepancies with the norms of other languages. There may be several avenues to explain them. Firstly, these may be related to the selection of items. Indeed, some studies have selected words in order to fairly cover the five modalities (e.g., Speed and Majid, 2017) while others have made a random selection (e.g., Lynott and Connell, 2013) or a selection by word category (e.g., Miklashevsky, 2018). Differences are also observed within the norms of the same language according to the methodology. For example, while the Franco-Canadian norms showed a negative correlation between auditory and visual modality, we showed the opposite pattern. We hypothesize that these differences observed in our words corpus are related to the selection of words that include particularly common and mostly concrete nouns, whereas Chedid et al. (2019a) include both abstract and concrete nouns

in their corpus. Secondly, as it has already been argued in the literature (e.g., Vergallito et al., 2020), it is very probable that cross-linguistic differences also explain discrepancies between norms. The existence of potential cross-linguistic and cultural differences in itself justifies the need to develop language-specific norms. Likewise, differences observed within a language [e.g., Lynott and Connell (2009, 2013)] encourage the development of norms that cover different categories of words. Conducting a global study using the same words (divided into categories) across different languages would answer the issue of cross-linguistic and/or methodologic differences.

Our study also provides the first French standards for interoceptive information. To the best of our knowledge, our study test for the first time the role of valence, arousal, anxiety, and depression on interoceptive strength. We showed that the ratings provided by the participants were independent of their level of anxiety, depression, and interoceptive conscience. However, high level of arousal and valence rating has predicted interoception strength and it was the case only for emotional words, highlighting the importance of interoception in emotional content (Connell et al., 2018). Interestingly, we have shown that interoception contributes to the multimodality of concepts, whether emotional or not, which strengthens the proposal of Connell et al. (2018) to consider interoception as a sixth modality.

Interoception also has been shown to be positively associated with visual, auditory, taste, and olfactory perceptual strength, but as a distinct factor from these modalities. A simple explanation can be found in the distinction between interoception, referring to internal stimuli, and exteroception, referring to the perception of the environment by sensory modalities (external stimuli; Craig, 2002). Also, interoceptive concepts were the least concrete and imageable concepts. Our corpus being mainly composed of concrete words, this may explain why this variable is distinct because it is known to have more importance for abstract concepts (Connell et al., 2018).

The methodological limitations that can be pointed out in our study concern the limited number of words included. Also, as the perceptual assessment of the modalities was proposed in a fixed order, we cannot exclude an order effect in the ratings. However, as the evaluation was relatively long, the participants generally completed the questionnaires in several days. Therefore, we believe that this possible order effect would be very limited. Notwithstanding this, our study points to the need to develop standards on a larger scale.

Since the important role of perceptual experience in conceptual representation has been widely evidenced throughout

the literature (e.g., Spence et al., 2001; Pecher et al., 2003; González et al., 2006; Marques, 2006; Vermeulen et al., 2007; Kiefer et al., 2008; Fernandino et al., 2016), these norms can serve in the accurate selection of stimuli in linguistic experiments and increase the reliability of the data to better understand how our knowledge is embodied. Future research also could use these norms to investigate the impact of perceptual information in lexical processing. Indeed, the critical role of variables influencing performance can be analysed in tasks such as denomination, lexical, or semantic decision (e.g., Connell and Lynott, 2012, 2014; Lynott et al., 2019; Vergallito et al., 2020). This would provide a better understanding of the key role of perceptual strength in semantics and, more globally, the relationship between perception and the conceptual system.

DATA AVAILABILITY STATEMENT

The original contributions presented in the study are included in the article/Supplementary Material, further inquiries can be directed to the corresponding authors.

ETHICS STATEMENT

The studies involving human participants were reviewed and approved by the Ethical Board of the Faculty of Psychology

and Educational Sciences of the University of Mons. The patients/participants provided their written informed consent to participate in this study.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

AM, EW, and IS have the initial ideas. AM and EW developed the experimental material, collected the data, analyzed the data, and prepared the manuscript. IS, LL, and LR reviewed the final versions of the manuscript. All authors contributed to the article and approved the submitted version.

FUNDING

This study was funded by a program of *Action de Recherche Concertée* financed by the Ministry of the French Community – Directorate General for Non-Compulsory Education and Scientific Research (reference: ARC-19/23 UMONS3).

SUPPLEMENTARY MATERIAL

The Supplementary Material for this article can be found online at: https://sharepoint1.umons.ac.be/FR/UNIVERSITE/FACULTES/FPSE/SERVICESETR/SC_CO/Pages/Appendixes.aspx

REFERENCES

- Alario, F.-X., Ferrand, L., Laganaro, M., New, B., Frauenfelder, U. H., and Segui, J. (2004). Predictors of picture naming speed. *Behav. Res. Methods Instrum. Comput.* 36, 140–155. doi: 10.3758/BF03195559
- Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behav. Brain Sci.* 22, 577–660. doi: 10.1017/S0140525X99002149
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annu. Rev. Psychol.* 59, 617–645. doi: 10.1146/annurev.psych.59.103006.093639
- Beck, A. T., Steer, R. A., and Brown, G. (1996). Beck depression inventory–II. Psychological Assessment.
- Binder, J. R. (2016). In defense of abstract conceptual representations. *Psychon. Bull. Rev.* 23, 1096–1108. doi: 10.3758/s13423-015-0909-1
- Binder, J. R., Westbury, C. F., McKiernan, K. A., Possing, E. T., and Medler, D. A. (2005). Distinct brain systems for processing concrete and abstract concepts. *J. Cogn. Neurosci.* 17, 905–917. doi: 10.1162/0898929054021102
- Bonin, P. (2007). *Psychologie du Langage. Approche Cognitive de la Production Verbale de Mots*. Bruxelles: DeBoeck.
- Bonin, P., Méot, A., Aubert, L.-F., Malardier, N., Niedenthal, P., and Capelle-Toczek, M.-C. (2003a). Normes de concrétude, de valeur d'imagerie, de fréquence subjective et de valence émotionnelle pour 866 mots. *Année Psychol.* 103, 655–694. doi: 10.3406/psy.2003.29658
- Bonin, P., Méot, A., Ferrand, L., and Bugajska, A. (2015). Sensory experience ratings (SERs) for 1,659 French words: relationships with other psycholinguistic variables and visual word recognition. *Behav. Res. Methods* 47, 813–825. doi: 10.3758/s13428-014-0503-x
- Bonin, P., Méot, A., Ferrand, L., and Roux, S. (2011). Imageability: norms and relationships with other psycholinguistic variables. *The Psychological year.* 111, 327–357.
- Bonin, P., Peereman, R., Malardier, N., Méot, A., and Chalard, M. (2003b). A new set of 299 pictures for psycholinguistic studies: French norms for name agreement, image agreement, conceptual familiarity, visual complexity, image variability, age of acquisition, and naming latencies. *Behav. Res. Methods Instrum. Comput.* 35, 158–167. doi: 10.3758/bf03195507
- Chedid, G., Brambati, S. M., Bedetti, C., Rey, A. E., Wilson, M. A., and Vallet, G. T. (2019a). Visual and auditory perceptual strength norms for 3,596 French nouns and their relationship with other psycholinguistic variables. *Behav. Res. Methods* 51, 2094–2105. doi: 10.3758/s13428-019-01254-w
- Chedid, G., Wilson, M. A., Bedetti, C., Rey, A. E., Vallet, G. T., and Brambati, S. M. (2019b). Norms of conceptual familiarity for 3,596 French nouns and their contribution in lexical decision. *Behav. Res. Methods* 51, 2238–2247. doi: 10.3758/s13428-018-1106-8
- Chen, I. H., Zhao, Q., Long, Y., Lu, Q., and Huang, C. R. (2019). Mandarin Chinese modality exclusivity norms. *PLoS One* 14:e0227202. doi: 10.1371/journal.pone.0227202
- Collins, A. M., and Loftus, E. F. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychol. Rev.* 82:407. doi: 10.1037/0033-295X.82.6.407
- Connell, L., and Lynott, D. (2010). Look but don't touch: tactile disadvantage in processing modality-specific words. *Cognition* 115, 1–9. doi: 10.1016/j.cognition.2009.10.005
- Connell, L., and Lynott, D. (2012). Strength of perceptual experience predicts word processing performance better than concreteness or imageability. *Cognition* 125, 452–465. doi: 10.1016/j.cognition.2012.07.010
- Connell, L., and Lynott, D. (2014). Principles of representation: why you can't represent the same concept twice. *Top. Cogn. Sci.* 6, 390–406. doi: 10.1111/tops.12097
- Connell, L., and Lynott, D. (2016). Do we know what we're simulating? Information loss on transferring unconscious perceptual simulation to conscious imagery. *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn.* 42:1218. doi: 10.1037/xlm0000245
- Connell, L., Lynott, D., and Banks, B. (2018). Interoception: the forgotten modality in perceptual grounding of abstract and concrete concepts. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 373:20170143. doi: 10.1098/rstb.2017.0143
- Craig, A. D. (2002). How do you feel? Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Nat. Rev. Neurosci.* 3, 655–666. doi: 10.1038/nrn894
- Craig, A. D., and Craig, A. (2009). How do you feel–now? The anterior insula and human awareness. *Nat. Rev. Neurosci.* 10, 59–70. doi: 10.1038/nrn2555

- Critchley, H. D., and Harrison, N. A. (2013). Visceral influences on brain and behavior. *Neuron* 77, 624–638. doi: 10.1016/j.neuron.2013.02.008
- de Araujo, I., Rolls, E. T., Kringsbach, M. L., McGlone, F., and Phillips, N. (2003). Taste-olfactory convergence, and the representation of the pleasantness of flavour, in the human brain. *Eur. J. Neurosci.* 18, 2059–2068. doi: 10.1046/j.1460-9568.2003.02915.x
- de Groot, A. M. (1989). Representational aspects of word imageability and word frequency as assessed through word association. *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn.* 15:824. doi: 10.1037/0278-7393.15.5.824
- Delwiche, J. F., and Heffelfinger, A. L. (2005). Cross-modal additivity of taste and smell. *J. Sens. Stud.* 20, 512–525. doi: 10.1111/j.1745-459X.2005.00047.x
- Đurđević, D. F., Popović Stijačić, M., and Karapandžić, J. (2016). “A quest for sources of perceptual richness: several candidates,” in *Studies in Language and Mind*. eds. S. Halupka-Rešetar and S. Martínez-Ferreiro (RS, Novi Sad: Faculty of Philosophy in Novi), 187–238.
- Farah, M. J., and McClelland, J. L. (1991). A computational model of semantic memory impairment: modality specificity and emergent category specificity. *J. Exp. Psychol. Gen.* 120:339. doi: 10.1037/0096-3445.120.4.339
- Fernandino, L., Binder, J. R., Desai, R. H., Pendl, S. L., Humphries, C. J., Gross, W. L., et al. (2016). Concept representation reflects multimodal abstraction: a framework for embodied semantics. *Cereb. Cortex* 26, 2018–2034. doi: 10.1093/cercor/bhv020
- Ferrand, L., Bonin, P., Méot, A., Augustinova, M., New, B., Pallier, C., et al. (2008). Age-of-acquisition and subjective frequency estimates for all generally known monosyllabic French words and their relation with other psycholinguistic variables. *Behav. Res. Methods* 40, 1049–1054. doi: 10.3758/BRM.40.4.1049
- Fodor, J. A. (1983). *The Modularity of Mind*. Cambridge: MIT press.
- González, J., Barros-Loscertales, A., Pulvermüller, F., Meseguer, V., Sanjuán, A., Belloch, V., et al. (2006). Reading cinnamon activates olfactory brain regions. *NeuroImage* 32, 906–912. doi: 10.1016/j.neuroimage.2006.03.037
- Hargreaves, I. S., Pexman, P. M., Johnson, J. S., and Zdravilova, L. (2012). Richer concepts are better remembered: number of features effects in free recall. *Front. Hum. Neurosci.* 6:73. doi: 10.3389/fnhum.2012.00073
- Harshaw, C. (2015). Interoceptive dysfunction: toward an integrated framework for understanding somatic and affective disturbance in depression. *Psychol. Bull.* 141:311. doi: 10.1037/a0038101
- Juhász, B. J., and Yap, M. J. (2013). Sensory experience ratings for over 5,000 mono- and disyllabic words. *Behav. Res. Methods* 45, 160–168. doi: 10.3758/s13428-012-0242-9
- Juhász, B. J., Yap, M. J., Dicke, J., Taylor, S. C., and Gullick, M. M. (2011). Tangible words are recognized faster: the grounding of meaning in sensory and perceptual systems. *Q. J. Exp. Psychol.* 64, 1683–1691. doi: 10.1080/17470218.2011.605150
- Kaiser, H. F. (1960). The application of electronic computers to factor analysis. *Educ. Psychol. Meas.* 20, 141–151. doi: 10.1177/001316446002000116
- Khalsa, S. S., and Lapidus, R. C. (2016). Can interoception improve the pragmatic search for biomarkers in psychiatry? *Front. Psychiatry* 7:121.
- Kiefer, M., Sim, E.-J., Herrnberger, B., Grothe, J., and Hoenig, K. (2008). The sound of concepts: four markers for a link between auditory and conceptual brain systems. *J. Neurosci.* 28, 12224–12230. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3579-08.2008
- Kuperman, V., Stadthagen-Gonzalez, H., and Brysbaert, M. (2012). Age-of-acquisition ratings for 30,000 English words. *Behav. Res. Methods* 44, 978–990. doi: 10.3758/s13428-012-0210-4
- Lynott, D., and Connell, L. (2009). Modality exclusivity norms for 423 object properties. *Behav. Res. Methods* 41, 558–564. doi: 10.3758/BRM.41.2.558
- Lynott, D., and Connell, L. (2013). Modality exclusivity norms for 400 nouns: the relationship between perceptual experience and surface word form. *Behav. Res. Methods* 45, 516–526. doi: 10.3758/s13428-012-0267-0
- Lynott, D., Connell, L., Brysbaert, M., Brand, J., and Carney, J. (2019). The Lancaster Sensorimotor Norms: multidimensional measures of perceptual and action strength for 40,000 English words. *Behav. Res. Methods* 52, 1271–1291. doi: 10.3758/s13428-019-01316-z
- Marques, J. F. (2006). Specialization and semantic organization: evidence for multiple semantics linked to sensory modalities. *Mem. Cogn.* 34, 60–67. doi: 10.3758/BF03193386
- Martin, A. (2007). The representation of object concepts in the brain. *Annu. Rev. Psychol.* 58, 25–45. doi: 10.1146/annurev.psych.57.102904.190143
- McRae, K., De Sa, V. R., and Seidenberg, M. S. (1997). On the nature and scope of featural representations of word meaning. *J. Exp. Psychol. Gen.* 126:99. doi: 10.1037/0096-3445.126.2.99
- Mehling, W. E., Price, C., Daubenmier, J. J., Acree, M., Bartmess, E., and Stewart, A. (2012). The multidimensional assessment of interoceptive awareness (MAIA). *PLoS One* 7:e48230. doi: 10.1371/journal.pone.0048230
- Miklashevsky, A. (2018). Perceptual experience norms for 506 Russian nouns: modality rating, spatial localization, manipulability, imageability and other variables. *J. Psycholinguist. Res.* 47, 641–661. doi: 10.1007/s10936-017-9548-1
- Mojet, J., Köster, E., and Prinz, J. (2005). Do tastants have a smell? *Chem. Senses* 30, 9–21. doi: 10.1093/chemse/bjh251
- Morucci, P., Bottini, R., and Crepaldi, D. (2019). Augmented modality exclusivity norms for concrete and abstract Italian property words. *J. Cogn.* 2:42. doi: 10.5334/joc.88
- Murphy, G. L. (2002). *The Big Book of Concepts (A Bradford Book)*. Cambridge: MIT press.
- New, B., Brysbaert, M., Veronis, J., and Pallier, C. (2007). The use of film subtitles to estimate word frequencies. *Appl. Psycholinguist.* 28, 661–677. doi: 10.1017/S014271640707035X
- Newcombe, P. L., Campbell, C., Siakaluk, P. D., and Pexman, P. M. (2012). Effects of emotional and sensorimotor knowledge in semantic processing of concrete and abstract nouns. *Front. Hum. Neurosci.* 6:275. doi: 10.3389/fnhum.2012.00275
- Paivio, A. (1969). Mental imagery in associative learning and memory. *Psychol. Rev.* 76:241. doi: 10.1037/h0027272
- Paivio, A. (1991). Dual coding theory: retrospect and current status. *Can. J. Psychol.* 45, 255–287. doi: 10.1037/h0084295
- Patterson, K., Nestor, P. J., and Rogers, T. T. (2007). Where do you know what you know? The representation of semantic knowledge in the human brain. *Nat. Rev. Neurosci.* 8, 976–987. doi: 10.1038/nrn2277
- Paulus, M. P., and Stein, M. B. (2010). Interception in anxiety and depression. *Brain Struct. Funct.* 214, 451–463. doi: 10.1007/s00429-010-0258-9
- Pecher, D., Zeelenberg, R., and Barsalou, L. W. (2003). Verifying different-modality properties for concepts produces switching costs. *Psychol. Sci.* 14, 119–124. doi: 10.1111/1467-9280.t01-1-01429
- Pexman, P. M. (2019). The role of embodiment in conceptual development. *Lang. Cogn. Neurosci.* 34, 1274–1283. doi: 10.1080/23273798.2017.1303522
- Quillian, M. R. (1967). Word concepts: a theory and simulation of some basic semantic capabilities. *Behav. Sci.* 12, 410–430. doi: 10.1002/bs.3830120511
- Rogers, T. T., Hocking, J., Noppeney, U., Mechelli, A., Gorno-Tempini, M. L., Patterson, K., et al. (2006). Anterior temporal cortex and semantic memory: reconciling findings from neuropsychology and functional imaging. *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.* 6, 201–213. doi: 10.3758/CABN.6.3.201
- Rolls, E. (2008). Functions of the orbitofrontal and pregenual cingulate cortex in taste, olfaction, appetite and emotion. *Acta Physiol. Hung.* 95, 131–164. doi: 10.1556/APhysiol.95.2008.2.1
- Rubin, D. C. (1980). 51 properties of 125 words: a unit analysis of verbal behavior. *J. Verbal Learn. Verbal Behav.* 19, 736–755. doi: 10.1016/S0022-5371(80)90415-6
- Schandry, R. (1981). Heart beat perception and emotional experience. *Psychophysiology* 18, 483–488. doi: 10.1111/j.1469-8986.1981.tb02486.x
- Simmons, W. K., Ramjee, V., Beauchamp, M. S., McRae, K., Martin, A., and Barsalou, L. W. (2007). A common neural substrate for perceiving and knowing about color. *Neuropsychologia* 45, 2802–2810. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2007.05.002
- Sirois, M., Kremin, H., and Cohen, H. (2006). Picture-naming norms for Canadian French: Name agreement, familiarity, visual complexity, and age of acquisition. *Behav. Res. Methods* 38, 300–306. doi: 10.3758/BF03192781
- Speed, L. J., and Brysbaert, M. (2020). Dutch Sensory Modality Norms. PsyArXiv [Preprint]. doi: 10.31234/osf.io/zv6pn
- Speed, L. J., and Majid, A. (2017). Dutch modality exclusivity norms: simulating perceptual modality in space. *Behav. Res. Methods* 49, 2204–2218. doi: 10.3758/s13428-017-0852-3
- Spence, C., Shore, D. I., and Klein, R. M. (2001). Multisensory prior entry. *J. Exp. Psychol. Gen.* 130, 799–832. doi: 10.1037/0096-3445.130.4.799
- Spielberger, C. D., Gorsuch, R. L., Lushene, R., Vagg, P. R., and Jacobs, G. A. (1983). *Manual for the State-Trait Anxiety Inventory*. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press, Inc.

- Thompson-Schill, S. L. (2003). Neuroimaging studies of semantic memory: inferring “how” from “where”. *Neuropsychologia* 41, 280–292. doi: 10.1016/S0028-3932(02)00161-6
- Turatto, M., Galfano, G., Bridgeman, B., and Umiltà, C. (2004). Space-independent modality-driven attentional capture in auditory, tactile and visual systems. *Exp. Brain Res.* 155, 301–310. doi: 10.1007/s00221-003-1724-x
- Tyler, L. K., and Moss, H. E. (2001). Towards a distributed account of conceptual knowledge. *Trends Cogn. Sci.* 5, 244–252. doi: 10.1016/S1364-6613(00)01651-X
- Van Dantzig, S., Pecher, D., Zeelenberg, R., and Barsalou, L. W. (2008). Perceptual processing affects conceptual processing. *Cogn. Sci.* 32, 579–590. doi: 10.1080/03640210802035365
- van Dantzig, S., Cowell, R. A., Zeelenberg, R., and Pecher, D. (2011). A sharp image or a sharp knife: Norms for the modality-exclusivity of 774 concept-property items. *Behav. Res. Methods* 43, 145–154.
- Vergallito, A., Petilli, M. A., and Marelli, M. (2020). Perceptual modality norms for 1,121 Italian words: A comparison with concreteness and imageability scores and an analysis of their impact in word processing tasks. *Behav. Res. Methods* 52, 1599–1616. doi: 10.3758/s13428-019-01337-8
- Vermeulen, N., Niedenthal, P. M., and Luminet, O. (2007). Switching between sensory and affective systems incurs processing costs. *Cogn. Sci.* 31, 183–192. doi: 10.1080/03640210709336990
- Vigliocco, G., Vinson, D. P., Lewis, W., and Garrett, M. F. (2004). Representing the meanings of object and action words: the featural and unitary semantic space hypothesis. *Cogn. Psychol.* 48, 422–488. doi: 10.1016/j.cogpsych.2003.09.001
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychon. Bull. Rev.* 9, 625–636. doi: 10.3758/BF03196322
- Winter, B. (2016). Taste and smell words form an affectively loaded and emotionally flexible part of the English lexicon. *Lang. Cogn. Neurosci.* 31, 975–988. doi: 10.1080/23273798.2016.1193619
- Yap, M. J., Pexman, P. M., Wellsby, M., Hargreaves, I. S., and Huff, M. (2012). An abundance of riches: cross-task comparisons of semantic richness effects in visual word recognition. *Front. Hum. Neurosci.* 6:72. doi: 10.3389/fnhum.2012.00072

Conflict of Interest: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright © 2021 Miceli, Wauthia, Lefebvre, Ris and Simoes Loureiro. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

Appendices – French version

Appendix A. Instructions for ratings for perceptual strength

Vous êtes invité à estimer l'expérience perceptuelle (c'est-à-dire sensorielle) que vous avez avec un concept (représenté par un mot). Cette expérience perceptuelle, basée sur différentes modalités sensorielles (visuelle, auditive, olfactive, gustative, tactile), fait partie de nos connaissances. Chacun a vécu différemment son expérience sensorielle vis-à-vis des concepts, des objets, des choses.

Lisez les mots suivants et considérez chacun selon le niveau d'expérience sensorielle qu'il évoque pour vous. Par expérience sensorielle, nous voulons dire une sensation réelle (goût, toucher, vue, son ou odeur) que vous avez expérimentée.

Par exemple, vous pourriez avoir expérimenté une « orange » en la voyant, en la sentant, en la touchant ou en la goûtant et le niveau de chaque modalité peut être variable selon votre propre expérience.

Le mot « orange » pourrait avoir une force perceptuelle visuelle très forte, car vous voyez très souvent des oranges (la corbeille à fruits en est toujours remplie), par contre vous en mangez très rarement donc la force perceptuelle gustative sera jugée très faible.

Le mot « chien » pourrait avoir une force perceptuelle auditive forte parce que vous avez souvent entendu le chien du voisin aboyer. Par contre, vous n'avez jamais possédé de chien et en avez touché peu au cours de votre existence, la force perceptuelle tactile sera jugée faible.

Le mot « fromage » pourrait avoir une force perceptuelle olfactive forte parce que vous avez toujours du fromage fort dans votre frigo et sentez l'odeur à chaque fois que vous l'ouvrez. Par contre, la force perceptuelle olfactive sera jugée faible si vous ne mangez jamais de fromage.

Vos évaluations seront faites à l'aide d'une échelle de 0 à 5.

Un score de 0 ou 1 indique une expérience sensorielle nulle ou faible et un score de 4 ou 5 indique une expérience sensorielle forte ou très forte. Des valeurs de 2 à 4 indiquent des scores intermédiaires.

N'hésitez pas à utiliser toutes les possibilités de scores lors de vos différentes évaluations.

Évaluez chacune des modalités et chacun des concepts indépendamment.

Essayez d'être aussi précis que possible, mais ne passez pas trop de temps sur un seul mot. Il n'y a pas de bonnes ou mauvaises réponses. Nous sommes intéressés par votre propre jugement.

Exemple de sous-question pour la modalité visuelle :

Nous allons vous demander d'évaluer à quel point les concepts suivants sont associés, selon vous, à une **expérience sensorielle visuelle**.

Pour chaque mot présenté ci-dessous, veuillez indiquer, en cochant la case correspondante, la réponse qui vous convient le mieux.

Pour rappel:

0 ou 1 = Expérience visuelle nulle ou faible

2 à 3 = Expérience visuelle intermédiaire

4 ou 5 = Expérience visuelle forte ou très forte

Appendix B. Screenshot of the experiment page

	0 - Expérience visuelle nulle	1	2	3	4	5 - Expérience visuelle très forte
Cadenas	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Cheval	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Ceinture	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Fraise	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Fête	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Coq	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Doigt	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Chaise	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Circuit	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Fourmi	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Cochon	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Carton	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Coquillage	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Cœur	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Fer à repasser	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Bougie	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Bol	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Banane	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Appendix C. Instructions for ratings for semantic variables

Imageabilité:

Nous vous demandons d'indiquer, pour chaque mot présenté dans le tableau ci-dessous, la facilité avec laquelle elle provoque une image mentale. Pour chaque concept, veuillez indiquer un score situé entre 1 (très difficilement) et 5 (très facilement).

Les mots diffèrent tous quant à leur capacité à évoquer des images mentales. Un mot, qui selon votre estimation, provoque une image mentale, c'est-à-dire une représentation visuelle, imagée ou un son ou une autre expérience sensorielle, très rapidement et facilement, doit normalement obtenir un score d'imagerie élevé. Un mot qui génère une image mentale avec difficulté ou pas du tout, doit normalement avoir un score d'imagerie faible.

Le mot "table", par exemple, provoquera très facilement une image mentale et obtiendra alors un score élevé. Le mot "espoir", quant à lui, évoquera une image mentale avec davantage de difficultés et recevra donc une note très faible. D'autres mots pourront recevoir un score intermédiaire, situé entre 2 et 4.

Concrétude:

Nous vous demandons d'indiquer le degré avec lequel les mots présentés dans le tableau ci-dessous renvoient à des concepts concrets.

En d'autres termes, nous vous demandons d'indiquer, en cochant la case du tableau correspondante, le degré avec lequel les mots présentés réfèrent à des objets, des personnes, des lieux ou des choses qui peuvent être vues, entendues, goûtées et/ou touchées.

Une note de 5 indiquera que le mot réfère à un concept très concret tandis qu'une note de 1 indiquera que le concept réfère, au contraire, à un concept très abstrait.

Familiarité conceptuelle:

A quel point ce concept est-il familier pour vous ? C'est-à-dire à quel point vous le rencontrez dans la vie de tous les jours ou vous y pensez ?

Pour chaque mot, donnez une note entre 1 (très peu familier) et 5 (très familier) en cochant la case du tableau correspondante.

Par exemple : Un téléphone est un objet très familier, j'en vois tous les jours. Un stéthoscope est un objet moins familier car je le vois plus rarement. Un satellite est un objet très peu familier si je n'en vois jamais et que je n'y pense pas quotidiennement.

Age d'acquisition:

Pour chaque mot du tableau ci-dessous, veuillez indiquer, en cochant la case correspondante, l'âge auquel vous pensez avoir acquis ce mot.

Par exemple, le mot « papa » est en général acquis tôt, vous pouvez alors cocher "entre 0 et 3 ans", alors que le mot « hypothèse » est en général acquis plus tard, vous pouvez alors cocher "après 13 ans".

Appendix D. Instructions for interoception

Vous êtes invité à estimer l'expérience corporelle que vous ressentez à l'évocation de différents concepts. Chaque personne éprouve des sensations corporelles différentes, en fonction de l'expérience sensorielle qu'il fait d'un concept, en fonction de son histoire ou en fonction de ses connaissances.

Plus précisément, lors de la présentation des différents concepts qui vont suivre, nous vous demanderons d'estimer à quel point celui-ci provoque en vous une ou plusieurs des sensations suivantes :

- Une modification de votre rythme cardiaque (accélération ou ralentissement)
- Une modification de votre respiration
- Des sensations au niveau de votre estomac ou de vos intestins (estomac noué, papillons dans le ventre, maux de ventre)
- Une modification de votre température corporelle
- Une tension ou un relâchement musculaire
- De la douleur
- Du plaisir corporel

Il n'est évidemment pas possible de ressentir toutes les sensations en même temps.

Un mot comme « faim » peut provoquer en vous des sensations au niveau de l'estomac alors que le mot « jogging » peut, quant à lui, plutôt générer une accélération au niveau de votre rythme cardiaque ou encore une modification de votre respiration et de votre température. Dans le cas où les concepts proposés provoqueront, chez vous, de fortes sensations corporelles, vous cochez la case qui correspond à la note la plus élevée c'est-à-dire le 5. Si ces concepts provoquent, par contre, des sensations plutôt moyennes, vous cochez, en fonction de votre ressenti, l'une des cases situées entre 2 et 4.

Le mot "idée", en revanche, pourrait ne provoquer aucune réaction. Dès lors, dans le cas où les concepts n'évoqueraient aucune sensation particulière, il vous sera demandé de cocher la case qui correspond à la note la plus faible, c'est-à-dire le 0.

Avant de commencer :

Évaluez chacun des mots indépendamment. Essayez d'être précis dans votre évaluation, mais sans vous attarder exagérément sur chaque mot.

Appendices – English version

Appendix A. Instructions for ratings for perceptual strength

You are invited to estimate the perceptual (i.e. sensory) experience you have with a concept (represented by a word). This perceptual experience, based on different sensory modalities (visual, auditory, olfactory, gustatory, tactile), is part of our knowledge. Everyone has a different sensory experience of concepts, objects and things.

Read the following words and consider each according to the level of sensory experience it evokes for you. By sensory experience we mean an actual sensation (taste, touch, sight, sound or smell) that you have experienced.

For example, you may have experienced an "orange" by seeing it, smelling it, touching it or tasting it and the level of each modality may vary according to your own experience.

The word "orange" might have a very strong visual perceptual strength, because you see oranges very often (the fruit basket is always full of them), but you rarely eat them, so the gustatory perceptual strength will be judged to be very low.

The word "dog" could have a strong auditory perceptual strength because you have often heard the neighbour's dog barking. On the other hand, if you have never had a dog and have touched few dogs in your life, the tactile perceptual strength will be considered low.

The word "cheese" might have a strong olfactory perceptual strength because you always have strong cheese in your fridge and smell it every time you open it. On the other hand, the olfactory perceptual strength will be considered weak if you never eat cheese.

Your ratings will be made using a scale of 0 to 5.

A score of 0 or 1 indicates no or little sensory experience and a score of 4 or 5 indicates strong or very strong sensory experience. Values from 2 to 4 indicate intermediate scores.

Feel free to use all the scoring possibilities in your different ratings.

Evaluate each of the modalities and concepts independently.

Try to be as accurate as possible, but do not spend too much time on one word. There are no right or wrong answers. We are interested in your own judgement.

Example of a sub-question for the visual modality:

We are going to ask you to rate how much the following concepts are associated, in your opinion, with a visual sensory experience.

For each word presented below, please indicate, by ticking the corresponding case, the answer that best suits you.

As a reminder:

0 or 1 = No or little visual experience

2 to 3 = Intermediate visual experience
 4 or 5 = Strong or very strong visual experience

Appendix B. Screenshot of the experiment page

	0 - Expérience visuelle nulle	1	2	3	4	5 - Expérience visuelle très forte
Cadenas	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Cheval	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Ceinture	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Fraise	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Fête	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Coq	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Doigt	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Chaise	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Circuit	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Fourmi	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Cochon	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Carton	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Coquillage	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Cœur	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Fer à repasser	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Bougie	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Bol	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Banane	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Appendix C. Instructions for ratings for semantic variables

Imageability:

We ask you to indicate, for each word presented in the table below, the ease with which it provokes a mental image. For each concept, please indicate a score between 1 (very difficult) and 5 (very easy).

The words all differ in their ability to evoke mental images. A word that, in your estimation, evokes a mental image, i.e. a visual, pictorial or sound representation or other sensory experience, very quickly and easily, should normally get a high imagery score. A word that generates a mental image with difficulty or not at all should normally have a low imagery score.

The word "table", for example, will generate a mental image very easily and will therefore get a high score. The word "hope", on the other hand, will evoke a mental image with more difficulty and will therefore receive a very low score. Other words may receive an intermediate score, between 2 and 4.

Concreteness:

We ask you to indicate the degree to which the words presented in the table below refer to concrete concepts.

In other words, we ask you to indicate, by ticking the corresponding case in the table, the degree to which the words presented refer to objects, people, places or things that can be seen, heard, tasted and/or touched.

A score of 5 will indicate that the word refers to a very concrete concept, while a score of 1 will indicate that the concept refers to a very abstract concept.

Conceptual familiarity:

How familiar is this concept to you? That is, how much do you encounter it in everyday life or think about it?

For each word, give a score between 1 (very unfamiliar) and 5 (very familiar) by ticking the corresponding case in the table.

For example: A telephone is a very familiar object, I see them every day. A stethoscope is a less familiar object because I see it more rarely. A satellite is a very unfamiliar object if I never see it and do not think about it every day.

Age of acquisition:

For each word in the table below, please indicate the age at which you think you have acquired that word by ticking the appropriate case.

For example, the word "dad" is usually acquired early, so you can tick "between 0 and 3 years", whereas the word "assumption" is usually acquired later, so you can tick "after 13 years".

Appendix D. Instructions for interoception

You are invited to estimate the bodily experience you have for different concepts. Each person has different body sensations, depending on their sensory experience of a concept, on their history or on their knowledge.

More specifically, when presenting the different concepts that follow, we will ask you to estimate the extent to which this one provokes one or more of the following sensations in you:

- A change in your heart rate (faster or slower)
- A change in your breathing
- Sensations in your stomach or intestines (stomach knots, butterflies in the stomach, stomach ache)
- A change in your body temperature
- Muscle tension or relaxation
- Pain
- Bodily pleasure

It is obviously not possible to feel all the sensations at the same time.

A word like "hunger" might make you feel hungry, while the word "jogging" might make your heart beat faster or change your breathing and temperature. If the proposed concepts provoke strong bodily sensations in you, you should mark the case corresponding to the highest score, i.e. 5. If, on the other hand, these concepts provoke rather moderate sensations, you should tick one of the cases situated between 2 and 4, depending on your feelings.

The word "idea", on the other hand, may not provoke any reaction. Therefore, if the concepts do not evoke any particular sensation, you will be asked to tick the case corresponding to the lowest score, i.e. 0.

Before you start:

Evaluate each word independently. Try to be precise in your assessment, but do not dwell too much on each word.

ETUDE 2

Etude 2 : Etude des différences liées à l'âge dans l'évaluation de la force perceptuelle et de l'interaction corps-objet

Miceli, A., Wauthia, E., Lefebvre, L., Vallet, G., Ris, L., & Simoes Loureiro, I. (2022). Differences related to aging in sensorimotor knowledge: Investigation of perceptual strength and body-object interaction. *Archive of Gerontology and Geriatrics*, 102, 104715. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2022.104715>

Résumé

Les approches incarnées postulent que les connaissances et les représentations conceptuelles sont ancrées dans l'action et la perception. Afin d'étudier l'implication des informations sensorimotrices dans le traitement conceptuel et cognitif, les chercheurs ont collecté diverses normes auprès de jeunes adultes. Par exemple, la force perceptuelle (FP) évalue l'expérience perceptuelle (i.e., visuelle, auditive, haptique, gustative, olfactive) associée à un concept, tandis que l'interaction corps-objet (ICO) évalue la facilité avec laquelle le corps humain peut interagir avec le référent d'un mot. L'importance de l'ICO et de la FP dans la composition multimodale des mots est aujourd'hui largement reconnue. Toutefois, compte tenu du développement sensorimoteur de l'individu de l'enfance jusqu'à la fin de la vie, il est probable que différentes périodes d'âge soient associées à une expérience perceptuelle et à une capacité d'interaction avec les objets différentes. L'objectif de cette recherche est d'étudier l'effet de l'âge sur la FP et l'ICO en comparant l'évaluation de 270 mots de la langue française réalisée par des adultes jeunes et âgés sains. Les résultats ont montré que les adultes âgés présentaient des scores de FP similaires, voire même plus élevés, que les jeunes adultes pour certaines modalités (gustative et olfactive) alors que les scores d'ICO diminuaient. Outre l'importance d'ajuster les stimuli verbaux utilisés dans les études sur le vieillissement pour examiner les représentations multimodales, nos résultats nous amènent à discuter la question de l'évolution des représentations sensorimotrices avec l'âge.



Contents lists available at ScienceDirect

Archives of Gerontology and Geriatrics

journal homepage: www.elsevier.com/locate/archger

Differences related to aging in sensorimotor knowledge: Investigation of perceptual strength and body object interaction

A. Miceli^{a,b,c,*}, E. Wauthia^{a,b,c}, L. Lefebvre^{a,b,c}, G.T. Vallet^e, L. Ris^{b,c,d}, I. Simoes Loureiro^{a,b,c}^a Department of Cognitive Psychology and Neuropsychology, Faculty of Psychology and Educational Science, University of Mons, Mons, Belgium^b Research Institute for Health Sciences and Technologies, University of Mons, Mons, Belgium^c Interdisciplinary Research Centre for Psychophysiology and Cognitive Electrophysiology, University of Mons, Mons, Belgium^d Department of Neurosciences, Faculty of Medicine and Pharmacy, University of Mons, Mons, Belgium^e Social and Cognitive Psychology Laboratory (UMR CNRS 6024), University of Clermont Auvergne, Clermont-Ferrand, France

ARTICLE INFO

Keywords:

Aging
Perceptual strength
Body-object interaction
Conceptual representation
Embodiment

ABSTRACT

Embodied approach postulates that knowledge and conceptual representations are grounded in action and perception. In order to investigate the involvement of sensorimotor information in conceptual and cognitive processing, researchers have collected various norms in young adults. For instance, the perceptual strength (PS) assesses perceptual experience (i.e. visual, auditory, haptic, gustatory, olfactory) associated with a concept and the body-object-interaction (BOI) assesses the ease with which a human body can interact with the referent of a word. The importance of both BOI and PS in the multimodal composition of word meaning is today well recognized. However, given the sensorimotor development of the individual from childhood to later life, it is likely that different age periods are associated with different perceptual experience and capacity to interact with objects. The purpose of this research is to investigate exploratory the effect of age on PS and BOI by comparing the evaluation of 270 French language words by young adults and healthy older people. The results showed that older adults presented similar or even higher PS for some modalities (e.g. gustatory and olfactory) and in particular for certain categories of words, while the BOI decreases. In addition to the importance of adjusting the verbal stimuli used in aging studies when dealing with multimodal representations, our results will lead us to discuss the evolution of sensorimotor representations with age.

1. Introduction

During their development, human beings acquire knowledge about the world and the objects that surround them. This experience occurs through a number of modalities which may be sensory (i.e. vision, smell, taste, touch, hearing), motor (via the functional aspect and the use of objects), linguistic (via verbal experience) or associated with emotional content. Each of these modalities contributes to enrich our multimodal conceptual representations (Dilkina & Lambon Ralph, 2013; Dove, 2011; Reilly, Peelle, Garcia & Crutch, 2016; Vigliocco, Meteyard, Andrews & Koutsta, 2009). This view of concepts grounded in different modalities is illustrated in the literature by considerable research within the theoretical framework of embodied cognition (Barsalou, 1999, 2008; Buccino, Colagè, Gobbi & Bonaccorso, 2016; Wilson, 2002) and is opposed to the theory of semantics which proposes a complete independence between semantic and sensorimotor systems (Collins & Loftus, 1975 ;

Fodor, 1987; Levelt, 1993). There is now growing and undeniable empirical behavioural and neurophysiological evidence of strong interactions between these systems (for reviews see Binder, 2016; Martin, 2007; Meteyard & Vigliocco, 2008; Meteyard, Cuadrado, Bahrami & Vigliocco, 2012; Patterson, Nestor & Rogers, 2007; Thompson-Schill, 2003).

Researchers have developed materials that measure the sensorimotor basis of word meaning in order to investigate the involvement of sensorimotor information in conceptual and cognitive processing. Many norms have therefore been created to capture the relevant dimensions of sensorimotor knowledge (e.g. Bonin, Méot, Ferrand & Bugaïska, 2015; Fernandino et al., 2016; Juhasz & Yap, 2013). Of particular relevance to the present work are studies that collect norms of Perceptual Strength (PS) in order to capture sensory dimensions of semantics (e.g. Lynott & Connell, 2009; Miceli et al., 2021; Morucci, Bottini & Crepaldi, 2019) and body-object interaction (BOI) in order to capture

* Corresponding author at: Place du Parc, 18, 7000 Mons.
E-mail address: Aurelie.miceli@umons.ac.be (A. Miceli).

<https://doi.org/10.1016/j.archger.2022.104715>

Received 8 March 2022; Received in revised form 27 April 2022; Accepted 4 May 2022

Available online 7 May 2022

0167-4943/© 2022 Published by Elsevier B.V.

the motor dimension of semantics (Bennett, Burnett, Siakaluk & Pexman, 2011; Pexman, Muraki, Sidhu, Siakaluk & Yap, 2019; Tillotson, Siakaluk & Pexman, 2008). The PS variable represents the extent to which a word can be experienced by separate sensory modalities and is obtained by asking participants to rate the extent to which they experience a word in each of the five sensory modalities on a scale of 0 (not experienced at all) to 5 (highly experienced). It was first collected by Lynott and Connell (2009) in English before being developed in other languages and in different word categories (e.g. Dutch: Speed & Majid, 2017; Mandarin: Chen, Zhao, Long, Lu & Huang, 2019; French: Miceli et al., 2021; Russian: Miklashevsky, 2018). In the same view, the BOI is a measure evaluating the ease with which a human body can physically interact with a word's referent on a Likert scale (Tillotson et al., 2008). Numerous studies carried out in young adults highlight the importance of both BOI and PS in the multimodal composition of word meaning. Their role has been shown in predicting performance in various conceptual tasks. For instance, the modality-switching cost paradigm shows that checking a property in one modality (e.g. auditory: *rustle* for "leaf") will take less time after having checked another property in the same modality (e.g. *noise* for "mixer") than in another modality (e.g. visual: *green* for grass) showing the re-allocation of attention from one modality-specific system to another (e.g. Pecher, Zeelenberg & Barsalou, 2003; Van Dantzig, Pecher, Zeelenberg & Barsalou, 2008; Vermeulen, Niedenthal & Luminet, 2007). Studies have also demonstrated that the performance in lexical and naming decision tasks can be predicted by PS (e.g. Connell & Lynott, 2012, 2014; Lynott, Connell, Brysbaert, Brand & Carney, 2019). It has also been shown that words with a high BOI (e.g. belt) are faster and more accurately processed than words with a low BOI (e.g. ship) in lexical decision tasks (e.g. Tillotson et al., 2008; Van Havermaet & Wurm, 2014), phonological decision tasks (e.g. Siakaluk et al., 2008) and in several variants of semantic categorization tasks (e.g. Bennett et al., 2011; Hansen, Siakaluk & Pexman, 2012; Ian Scott Hargreaves et al., 2012; Siakaluk, Pexman, Aguilera, Owen & Sears, 2008; Yap, Pexman, Wellsby, Hargreaves & Huff, 2012). Although some studies have shown no effect of BOI (e.g. Hargreaves & Pexman, 2014; Taikh, Hargreaves, Yap & Pexman, 2015), its facilitating effect has also been shown in sentence reading (Xue, Marmolejo-Ramos & Pei, 2015), printed word naming (Wellsby & Pexman, 2014) and auditory word naming (Inkster, Wellsby, Lloyd & Pexman, 2016). Data from the literature also showed that BOI and PS variables are strongly correlated with other semantic variables (i.e. concreteness, imageability, age of acquisition) that are known to affect word processing (Chedid et al., 2019; Juhasz & Yap, 2013; Miceli et al., 2021; Miklashevsky, 2018; Pexman et al., 2019). Taken together, these studies are particularly relevant for appreciating the richness of conceptual representations and understanding how our knowledge is grounded.

Currently, these norms have only been collected in the young adult population and investigations are gradually being extended to children for the BOI (Inkster et al., 2016; Wellsby & Pexman, 2014). To our knowledge, no study has collected these data in the older adult population. In fact, very few studies investigate the potential effects of aging on the relationship between the sensorimotor and conceptual systems (see Boutet, Dawod, Chiasson, Brown & Collin, 2019; Greene & Naveh-Benjamin, 2020; Korkki, Richter, Jeyarathnarajah & Simons, 2020; Vallet et al., 2017; Vallet, Hudon, Simard & Versace, 2013). Before considering these investigations in aging using the PS and the BOI variables, it seems important to have appropriate norms available for the reference population. Indeed, it is commonly accepted that representations change dynamically with our experiences, current goals and available resources (Barsalou, 1999, 2008; Connell & Lynott, 2014; Glenberg, 1997; Glenberg & Robertson, 2000; Lynott & Connell, 2010; Vigliocco et al., 2009; Wilson, 2002). Concepts are therefore subject to constant change across the lifespan (Connell & Lynott, 2014) and it is likely that the sensory and motor experience associated with these concepts changes with age (see Vallet, 2015). Connell and Lynott (2014) consider that « because concepts alter with the accumulation of direct

and vicarious experience, and with the act of retrieval itself, the representations that draw on such conceptual content are also inevitably mutable » (Connell & Lynott, 2014 p.399). Much evidence in the literature points to individual experiences as determining our semantic knowledge (e.g. Beilock, Lyons, Mattarella-Micke, Nusbaum & Small, 2008; Chrysikou, Casasanto & Thompson-Schill, 2017; Fourkas, Bonavolontà, Avenanti & Aglioti, 2008; Holt & Beilock, 2006; Kiefer, Sim, Liebich, Hauk & Tanaka, 2007; Lyons et al., 2010). These studies mainly investigated knowledge related to a specific expertise. For example, it has been shown that ice hockey players showed greater activation of the left premotor cortex for sentences referring to hockey-related actions, compared to non-players, whereas these differences were not present for everyday actions for which they had the same level of experience (Lyons et al., 2010). Because of their life experience, older adults are a privileged population to investigate the evolution of semantic knowledge. Indeed, it is widely accepted that semantic knowledge is higher in older persons (e.g. Arbuckle, Cooney, Milne & Melchior, 1994; Bahrick, 1984; Bowles & Poon, 1985; Brysbaert, Stevens, Mander & Keuleers, 2016; Burke & Peters, 1986; Mitchell, 1989; Perlmutter, 1978). As a matter of fact, older adults' general knowledge continues to increase with age, often reflected by higher language performance in comparison to young adults (e.g. Verhaeghen, 2003; Verhaeghen & Salthouse, 1997). It has also been established that the accumulation of prior knowledge (i.e. facts, habits, routines, schemas) has an impact on cognitive functioning across the lifespan (Spreng & Turner, 2019). For instance, older adults are able to use their prior knowledge to their benefit in many situations such as, in decision-making and problem solving (e.g. Agarwal, Driscoll, Gabaix & Laibson, 2009; Li, Baldassi, Johnson & Weber, 2013). Moreover, reorganizations of neural networks supporting semantic cognition have been extensively demonstrated with aging and support the implication of lifetime experience (e.g. Davis, Dennis, Daselaar, Fleck & Cabeza, 2008; Grady et al., 1994; Persson, Lustig, Nelson & Reuter-Lorenz, 2007; Pistono et al., 2020; Spreng & Turner, 2019; Spreng, Wojtowicz & Grady, 2010; voir Hoffman & Morcom, 2018 pour une méta-analyse). Recently, Vignando et al. (2018) were particularly interested in the importance of our life experiences on the organization of semantic knowledge in elders by investigating participants' dietary habits. They showed, in centenarians, better performance in recognition tasks of natural food (e.g. apple) compared to processed food (e.g. hamburger) suggesting that these effects are related to their experience, given their acquired eating habits. These differences in experience contribute to shaping the content of the lexicon and semantic representations of young and old (Johns, Jones & Mewhort, 2019). However, the way in which representations are shaped by experience is unfortunately still little explored (see Wulff, De Deyne, Jones, Mata & Consortium, 2019 for a review). Even so, data implicating experience in shaping our representations might suggest that older adults would have more sensorimotor experience than younger adults and that, in the light of embodied cognition (placing the sensorimotor components at the core of the language), this would shape the conceptual system of older adults and potentially result in higher PS and BOI ratings in the elderly.

On the other hand, it has recently been suggested that the concomitant sensory, motor and cognitive disruptions encountered with aging could impact their representations (Costello & Bloesch, 2017; Vallet, 2015). In other words, given the effects of age on sensory processing and bodily factors (kinesthetic, proprioceptive), some researchers formulate the hypothesis that older adults are less embodied (Costello & Bloesch, 2017). In addition to bodily and motor changes, deficits in sensory modalities in aging are well documented in the literature (e.g. Correia et al., 2016). Interactions between perceptual and cognitive decline have been widely documented with aging. The sensorimotor decline in aging is in fact at the center of a great debate in the identification of factors that may cause cognitive decline (for the different hypotheses discussed in the literature see Roberts & Allen, 2016 and Monge & Madden, 2016, focusing on visual perceptual decline). Vallet (2015)

suggest that if knowledge is embodied in its sensorimotor components, then the degradation of these components should impact on how that knowledge is retrieved (see also Mille, Brambati, Izaute & Vallet, 2021). It is to consider that the evaluation of PS and BOI requires the recovery of a sensorimotor experience associated with knowledge. From this point of view, the potential impact of sensorimotor decline on knowledge could manifest itself, in our study, by a downward evaluation of PS and BOI in the elders. This hypothesis is thus contrary to the first one involving the positive impact of experience, but is just as important to consider, or at least to discuss. Indeed, the current studies showing an impact of sensorimotor decline in aging through high and low level neurophysiological sensory changes concern exclusively episodic memory tasks that involve investigations of the visual modality (the other modalities have not yet been explored) (see Mille et al., 2021 who depict neurophysiological and cognitive changes occurring in aging and their interactions with low and high perceptual processing and memory). We therefore remain cautious about applying this hypothesis to our current study because it does not involve a specific experimental task that would allow inference about high-level neurocognitive mechanisms, but requires “basically” a judgment of experience. However, we do not know whether a judgment of perceptual and motor experience can be impacted by sensorimotor declines in aging.

In any case, these elements of the literature raise the question of whether norms such as the BOI or PS are stable across the lifespan or whether differences appear in aging. The aim of this study is to investigate this exploratory question by comparing French PS and BOI data collected in young adults with those collected in healthy older adults. We will compare available French-speaking PS data in young adults (Miceli et al., 2021) with those collected in 55 older participants in the present study. Since no BOI norms are available in French, we will make available the BOI data for these same youths and compare them to the assessment of the same 55 elders.

1.1. Material and method

1.1.1. Participants

Fifty-five older participants with French as mother-tongue (37 women), aged between 65 and 89 (mean age = 74.38; SD = 4.93) with a socio-cultural level of high school (socio-cultural level = 4.16; four corresponding to high school¹) took part in this study and have completed the PS and BOI questionnaire. They were compared with 141 French-speaking young participants (100 women), aged between 18 and 50 (mean age = 25.75; SD = 7.43) with a socio-cultural level of higher education (socio-cultural level = 5.12; five corresponding to the bachelor level) from our PS previous study (Miceli et al., 2021). The same young participants from this previous study also completed the BOI rating presented in the current study. However, 10 subjects did not complete the questionnaire and the final BOI assessment was therefore performed on 131 young participants. The two groups were statically equivalent in gender ($U = 3331$; $p = .294$) but differed in socio-cultural level, which was higher among the young ($U = 1879$; $p < .001$). Nevertheless, we made sure that these socio-cultural differences did not impact the participants' rating for either the PS or the BOI through regression analyses ($p > .05$).

To estimate whether the number of participants was sufficient to compare the results of the young and old, we estimated the effect size of the 2 groups ($N_1 = 141$, $N_2 = 55$) with G-Power 3.1. (Faul, Erdfelder, Buchner & Lang, 2009). A Wilcoxon-Mann Whitney test was performed with a post hoc power analysis. A moderate effect size ($d = 0.5$) was chosen, according to Cohen's convention (Cohen, 1987; Prajapati, Dunne & Armstrong, 2010) with the α error probability to 0.05. The

power ($1 - \beta$ error probability) was estimated at 0.86, meaning that the sample size was sufficient.

Older participants were recruited through word of mouth, social media ads as well as through presentations of the study in a senior workshop. For the inclusion criteria, older adults must have normal or corrected-to-normal vision and high overall cognitive functioning as assessed by the Mini-Mental State Evaluation score (MMSE, Derouesne et al., 1999; min. = 28, max. = 30, mean = 29.23, SD = .77). They should also present a low level of anxiety and depression as assessed with State Anxiety Inventory (STAI-Y, Spielberger, Gorsuch, Lushene, Vagg & Jacobs, 1983; min = 20, max. = 45, mean = 31.91, SD = 7.41) and Geriatric Depression Scale (GDS-15; Clément, Nassif, Léger & Marchan, 1997; min = 0, max. = 7, mean = 1.82, SD = 1.73). All participants gave their consent before participating to the study. The study was approved by the ethical board of the Psychology and Educational Sciences Faculty of the University of Mons (Mons, Belgium).

1.1.2. Stimuli

The same material as our previous study in young adults was used and concerns 270 common nouns of the French language (see Miceli et al., 2021). Except for 10 words with a concreteness rating below 3, all stimuli were concrete words. See table 1. for the descriptive characteristics of the stimuli.

The data collected in this study are available to the scientific community in the supplementary materials.

1.1.3. Procedure

After completing the consent form and answered questions about personal information (see Table 1), they received the words' list and were asked to rate, on a Likert-like scale, ranging from 0 (*not at all*) to 5 (*greatly*), the extent to which they experience each word through a specific modality. Separate lists of the 270 words were proposed for each modality in the following order: visual, auditory, haptic, gustative and then olfactory. Participants could complete the task in a single session or divide the rating across two or more sessions. The instructions and examples for PS were similar to those used in Miceli et al. 2021 and were as follows: “To what extent, in your opinion, is this word associated with a visual/auditory/haptic/gustative/olfactory sensory experience?” (*in French: « A quel point, ce concept est-il associé, selon vous, à une expérience sensorielle visuelle/auditive/tactile/gustative/olfactive »*) (see Appendix A for the complete instructions). For the BOI, participants were asked to rate on a Likert-like scale, ranging from 0 (*null*) to 5 (*very high*) the extent to which their body can physically interact with what the target concept represents. The instructions and examples were similar to those from Tillotson et al. (2008) and Bennett et al. (2011). The only difference is that we decided to ask to focus on assessing the interaction with their own body and not the overall human abilities (see Appendix B). This will allow to obtain specific data to each subject and to compare the groups considering their own perceptual experiences but also their own interaction abilities. This particular precaution was important in order to investigate lifespan effects.

The youth completed an online questionnaire in which they had to follow web links to continue the evaluation, while the elders completed the assessment in the same written questionnaire. Each question started with an instruction page. Participants were informed that they could

Table 1
Descriptive characteristics of the 270 words.

	Min	Max	M(SD)
Books frequency*	0.00	461.55	31.06 (62.43)
Film frequency*	0.00	470.30	29.31 (67.86)
Concreteness	2.04	5	4.54 (0.79)
Imageability	2.44	5	4.63 (0.69)
Conceptual familiarity	1.32	5	3.11 (1.22)
Age of acquisition	2.44	9.41	5.92 (.01)

* From New, Brysbaert, Veronis & Pallier, 2007.

¹ 1. less than 6 years of primary education; 2. 6 years of primary education; 3. 6 years of primary school + 2 to 4 years of secondary school; 4. 6 years of high school education; 5. 3 years of superior studies; 6. Master; 7. PhD

complete the assessment in several sessions and were encouraged to split it up over several days. While sensory and motor impairments were an exclusion criterion in data collection among the young (see Miceli et al., 2021), this was not the case among the elders, who had also to complete a questionnaire evaluating the presence of sensory and motor disturbances (see appendix C) in order to additionally control if these had an impact on their rating.

1.1.4. Data analyses

All analyses were conducted using SPSS 21. Significance level was set at $p \leq .05$ throughout analyses. First, outliers were identified the mean score of a participant fell outside ± 2.5 standard deviations from the group mean in each modality (see also Miceli et al., 2021). After this screening, no participant has been excluded.

For intra and inter-study reliability, Spearman correlation coefficients were computed because the distribution of the variables of interest did not meet the normality assumption, as well as Cronbach's alphas for inter-item and inter-rater consistency.

Finally, Mann-Whitney tests were used to compare the ratings of the older adults from those of the young adults (the distribution of these ratings did not meet the normality assumption). Regression analyses were also conducted to determine whether the sensory or motor disorders mentioned by some participants could influence their results.

Participant ratings for PS (older adults group) and BOI (young and elders group) are available to the scientific community in supplementary material.

2. Results

2.1. Intra and inter study reliability

2.1.1. Perceptual Strength

As our previous study in young adults (Miceli et al., 2021), we first measured the internal consistency of the ratings for the older adults. This split-half reliability coefficient is obtained by splitting the ratings of the participants into two groups (according to even and odd participant numbers), and by computing a Spearman correlation between the two groups' data for each variable separately. If the ratings of the two groups are well correlated, they should provide similar results, meaning that the ratings have good internal consistency reliability. The results show significant corrected Spearman correlations for the 5 PS (visual: $\rho = .813$, $p < .001$; auditory: $\rho = .936$, $p < .001$; haptic: $\rho = .930$, $p < .001$; gustatory: $\rho = .776$, $p < .001$; olfactory: $\rho = .992$, $p < .001$).

Results also showed a high reliability for all modalities, as shown by the Cronbach's alphas for inter-item consistency (visual: $\alpha = .989$; auditory: $\alpha = .990$; haptic: $\alpha = .989$; gustatory: $\alpha = .969$ and olfactory: $\alpha = .980$). Participants also showed high inter-rater reliability for each modality, according to Cronbach's alphas for inter-rater agreement (visual: $\alpha = .948$; auditory: $\alpha = .981$; haptic: $\alpha = .967$; gustatory: $\alpha = .992$; and olfactory: $\alpha = .985$).

2.1.2. Body object interaction

The split-half reliability analysis showed significant corrected Spearman correlations for both young ($\rho = .981$, $p < .001$) and old ($\rho = .952$, $p < .001$) participants. Results also showed a high reliability as shown by the Cronbach's alphas for inter-item consistency (young group: $\alpha = .995$, older group: $\alpha = .988$). Participants also showed high inter-rater reliability, according to Cronbach's alphas for inter-rater agreement (young group: $\alpha = .989$; older group: $\alpha = .970$).

2.2. Comparison of ratings between young and old

Descriptive statistics for the PS and BOI rating for both groups are presented in Table 2.

As we observed for the young (Miceli et al., 2021), the profile of PS averages among the elderly is identical to the one observed in the

Table 2

Mean ratings (M) of perceptual strength (0-5) across five modalities and BOI for 270 words, with standard deviations (SD), and results of group comparison.

	M (SD)Older adults group	M (SD)Young group*	Results p value
Visual	2.62 (.83)	2.66 (.84)	.953
Haptic	1.99 (.83)	1.86 (1.00)	.287
Auditory	1.19 (.65)	1.09 (.87)	.338
Olfactory	.89 (.41)	.77 (.96)	.031
Gustatory	.69 (.28)	.62 (1.13)	.012
BOI	2.11(.79)	2.49 (1.11)	.025

younger population. Indeed, words were rated as primarily experienced in the visual modality, while the gustatory one was the least experienced. This pattern is consistent across different languages (e.g. Lynott & Connell, 2013; Lynott et al., 2019; Miklashevsky, 2018; Speed & Brysbaert, 2020; Vergallito, Petilli & Marelli, 2020). As it was achieved for young adults in the Francophone data (Miceli et al., 2021) and in other languages (e.g. Chen et al., 2019; Lynott & Connell, 2009; Morucci et al., 2019; Speed & Brysbaert, 2020), we examined the relationships between PS modalities in the elders group through principal components analysis (PCA) with an orthogonal Varimax rotation and Kaiser normalisation. The five modalities have been reduced to two factors, jointly explaining 74.86 % of the original variance. The first with an eigenvalue of 2.49, accounts for 49.71 % of the variance and is composed of gustatory and olfactory strengths. The second, with an eigenvalue of 1.26, accounts for 25.15 % of the variance and is composed of visual, haptic and auditory perceptual strength. The loadings of the dimensions in the two components are shown in Table 3. See also Fig. 1 illustrating how noun concepts (plotted by dominant modality) overlap in perceptual experience.

Although the composition of the factors is different from that of young adults, the correlation matrix between different modalities (reported in table 4) show a similar pattern of results to the French-speaking young adults and to the wider literature (Chen et al., 2019; Lynott & Connell, 2009, 2013; Lynott et al., 2019; Morucci et al., 2019; Speed & Majid, 2017; Speed & Brysbaert, 2020; Vergallito et al., 2020), that is, a strong positive correlation between visual and haptic modality and between taste and smell modality. Other moderate positive correlations between haptic-gustatory, haptic-olfactory, visual-gustatory, and visual-olfactory experience were also observed and were similar to those of young adults (see Miceli et al., 2021), indicating that age does not alter the relationships between perceptual modalities.

The result of the comparison of the means between young and old showed no significant difference between the young and the older group for visual, haptic and auditory perceptual strength. However, the olfactory and gustatory PS is significantly different between the 2 groups; the older adults's ratings are higher ($p < .05$). See table 5 for examples of words representing this difference.

Since only these 2 modalities showed significant results, we wondered if the differences in average between young and old could be item-specific. Although our corpus of words was not designed by category, we were able to conduct analyses for a group of 57 animals, 18 fruits and vegetables and 133 manufactured objects. While the manufactured objects gave no results, we observed significant differences in the animal category for the auditory ($p = .009$), gustatory ($p < .001$) and

Table 3

Component matrix obtained from PCA with a Varimax rotation.

	Factors	
	1	2
Visual	.412	.796
Haptic	.416	.725
Auditory	-.331	.718
Olfactory	.876	.183
Gustatory	.902	.045

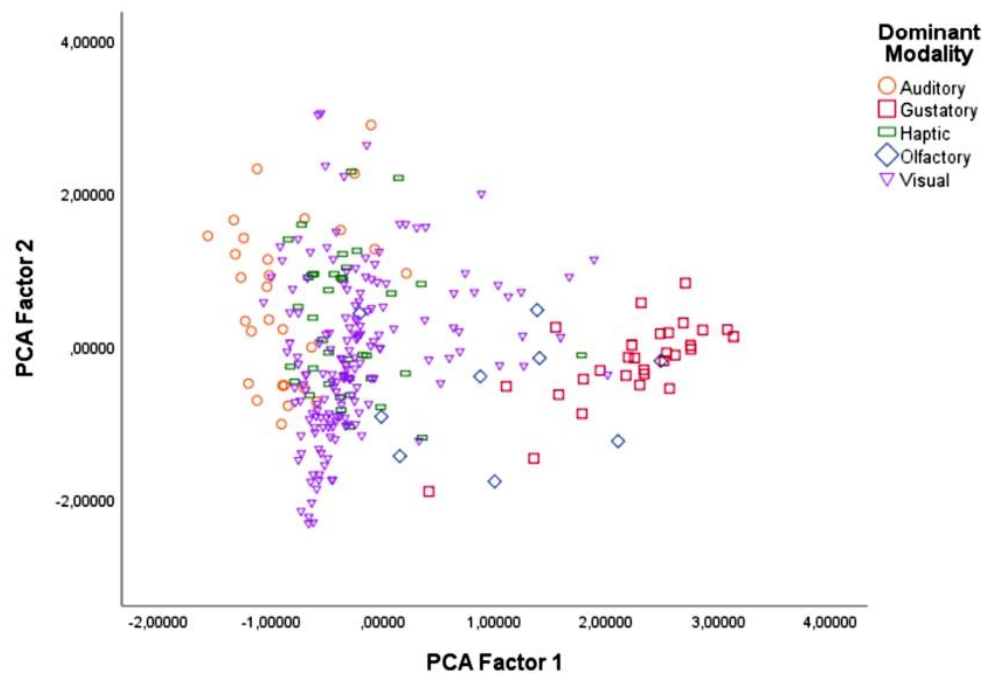


Fig. 1. Clustering of words, labeled by dominant modality, with perceptual strength on the five modalities reduced to two PCA factors for the elders group.

Table 4
Correlation matrix between modalities for mean ratings of perceptual strength.

	Visual	Auditory	Haptic	Gustatory	Olfactory
Visual	–	.267**	.720**	.341**	.432**
Auditory	–	–	.145*	-.094	-.003
Haptic	–	–	–	.310**	.377**
Gustatory	–	–	–	–	.752**

*the Spearman correlation is significant at the .05 level.

** the Spearman correlation is significant at the .01 level.

Table 5
Sample of words rated by young and elders with their mean (and standard deviation) for gustatory and olfactory modalities.

	Gustatory Young	Elders	Olfactory Young	Elders
Cherry	3.3(1.63)	4.14(1.08)	2.17(1.63)	2.7(1.58)
Croissant	3.34(1.59)	3.86(1.27)	2.7(1.58)	3.23(1.38)
Duck	1.95(1.69)	2.89(1.64)	0.91(1.3)	1.63(1.58)
Flower	0.65(1.04)	1.05(1.26)	3.34(1.54)	3.88(1.52)
Horse	0.76(1.23)	1.23(1.75)	2.06(1.69)	2.26(1.78)
Pineapple	3.05(1.66)	3.79(1.26)	2.58(1.52)	3.32(1.57)

olfactory ($p = .001$) modalities, with higher older adult ratings. The analysis of fruits and vegetables showed significantly higher scores for the haptic ($p = .044$), gustatory ($p = .014$) and olfactory ($p = .031$) modalities.

Regarding the BOI, the comparative analysis showed a significant difference between the 2 groups. Older participants had significantly lower BOI scores ($U = 2851.5$; $p = .025$). In order to observe whether differences between young and old appeared for one category in particular, we selected words belonging to the category of natural (i.e. animals, fruits, vegetables and plants) and manufactured objects. Indeed, it has been demonstrated the existence of different types of functional affordances between natural and manufactured objects, the manipulable objects evoking a motor information (Godard, Wamain &

Kalénine, 2019). 31 words were excluded from the analyses either because they could not be easily manipulated (e.g. hospital) or because they would not have been relevantly included in one of the categories (e.g. thief). The results of the analysis performed on 106 natural and 133 manufactured items are significant for both natural ($U = 2888.5$; $p = .033$) and manufactured ($U = 2841$; $p = .023$) items meaning that this difference in BOI between young and old appears regardless of the category of objects.

2.3. Investigation of the impact of sensory and motor disturbances

Given the hypotheses suggesting an impact of low or high level sensorimotor disorders encountered in aging on their representations (Vallet, 2015), we aimed to control the potential impact of sensory and motor disturbances encountered by the participants on their ratings. Among the older participants, 50 had a corrected visual impairment; 22 reported having a hearing disorder, of which 8 had an estimated effective hearing correction; 4 participants reported having haptic disorders. Regarding motor disorders, 11 reported gait disorders, 4 of which required crutch or rollator assistance, 3 reported upper limb disorders and 4 reported "other" motor disorders. Linear regression analyses excluded an impact of sensory disorders on perceptual variables in our study. Participant ratings for visual PS cannot be predicted by the presence of visual corrected disorders ($F_{(1,54)} = .057$; $p = .813$; $R^2 = .001$), auditory PS cannot be predicted by the presence of hearing disorders ($F_{(1,54)} = .865$; $p = .356$; $R^2 = .016$) and haptic PS cannot be predicted by the presence of tactile disorders ($F_{(1,54)} = .162$; $p = .689$; $R^2 = .003$). Analyses concerning olfactory and gustatory disorders were not conducted given the absence of gustatory and olfactory disorders in the participants. Although the participants' sensory disturbances did not cover all 5 perceptual modalities, we can exclude, in our study, an impact of these low-level impairments on the participants' ratings. Moreover, BOI ratings cannot be predicted by the presence of motor disorders ($F_{(3,54)} = .039$; $p = .989$; $R^2 = .002$). A direct influence of motor disturbances on participants' ratings can therefore be excluded in the present study.

3. Discussion

The objective of our study was to compare in an explorative way the PS and BOI data between young and older adults in order to determine whether differences existed with age and, if so, to have appropriate stimuli available for the reference population studied. We also investigated in an original way the question of the evolution of sensorimotor representations with age. Indeed, the perceptual and motor experience which composes our representation (among other dimensions) of the concepts was investigated from two distinct variables via explicit measures collected from young and older people. The comparison between the two age groups was relevant to determine the direction in which this representation could evolve with age.

The results showed no difference between the young and the older adults' group for visual, auditory and tactile PS, but revealed a higher PS with age concerning gustatory and olfactory modalities meaning that some modalities are more sensitive to life experience (see below for details on word categories). In contrast, the BOI ratings were significantly lower in the elderly indicating that the ability to interact with the concepts is considered weaker in the elderly. Some researchers have hypothesized an impact of age-related sensorimotor decline on knowledge (Mille et al., 2021). According to Vallet (2015, p.4), « if knowledge remains embodied in its sensory-motor components, the degradation of these components should directly impact how that knowledge is retrieved and used ». This hypothesis has been investigated to date in the context of episodic memories. A phenomenon of reduced distinctiveness of the memory trace in the elderly would explain the recuperation disorders (Korkki et al., 2020). Indeed, memories would be less distinct and confused and this lower resolution of representations would induce interference in memory (see Mille et al., 2021). If data exist to support an age-related sensorimotor decline on representations, they concern only episodic tasks. However, we do not yet have information on the potential impact of sensorimotor decline on the semantic system. Our study provides some initial insights on this issue.

In light of the results of the PS comparison between young and older, we have no arguments in favor of a decrease in perceptual semantic representations in aging, assessed in this case in the framework of an explicit rating. On the contrary, we notice that the PS is identical and even higher for some modalities and certain category of words. As discussed in the introduction, the accumulation of experiences by the older adults may have reinforced their conceptual knowledge/representations. In this case, the older adults should present higher ratings than those from younger adults. However, only the gustatory and olfactory modalities showed a higher evaluation in the present study. Taste and smell are integrated within the same neural pathway and share overlapping brain networks (de Araujo, Rolls, Kringelbach, McGlone & Phillips, 2003; Delwiche & Heffelfinger, 2005; Rolls, 2008). Also, strong positive correlations between the gustatory and olfactory PS modality have been shown in the literature (Chen et al., 2019; Lynott & Connell, 2009, 2013; Lynott et al., 2019; Morucci et al., 2019, 2019; Speed & Brysbaert, 2020; Speed & Majid, 2017; Vergallito et al., 2020) and the present study showed that this is also the case in the older adult population. These simply recall the evidence that concepts that can be tasted and smelled correspond in majority to foods. Therefore, we could suppose that it is possible that certain categories of words have influenced these results. Indeed, while the analysis on all words showed a greater evaluation for the gustatory and olfactory modality, a more detailed analysis showed that this increase was specific to certain word categories. The category of animals showed a greater PS for the auditory, gustatory and olfactory modality, the category of fruits/vegetables showed a greater haptic, gustatory and olfactory PS, while the manufactured objects showed no difference. Therefore, it seems that the increase in PS in the older adults varies according to certain types of words (in this case animals and fruits/vegetables) and that some perceptual modalities are more sensitive than others to the experience accumulated over the lifespan. As demonstrated by Vignando et al. (2018), processing

of tasks involving food was influenced by the dietary habits of the elderly. Hence, it is possible that older people with potentially different eating habits from youth are more familiar than young people with the foods (here fruits/vegetables) that compose our corpus of words, causing a higher PS for haptic, taste and smell modality. Concerning the animals, it seems that the auditory modality is sensitive to lifetime experience. Note that many animals were also edible (e.g. chicken, horse, duck), which may also explain that the evaluation of taste increases with age. Although this was not the initial objective of our study, our results showed that it is relevant to further investigate this question by selecting word categories beforehand.

Concerning the BOI, the results suggest weaker sensorimotor embodiment in the older adults (see Costello & Bloesch, 2017), at least for the motor aspects. With age, there is decreased muscle mass, strength, tone, and flexibility that affect all motor behaviors (Rossi, 2018). There is also a decrease in mobility that includes activities such as walking, standing, turning in bed, and climbing stairs that are nonetheless essential for performing activities of daily living (Lowry, Vallejo & Studenski, 2012). Researchers suggest that these motor disturbances encountered in aging may have an impact on their action representations. Motor imagery studies have been highlighted as being particularly relevant for studying action representation processes (Jeannerod, 2001; Munzert, Lorey & Zentgraf, 2009). Indeed, it is a subtype of mental imagery involving a mental simulation of the action (Kosslyn, 1987) and it is perceived as an off-line recruitment of the same neural networks involved in perception and action (Jeannerod, 2007). Various research studies investigating motor imagery show that performance is poorer in older people (e.g. Gabbard, Caçola & Cordova, 2011; Mulder, Hochstenbach, Van Heuvelen & Den Otter, 2007; Personnier, Ballay & Papaxanthis, 2010; Saimpont, Pozzo & Papaxanthis, 2009; Skoura, Personnier, Vinter, Pozzo & Papaxanthis, 2008). For example, Gabbard et al. (2011) observe weaker abilities to estimate whether or not targets presented in peri-personal and extra-personal space are within reach of their dominant limb while participants are sitting. The results therefore suggest that there is a decline in the ability to mentally represent the action with advancing age. This decline is also evidenced when it concerns simply observing an action performed by other people, such as visually estimating the weight of objects lifted (Maguinness, Setti, Roudaia & Kenny, 2013) or estimate the time elapsed during a video interrupted while the actor was performing an action (Diersch et al., 2013). Some researchers attempting to understand this decline suggests that the decreased ability to motor simulate possible actions with objects may possibly be the result of their actual or even perceived loss of muscle strength (Potter, Grealy & O'Connor, 2009). This resonates with Glenberg view of the embodied approach: « how we think depends on the sorts of bodies we have » (Glenberg, Witt & Metcalfe, 2013, p.573). Indeed, it is recognized that our thinking is influenced by our body interacting in its environment. For example, in the case of pathology, Gilpin, Moseley, Stanton, and Newport (2015) showed that participants with osteoarthritis had distorted representations of the size of their painful hand, compared to the control group. The presence of osteoarthritis therefore alters their body schema. However, even when the participants do not have any particular pathology, Bhalla and Proffitt, (1999) show that the simple variable of age influences action perception abilities. In their study, participants were asked to estimate hill slopes under various conditions. They showed that the perception of the slope of a hill is influenced by the physical ability of the participants to climb it; the hills appear steeper in older participants. Our results therefore seem to be interpreted in this regard. The BOI score, reflecting the body's ability to interact with an object, was lower for the elderly and may reflect their lesser representation of their physical ability to interact with the word referent, compared to young adults and suggest an impact of older adults' actual or perceived motor disruptions on their action representations (Costello & Bloesch, 2017). Our results resonate with proposals from embodied theories suggesting that the mind and body are interconnected. The consideration of

embodied dimensions in the investigation of aging-related changes is relatively recent and this new perspective may have a beneficial impact on clinical research in gerontology. Indeed, it permits the establishment of models for understanding the effects of aging by taking into account bodily characteristics, action skills, and bodily signals (i.e., tactile, proprioceptive, vestibular, and visceral sensations) that have a great impact on our perception of the environment (Kuehn et al., 2018) and consider relevant avenues to limit decline in aging. For example, Rejeski and Gauvin, (2013) suggest taking seriously mindfulness-based activities that promote proprioceptive abilities and body schema, some of which have been shown to be effective in demonstrating plasticity changes in the proprioceptive system of older adults (see Goble, Coxon, Wenderoth, Van Impe & Swinnen, 2009 for a review).

With regard to both variables studied, it seems that we have obtained opposite results concerning the perceptual and motor representations of the elders. Although we do not exclude the possibility that representation evolves in opposite directions on the sensory and motor level, it is possible that this sensory and motor scission are related to the nuance of the instruction of the BOI. Indeed, whereas the PS asks to estimate the extent to which participants experience the word referent, the BOI instruction asks to estimate the ease with which participants can physically interact with what the word represents, thus emphasizing the *ability* to interact rather than the *experience* of interacting with. From this point of view, the PS measure would pick up on cumulative sensory *experience*, while the BOI measure would capture weaker sensorimotor *abilities* in older adults. Considering the ability to interact with the referent of a word probably involves mentally simulating the action of manipulating it. As motor imagery abilities have been shown to be weaker in aging (e.g. Personnier et al., 2010), it is not so surprising, from this point of view, that the BOI scores of older people are lower. It is therefore interesting to ask whether estimating a PS experience also involves a form of mental imagery. Some evidence from the literature focusing on visual features seems to suggest that word access involves visual simulation even if participants' attention is not explicitly tuned to visual properties (Rey, Riou, Vallet & Versace, 2017). It can therefore be assumed that the explicit instructions to estimate a PS in various dimensions also involves this simulation. This would mean that regardless of the nuance of the instruction, a difference between the evolution of motor and sensory systems would be present in aging.

Finally, we highlight the good psychometric properties of these two variables studied. The ratings had a good internal consistency reliability and also showed high inter-item consistency and inter-rater agreement. However, some limitations of the study should be considered. The small number of words selected and the use of a different procedure between the two populations can be pointed out. We encourage the exploration of this issue on a larger scale and with a greater number of words. Nonetheless, it could be pointed out that all participants evaluated all the items which reinforce the internal validity of the rating whereas studies using larger items pool require to subsets the evaluation. It would also be useful to create groups of words (tools, fruits, vegetables...) to observe if differences appear according to the categories. In this case, a minimum number of words in each specific category should be required, in contrast to our study which was not originally designed to compare categories. It would also be relevant to observe whether differences between young and older adults are expressed taking into account certain psycholinguistic variables such as the frequency with which intergenerational differences have been highlighted (Robert, Dorot & Mathey, 2012).

Notwithstanding this, these investigations show that it is worthwhile to question the use of stimuli and adapted variables capturing sensorimotor dimensions in the study of aging. Future studies investigating sensorimotor representations of concepts in aging should take these discrepancies into account when designing their studies. Although the PS and BOI capture semantic dimensions, we pinpoint the fact that this study was exploratory and our interpretations are based only upon these ratings, which are very explicit measures. It is therefore quite possible

that implicit tasks involving these variables will provide other results about the conceptual representations of older adults. For instance, if we investigate the effects of semantic richness (i.e. words associated with more semantic information are processed faster and more accurately given their richer semantic representations, see Pexman, Siakaluk & Yap, 2013) in aging by contrasting words with high vs. low PS or BOI, will these differences in PS and BOI relative to youth influence the results? Will these results be modulated by word category? Will the type of processing (i.e. lexical decision, semantic categorization, naming) be more sensitive to potential effects? These are many questions that remain to be answered and we hope that our studies will lead to further investigations involving various semantic tasks.

Credit Author Statement

AM and ISL had the initial ideas. AM and EW collected the data. AM and ISL analyzed the data and prepared the manuscript. The results were discussed at length with ISL, GV and AM. EW, GV, LL, LR and ISL revised the latest version of the document. All authors contributed to the article and approved the submitted version.

Funding

This study was funded by a program of *Action de Recherche Concertée* financed by the Ministry of the French Community – Directorate General for Non-Compulsory Education and Scientific Research (reference: ARC-19/23 UMONS3).

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Supplementary materials

Supplementary material associated with this article can be found, in the online version, at [doi:10.1016/j.archger.2022.104715](https://doi.org/10.1016/j.archger.2022.104715).

Appendix A

Instructions for Perceptual strength – English traduction

You are invited to estimate the perceptual (i.e. sensory) experience you have with a concept (represented by a word). This perceptual experience, based on different sensory modalities (visual, auditory, olfactory, gustatory, tactile), is part of our knowledge. Everyone has a different sensory experience of concepts, objects and things.

Read the following words and consider each according to the level of sensory experience it evokes for you. By sensory experience we mean an actual sensation (taste, touch, sight, sound or smell) that you have experienced.

For example, you may have experienced an "orange" by seeing it, smelling it, touching it or tasting it and the level of each modality may vary according to your own experience.

The word "orange" might have a very strong visual perceptual strength, because you see oranges very often (the fruit basket is always full of them), but you rarely eat them, so the gustatory perceptual strength will be judged to be very low.

The word "dog" could have a strong auditory perceptual strength because you have often heard the neighbour's dog barking. On the other hand, if you have never had a dog and have touched few dogs in your life, the tactile perceptual strength will be considered low.

The word "cheese" might have a strong olfactory perceptual strength because you always have strong cheese in your fridge and smell it every time you open it. On the other hand, the olfactory perceptual strength will be considered weak if you never eat cheese.

Your ratings will be made using a scale of 0 to 5.

A score of 0 or 1 indicates no or little sensory experience and a score of 4 or 5 indicates strong or very strong sensory experience. Values from 2 to 4 indicate intermediate scores.

Feel free to use all the scoring possibilities in your different ratings. Evaluate each of the modalities and concepts independently.

Try to be as accurate as possible, but do not spend too much time on one word. There are no right or wrong answers. We are interested in your own judgement.

Example of a sub-question for the visual modality:

We are going to ask you to rate how much the following concepts are associated, in your opinion, with a visual sensory experience.

For each word presented below, please indicate, by ticking the corresponding case, the answer that best suits you.

As a reminder:

- 0 or 1 = No or little visual experience
- 2 to 3 = Intermediate visual experience
- 4 or 5 = Strong or very strong visual experience

Consigne de force perceptuelle-Version francophone

Vous êtes invité à estimer l'expérience perceptuelle (c'est-à-dire sensorielle) que vous avez avec un concept (représenté par un mot). Cette expérience perceptuelle, basée sur différentes modalités sensorielles (visuelle, auditive, olfactive, gustative, tactile), fait partie de nos connaissances. Chacun a vécu différemment son expérience sensorielle vis-à-vis des concepts, des objets, des choses.

Lisez les mots suivants et considérez chacun selon le niveau d'expérience sensorielle qu'il évoque pour vous. Par expérience sensorielle, nous voulons dire une sensation réelle (goût, toucher, vue, son ou odeur) que vous avez expérimentée.

Par exemple, vous pourriez avoir expérimenté une « orange » en la voyant, en la sentant, en la touchant ou en la goûtant et le niveau de chaque modalité peut être variable selon votre propre expérience.

Le mot « orange » pourrait avoir une force perceptuelle visuelle très forte, car vous voyez très souvent des oranges (la corbeille à fruits en est toujours remplie), par contre vous en mangez très rarement donc la force perceptuelle gustative sera jugée très faible.

Le mot « chien » pourrait avoir une force perceptuelle auditive forte parce que vous avez souvent entendu le chien du voisin aboyer. Par contre, vous n'avez jamais possédé de chien et en avez touché peu au cours de votre existence, la force perceptuelle tactile sera jugée faible.

Le mot « fromage » pourrait avoir une force perceptuelle olfactive forte parce que vous avez toujours du fromage fort dans votre frigo et sentez l'odeur à chaque fois que vous l'ouvrez. Par contre, la force perceptuelle olfactive sera jugée faible si vous ne mangez jamais de fromage.

Vos évaluations seront faites à l'aide d'une échelle de 0 à 5.

Un score de 0 ou 1 indique une expérience sensorielle nulle ou faible et un score de 4 ou 5 indique une expérience sensorielle forte ou très forte. Des valeurs de 2 à 4 indiquent des scores intermédiaires.

N'hésitez pas à utiliser toutes les possibilités de scores lors de vos différentes évaluations.

Évaluez chacune des modalités et chacun des concepts indépendamment.

Essayez d'être aussi précis que possible, mais ne passez pas trop de temps sur un seul mot. Il n'y a pas de bonnes ou mauvaises réponses. Nous sommes intéressés par votre propre jugement.

Exemple de sous-question pour la modalité visuelle

Nous allons vous demander d'évaluer à quel point les concepts suivants sont associés, selon vous, à une **expérience sensorielle visuelle**.

Pour chaque mot présenté ci-dessous, veuillez indiquer, en cochant la case correspondante, la réponse qui vous convient le mieux.

Pour rappel:

- 0 ou 1 = Expérience visuelle nulle ou faible
- 2 à 3 = Expérience visuelle intermédiaire
- 4 ou 5 = Expérience visuelle forte ou très forte

Appendix B

Instructions for body object interaction – English traduction

You are invited to estimate the degree of body-object interaction.

The words differ in the extent to which they refer to objects or things that a human body can physically interact with or not. Some words refer to objects or things that a human body can easily physically interact with, while others refer to objects or things that a human body cannot easily physically interact with.

The purpose of this questionnaire is to **assess how easily your body can physically interact with what the words represent**.

For example, the word "chair" refers to an object that the human body can easily interact with physically (we can sit on a chair, or stand on a chair, or move it from one room to another), whereas the word "ceiling" refers to an object that a human body cannot easily interact with physically (we would have to jump to touch the ceiling).

Any word (e.g., "chair") that you think refers to an object or thing that you can easily physically interact with should have a high body-object interaction rating.

Any word (e.g., "ceiling") that you think refers to an object or thing that you cannot easily physically interact with should have a low body-object interaction rating.

It is important that you make these ratings based on how easily you can physically interact with what a word represents, not how easily it can be experienced by the human senses (e.g., vision, taste, etc.). Also, because words tend to trigger you to think of other words associated with them, it is important that your evaluations are not based on this and that you judge only the ease with which a human body can physically interact with what the word represents.

All words are nouns (i.e., objects or things) and you must make your assessments based on this fact.

Your body-object interaction ratings will be made using a scale of 0 to 5.

A score of 0 or 1 indicates no or low body-object interaction and a score of 4 or 5 indicates high or very high body-object interaction. A value of 2 to 3 indicates an intermediate score.

Feel free to use all of the scoring options in your various assessments.

Try to be as accurate as possible, but don't spend too much time on one word.

There are no right or wrong answers. We are interested in your own judgment.

Consignes d'Interaction Corps-Objet-Version francophone

Vous êtes invité à estimer le degré d'interaction corps-objet.

Les mots diffèrent dans la mesure où ils se réfèrent à des objets ou des choses avec lesquelles un corps humain peut interagir physiquement ou pas avec ceux-ci. Certains mots désignent des objets ou des choses avec lesquelles un corps humain peut facilement interagir physiquement, tandis que d'autres désignent des objets ou des choses avec lesquelles un corps humain ne peut pas interagir facilement physiquement.

Le but de ce questionnaire consiste à **évaluer la facilité avec laquelle votre corps peut interagir physiquement avec ce que représentent les mots**.

Par exemple, le mot « chaise » fait référence à un objet avec lequel le corps humain peut facilement interagir physiquement (nous pouvons nous asseoir sur une chaise, ou nous tenir debout sur une chaise, ou la déplacer d'une pièce à une autre), alors que le mot « plafond » fait référence à un objet avec lequel un corps humain ne peut pas facilement interagir physiquement (il faudrait sauter pour toucher le plafond).

Tout mot (par exemple « chaise ») qui, selon vous, fait référence à un

objet ou une chose avec laquelle vous pouvez facilement interagir physiquement devrait avoir une cote d'interaction corps-objet élevée.

Tout mot (par exemple « plafond ») qui, selon vous, se réfère à un objet ou à une chose avec laquelle vous ne pouvez pas interagir facilement physiquement devrait avoir une faible cote d'interaction corps-objet.

Il est important que vous basiez ces évaluations sur la facilité avec laquelle vous pouvez interagir physiquement avec ce qu'un mot représente, et pas sur la facilité avec laquelle il peut être expérimenté par les sens humains (par exemple, la vision, le goût, etc.). De plus, parce que les mots ont tendance à vous faire penser à d'autres mots qui y sont associés, il est important que vos évaluations ne soient pas basées sur cela et que vous ne jugiez que la facilité avec laquelle un corps humain peut interagir physiquement avec ce que représente le mot.

Rappelez-vous, tous les mots sont des noms (c'est-à-dire des objets ou des choses) et vous devez baser vos évaluations sur ce fait.

Vos évaluations d'interaction corps-objet seront faites à l'aide d'une échelle de 0 à 5.

Un score de 0 ou 1 indique une interaction corps-objet nulle ou faible et un score de 4 ou 5 indique une interaction corps-objet élevée ou très élevée. Une valeur de 2 à 3 indique un score intermédiaire.

N'hésitez pas à utiliser toutes les possibilités de scores lors de vos différentes évaluations.

Essayez d'être aussi précis que possible, mais ne passez pas trop de temps sur un seul mot.

Il n'y a pas de bonnes ou mauvaises réponses. Nous sommes intéressés par votre propre jugement.

Appendix C

Subjective sensory questionnaire

- 1 Do you have a visual disorder (e.g. myopia, astigmatism, etc.)?

If so, can you please specify which visual problem it is?

Do you wear glasses to correct this disorder?

- 1 Do you have a hearing problem (e.g., hearing loss or hearing impairment)?

If so, can you please specify which hearing disorder it is (e.g. left ear hearing loss, complete deafness since birth, hearing loss since the age of...)?

Do you wear a hearing aid?

Is it globally effective?

- 1 Do you have a taste disorder? (e.g. loss of taste). Disregard a temporary loss of taste due to a cold, for example.

If so, can you please specify which type of disorder disturbs your taste?

- 1 Do you have a sense of smell disorder? (e.g. loss of smell). Disregard a temporary loss of smell due to a cold, for example.

If so, can you please specify the cause of your loss of smell?

- 1 Do you have a sensory disorder that affects your perception of touch? (e.g. loss of sensitivity, hypersensitivity,...).

If so, can you please specify?

Subjective motor questionnaire

- 1 Do you have difficulty walking?

If so, check one of the following :

- I use an aid such as a cane, rollator,...
- I use a wheelchair
- I do not need any help
- Other : ...

- 1 Do you have difficulty moving your arms/hands?

if yes, please indicate the nature of your difficulties.

- 1 Do you have any other motor difficulties?

If so, can you please specify the part of the body concerned

References

- Agarwal, S., Driscoll, J. C., Gabaix, X., & Laibson, D. (2009). The age of reason: Financial decisions over the life cycle and implications for regulation. *Brookings Papers on Economic Activity*, 2009(2), 51–117.
- Arbuckle, T. Y., Cooney, R., Milne, J., & Melchior, A. (1994). Memory for spatial layouts in relation to age and schema typicality. *Psychology and aging*, 9(3), 467.
- Bahrack, H. P. (1984). Semantic memory content in permastore: Fifty years of memory for Spanish learned in school. *Journal of Experimental Psychology: General*, 113(1), 1.
- Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and Brain Sciences*, 22(4), 577–660.
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annu. Rev. Psychol.*, 59, 617–645.
- Beilock, S. L., Lyons, I. M., Mattarella-Micke, A., Nusbaum, H. C., & Small, S. L. (2008). Sports experience changes the neural processing of action language. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(36), 13269–13273.
- Bennett, S. D., Burnett, A. N., Siakaluk, P. D., & Pexman, P. M. (2011). Imageability and body-object interaction ratings for 599 multisyllabic nouns. *Behavior Research Methods*, 43(4), 1100–1109.
- Bhalla, M., & Proffitt, D. R. (1999). Visual-motor recalibration in geographical slant perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(4), 1076.
- Binder, J. R. (2016). In defense of abstract conceptual representations. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23(4), 1096–1108.
- Bonin, P., Méot, A., Ferrand, L., & Bugaiska, A. (2015). Sensory experience ratings (SERs) for 1,659 French words: Relationships with other psycholinguistic variables and visual word recognition. *Behavior Research Methods*, 47(3), 813–825.
- 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.
- Bowles, N. L., & Poon, L. W. (1985). Aging and retrieval of words in semantic memory. *Journal of Gerontology*, 40(1), 71–77.
- Brysbaert, M., Stevens, M., Mandera, P., & Keuleers, E. (2016). How many words do we know? Practical estimates of vocabulary size dependent on word definition, the degree of language input and the participant's age. *Frontiers in Psychology*, 7, 1116.
- Buccino, G., Colagè, I., Gobbi, N., & Bonaccorso, G. (2016). Grounding meaning in experience: A broad perspective on embodied language. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 69, 69–78.
- Burke, D. M., & Peters, L. (1986). Word associations in old age: Evidence for consistency in semantic encoding during adulthood. *Psychology and Aging*, 1(4), 283.
- Chedid, G., Brambati, S. M., Bedetti, C., Rey, A. E., Wilson, M. A., & Vallet, G. T. (2019). Visual and auditory perceptual strength norms for 3,596 French nouns and their relationship with other psycholinguistic variables. *Behavior Research Methods*, 51(5), 2094–2105.
- Chen, I.-H., Zhao, Q., Long, Y., Lu, Q., & Huang, C.-R. (2019). Mandarin Chinese modality exclusivity norms. *PLoS One*, 14(2), Article e0211336.
- Chrysikou, E. G., Casasanto, D., & Thompson-Schill, S. L. (2017). Motor experience influences object knowledge. *Journal of Experimental Psychology: General*, 146(3), 395.
- Clément, J., Nassif, R., Léger, J., & Marchan, F. (1997). Development and contribution to the validation of a brief French version of the Yesavage Geriatric Depression Scale. *L'encephale*, 23(2), 91–99.
- Cohen, P. A. (1987). A critical analysis and reanalysis of the multisection validity meta-analysis.
- Collins, A. M., & Loftus, E. F. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, 82(6), 407.
- Connell, L., & Lynott, D. (2012). Strength of perceptual experience predicts word processing performance better than concreteness or imageability. *Cognition*, 125(3), 452–465.
- Connell, L., & Lynott, D. (2014). Principles of representation: Why you can't represent the same concept twice. *Topics in Cognitive Science*, 6(3), 390–406.
- Correia, C., Lopez, K. J., Wroblewski, K. E., Huisinigh-Scheetz, M., Kern, D. W., Chen, R. C., Schumm, L. P., et al. (2016). Global sensory impairment in older adults in the United States. *Journal of the American Geriatrics Society*, 64(2), 306–313.
- Costello, M. C., & Bloesch, E. K. (2017). Are older adults less embodied? A review of age effects through the lens of embodied cognition. *Frontiers in Psychology*, 8, 267.
- Davis, S. W., Dennis, N. A., Daselaar, S. M., Fleck, M. S., & Cabeza, R. (2008). Que PASA? The posterior-anterior shift in aging. *Cerebral Cortex*, 18(5), 1201–1209.

- de Araujo, I., Rolls, E.T., Kringelbach, M.L., McGlone, F., & Phillips, N. (2003). Taste-olfactory convergence, and the representation of the pleasantness of flavour, in the human brain. *European Journal of Neuroscience*, 18, 2059–2068.
- Delwiche, J. F., & Heffelfinger, A. L. (2005). Cross-modal additivity of taste and smell. *Journal of Sensory Studies*, 20(6), 512–525.
- Deroesne, C., Poitrenau, J., Hugonot, L., Kalafat, M., Dubois, B., & Laurent, B. (1999). Mini-Mental State Examination: A useful method for the evaluation of the cognitive status of patients by the clinician. Consensual French version. *Presse medicale (Paris, France: 1983)*, 28(21), 1141–1148.
- Diersch, N., Mueller, K., Cross, E. S., Stadler, W., Rieger, M., & Schütz-Bosbach, S. (2013). Action prediction in younger versus older adults: Neural correlates of motor familiarity. *PLoS ONE*, 8(5), e64195.
- Dilkina, K., & Lambon Ralph, M. A. (2013). Conceptual structure within and between modalities. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 333.
- Dove, G. (2011). On the need for embodied and dis-embodied cognition. *Frontiers in Psychology*, 1, 242.
- Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., & Lang, A.-G. (2009). Statistical power analyses using G* Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, 41(4), 1149–1160.
- Fernandino, L., Binder, J. R., Desai, R. H., Pandl, S. L., Humphries, C. J., Gross, W. L., Conant, L. L., et al. (2016). Concept representation reflects multimodal abstraction: A framework for embodied semantics. *Cerebral Cortex*, 26(5), 2018–2034.
- Fodor, J. A., & Fodor, J. A. (1987). *Psychosemantics: The problem of meaning in the philosophy of mind* (Vol. 2). MIT press.
- Fourkas, A. D., Bonavolonta, V., Avenanti, A., & Aglioti, S. M. (2008). Kinesthetic imagery and tool-specific modulation of corticospinal representations in expert tennis players. *Cerebral Cortex*, 18(10), 2382–2390.
- Gabbard, C., Çağola, P., & Cordova, A. (2011). Is there an advanced aging effect on the ability to mentally represent action? *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 53(2), 206–209.
- Gilpin, H. R., Moseley, G. L., Stanton, T. R., & Newport, R. (2015). Evidence for distorted mental representation of the hand in osteoarthritis. *Rheumatology*, 54(4), 678–682.
- Glenberg, A. M. (1997). What memory is for. *Behavioral and Brain Sciences*, 20(1), 1–19.
- Glenberg, A. M., & Robertson, D. A. (2000). Symbol grounding and meaning: A comparison of high-dimensional and embodied theories of meaning. *Journal of Memory and Language*, 43(3), 379–401.
- Glenberg, A. M., Witt, J. K., & Metcalfe, J. (2013). From the revolution to embodiment: 25 years of cognitive psychology. *Perspectives on Psychological Science*, 8(5), 573–585.
- Goble, D. J., Coxon, J. P., Wenderoth, N., Van Impe, A., & Swinnen, S. P. (2009). Proprioceptive sensibility in the elderly: Degeneration, functional consequences and plastic-adaptive processes. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 33(3), 271–278.
- Godard, M., Wamain, Y., & Kalénine, S. (2019). Do manufactured and natural objects evoke similar motor information? The case of action priming. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 72(12), 2801–2806.
- Grady, C. L., Maisog, J. M., Horwitz, B., Ungerleider, L. G., Mentis, M. J., Salerno, J. A., Pietrini, P., et al. (1994). Age-related changes in cortical blood flow activation during visual processing of faces and location. *Journal of Neuroscience*, 14(3), 1450–1462.
- Greene, N. R., & Naveh-Benjamin, M. (2020). A specificity principle of memory: Evidence from aging and associative memory. *Psychological Science*, 31(3), 316–331.
- Hansen, D., Siakaluk, P. D., & Pexman, P. M. (2012). The influence of print exposure on the body-object interaction effect in visual word recognition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 113.
- Hargreaves, I. S., Leonard, G., Pexman, P. M., Pittman, D., Siakaluk, P. D., & Goodyear, B. (2012). The neural correlates of the body-object interaction effect in semantic processing. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 22.
- Hargreaves, I. S., & Pexman, P. M. (2014). Get rich quick: The signal to respond procedure reveals the time course of semantic richness effects during visual word recognition. *Cognition*, 131(2), 216–242.
- Hoffman, P., & Morcom, A. M. (2018). Age-related changes in the neural networks supporting semantic cognition: A meta-analysis of 47 functional neuroimaging studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 84, 134–150.
- Holt, L. E., & Beilock, S. L. (2006). Expertise and its embodiment: Examining the impact of sensorimotor skill expertise on the representation of action-related text. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13(4), 694–701.
- Inkster, M., Wellsby, M., Lloyd, E., & Pexman, P. M. (2016). Development of embodied word meanings: Sensorimotor effects in children's lexical processing. *Frontiers in Psychology*, 7, 317.
- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action: A unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage*, 14(1), S103–S109.
- Jeannerod, M. (2007). Being oneself. *Journal of Physiology-Paris*, 101(4–6), 161–168.
- Johns, B. T., Jones, M. N., & Mewhort, D. (2019). Using experiential optimization to build lexical representations. *Psychonomic Bulletin & Review*, 26(1), 103–126.
- Juhász, B. J., & Yap, M. J. (2013). Sensory experience ratings for over 5,000 mono- and disyllabic words. *Behavior Research Methods*, 45(1), 160–168.
- Kiefer, M., Sim, E.-J., Liebig, S., Hauk, O., & Tanaka, J. (2007). Experience-dependent plasticity of conceptual representations in human sensory-motor areas. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(3), 525–542.
- 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.
- Kosslyn, S. M. (1987). Seeing and imagining in the cerebral hemispheres: A computational approach. *Psychological Review*, 94(2), 148.
- Kuehn, E., Perez-Lopez, M. B., Diersch, N., Dohler, J., Wolbers, T., & Riemer, M. (2018). Embodiment in the aging mind. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 86, 207–225.
- Levelt, W. J. (1993). *Speaking: From intention to articulation* (Vol. 1). MIT press.
- Li, Y., Baldassi, M., Johnson, E. J., & Weber, E. U. (2013). Complementary cognitive capabilities, economic decision making, and aging. *Psychology and Aging*, 28(3), 595.
- Lowry, K. A., Vallejo, A. N., & Studenski, S. A. (2012). Successful aging as a continuum of functional independence: Lessons from physical disability models of aging. *Aging and Disease*, 3(1), 5.
- Lynott, D., & Connell, L. (2009). Modality exclusivity norms for 423 object properties. *Behavior Research Methods*, 41(2), 558–564.
- Lynott, D., & Connell, L. (2010). Embodied conceptual combination. *Frontiers in Psychology*, 1, 212.
- Lynott, D., & Connell, L. (2013). Modality exclusivity norms for 400 nouns: The relationship between perceptual experience and surface word form. *Behavior Research Methods*, 45(2), 516–526.
- Lynott, D., Connell, L., Brysbaert, M., Brand, J., & Carney, J. (2019). The Lancaster Sensorimotor Norms: Multidimensional measures of perceptual and action strength for 40,000 English words. *Behavior Research Methods*, 1–21.
- Lyons, I. M., Mattarella-Micke, A., Cieslak, M., Nusbaum, H. C., Small, S. L., & Beilock, S. L. (2010). The role of personal experience in the neural processing of action-related language. *Brain and Language*, 112(3), 214–222.
- Maguinness, C., Setti, A., Roudnia, E., & Kenny, R. A. (2013). Does that look heavy to you? Perceived weight judgment in lifting actions in younger and older adults. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 795.
- Martin, A. (2007). The representation of object concepts in the brain. *Annu. Rev. Psychol.*, 58, 25–45.
- Meteyard, L., Cuadrado, S. R., Bahrami, B., & Vigliocco, G. (2012). Coming of age: A review of embodiment and the neuroscience of semantics. *Cortex*, 48(7), 788–804.
- Meteyard, L., & Vigliocco, G. (2008). The role of sensory and motor information in semantic representation: A review. *Handbook of Cognitive Science*, 291–312.
- Miceli, A., Wauthia, E., Lefebvre, L., Ris, L., & Loureiro, I. S. (2021). Perceptual Strength Norms of 270 words of the French language and their relationship with other psycholinguistic variables.
- Miceli, A., Wauthia, E., Lefebvre, L., Ris, L., & Simoes Loureiro, I. (2021). Perceptual and Interceptive Strength Norms for 270 French Words. *Frontiers in Psychology*, 12, 2018.
- Miklashevsky, A. (2018). Perceptual experience norms for 506 Russian nouns: Modality rating, spatial localization, manipulability, imageability and other variables. *Journal of Psycholinguistic Research*, 47(3), 641–661.
- Mille, J., Brambati, S. M., Izaute, M., & Vallet, G. T. (2021). Low-resolution neurocognitive aging and cognition: An embodied perspective. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 15.
- Mitchell, D. B. (1989). How many memory systems? Evidence from aging. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15(1), 31.
- Monge, Z. A., & Madden, D. J. (2016). Linking cognitive and visual perceptual decline in healthy aging: The information degradation hypothesis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 69, 166–173.
- Morucci, P., Bottini, R., & Crepaldi, D. (2019). Augmented modality exclusivity norms for concrete and abstract Italian property words. *Journal of Cognition*, 2(1).
- Mulder, T., Hochstenbach, J., Van Heuvelen, M., & Den Otter, A. (2007). Motor imagery: The relation between age and imagery capacity. *Human Movement Science*, 26(2), 203–211.
- Munzell, J., Lorey, B., & Zentgraf, K. (2009). Cognitive motor processes: The role of motor imagery in the study of motor representations. *Brain Research Reviews*, 60(2), 306–326.
- New, B., Brysbaert, M., Veronis, J., & Pallier, C. (2007). The use of film subtitles to estimate word frequencies. *Applied Psycholinguistics*, 28(4), 661–677.
- Patterson, K., Nestor, P. J., & Rogers, T. T. (2007). Where do you know what you know? The representation of semantic knowledge in the human brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(12), 976–987.
- Pecheur, D., Zeelenberg, R., & Barsalou, L. W. (2003). Verifying different-modality properties for concepts produces switching costs. *Psychological Science*, 14(2), 119–124.
- Perlmutter, M. (1978). What is memory aging the aging of? *Developmental Psychology*, 14(4), 330.
- Personnier, P., Ballay, Y., & Papaxanthis, C. (2010). Mentally represented motor actions in normal aging: III. Electromyographic features of imagined arm movements. *Behavioural Brain Research*, 206(2), 184–191.
- Persson, J., Lustig, C., Nelson, J. K., & Reuter-Lorenz, P. A. (2007). Age differences in deactivation: A link to cognitive control? *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(6), 1021–1032.
- Pexman, P. M., Muraki, E., Sidhu, D. M., Siakaluk, P. D., & Yap, M. J. (2019). Quantifying sensorimotor experience: Body-object interaction ratings for more than 9,000 English words. *Behavior Research Methods*, 51(2), 453–466.
- Pexman, P. M., Siakaluk, P. D., & Yap, M. J. (2013). Introduction to the research topic meaning in mind: Semantic richness effects in language processing. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 723.
- Pistono, A., Guerrier, L., Péran, P., Rafiq, M., Giméno, M., Bézy, C., Pariente, J., et al. (2020). Increased functional connectivity supports language performance in healthy aging despite gray matter loss. *Neurobiology of Aging*, 98, 52–62.
- Potter, L. M., Grealy, M. A., & O'Connor, R. C. (2009). Healthy ageing, perceived motor-efficacy, and performance on cognitively demanding action tasks. *British Journal of Psychology*, 100(1), 49–70.
- Prajapati, B., Dunne, M., & Armstrong, R. (2010). Sample size estimation and statistical power analyses. *Optometry Today*, 16(7), 10–18.
- Reilly, J., Peelle, J. E., Garcia, A., & Crutch, S. J. (2016). Linking somatic and symbolic representation in semantic memory: The dynamic multilevel reactivation framework. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23(4), 1002–1014.

- Rejeski, W. J., & Gauvin, L. (2013). The embodied and relational nature of the mind: Implications for clinical interventions in aging individuals and populations. *Clinical Interventions in Aging*, 8, 657.
- 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/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, 71(1), 14.
- Robert, C., Dorot, D., & Mathey, S. (2012). Du campus au jardin: Estimations de fréquence subjective auprès d'adultes jeunes et âgés pour 660 mots de la langue française. *L'Année Psychologique*, 112(2), 227–246.
- 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, 39.
- Rolls, E. (2008). Functions of the orbitofrontal and pregenual cingulate cortex in taste, olfaction, appetite and emotion. *Acta Physiologica Hungarica*, 95(2), 131–164.
- Rossi, J.-P. (2018). *Neuropsychologie de la mémoire*. De Boeck Supérieur.
- Saimpont, A., Pozzo, T., & Papaxanthis, C. (2009). Aging affects the mental rotation of left and right hands. *PLoS ONE*, 4(8), e6714.
- Siakaluk, P. D., Pexman, P. M., Aguilera, L., Owen, W. J., & Sears, C. R. (2008). Evidence for the activation of sensorimotor information during visual word recognition: The body-object interaction effect. *Cognition*, 106(1), 433–443.
- Siakaluk, P. D., Pexman, P. M., Sears, C. R., Wilson, K., Locheed, K., & Owen, W. J. (2008). The benefits of sensorimotor knowledge: Body-object interaction facilitates semantic processing. *Cognitive Science*, 32(3), 591–605.
- Skoura, X., Personnier, P., Vinter, A., Pozzo, T., & Papaxanthis, C. (2008). Decline in motor prediction in elderly subjects: Right versus left arm differences in mentally simulated motor actions. *Cortex*, 44(9), 1271–1278.
- Speed, L., & Brysbaert, M. (2020). *Dutch sensory modality norms*.
- Speed, L. J., & Majid, A. (2017). Dutch modality exclusivity norms: Simulating perceptual modality in space. *Behavior Research Methods*, 49(6), 2204–2218.
- Spielberger, C. D., Gorsuch, R. L., Lushene, R., Vagg, P. R., & Jacobs, G. A. (1983). *Manual for the state-trait anxiety inventory*. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press, Inc.
- Spreng, R. N., & Turner, G. R. (2019). The shifting architecture of cognition and brain function in older adulthood. *Perspectives on Psychological Science*, 14(4), 523–542.
- Spreng, R. N., Wojtowicz, M., & Grady, C. L. (2010). Reliable differences in brain activity between young and old adults: A quantitative meta-analysis across multiple cognitive domains. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(8), 1178–1194.
- Talikh, A., Hargreaves, I. S., Yap, M. J., & Pexman, P. M. (2015). Semantic classification of pictures and words. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 68(8), 1502–1518.
- Thompson-Schill, S. L. (2003). Neuroimaging studies of semantic memory: Inferring “how” from “where”. *Neuropsychologia*, 41(3), 280–292.
- Tillotson, S. M., Siakaluk, P. D., & Pexman, P. M. (2008). Body-object interaction ratings for 1,618 monosyllabic nouns. *Behavior Research Methods*, 40(4), 1075–1078.
- Vallet, G. T. (2015). Embodied cognition of aging. *Frontiers in Psychology*, 6, 463.
- Vallet, G. T., Hudon, C., Bier, N., Maccoir, J., Versace, R., & Simard, M. (2017). A SEMantic and episodic memory test (SEMEP) developed within the embodied cognition framework: Application to normal aging, Alzheimer's disease and semantic dementia. *Frontiers in Psychology*, 8, 1493.
- Vallet, G. T., Hudon, C., Simard, M., & Versace, R. (2013). The disconnection syndrome in the Alzheimer's disease: The cross-modal priming example. *Cortex*, 49(9), 2402–2415.
- Van Dantzig, S., Pecher, D., Zeelenberg, R., & Barsalou, L. W. (2008). Perceptual processing affects conceptual processing. *Cognitive Science*, 32(3), 579–590.
- Van Havermaet, L. R., & Wurm, L. H. (2014). Semantic effects in word recognition are moderated by body-object interaction. *The Mental Lexicon*, 9(1), 1–22.
- Vergallito, A., Petilli, M. A., & Marelli, M. (2020). Perceptual modality norms for 1,121 Italian words: A comparison with concreteness and imageability scores and an analysis of their impact in word processing tasks. *Behavior Research Methods*, 1–18.
- Verhaeghen, P. (2003). Aging and vocabulary score: A meta-analysis. *Psychology and Aging*, 18(2), 332.
- Verhaeghen, P., & Salthouse, T. A. (1997). Meta-analyses of age-cognition relations in adulthood: Estimates of linear and nonlinear age effects and structural models. *Psychological Bulletin*, 122(3), 231.
- Vermeulen, N., Niedenthal, P. M., & Luminet, O. (2007). Switching between sensory and affective systems incurs processing costs. *Cognitive Science*, 31(1), 183–192.
- Vigliocco, G., Meteyard, L., Andrews, M., & Kousta, S. (2009). Toward a theory of semantic representation. *Language and Cognition*, 1(2), 219–247.
- Vignando, M., Aiello, M., Foroni, F., Marcon, G., Tettamanti, M., & Rumiati, R. I. (2018). How experience modulates semantic memory for food: Evidence from elderly adults and centenarians. *Scientific reports*, 8(1), 1–9.
- Wellsby, M., & Pexman, P. M. (2014). Developing embodied cognition: Insights from children's concepts and language processing. *Frontiers in Psychology*, 5, 506.
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(4), 625–636.
- Wulff, D. U., De Deyne, S., Jones, M. N., Mata, R., & Consortium, A. L. (2019). New perspectives on the aging lexicon. *Trends in Cognitive Sciences*, 23(8), 686–698.
- Xue, J., Marmolejo-Ramos, F., & Pei, X. (2015). The linguistic context effects on the processing of body-object interaction words: An ERP study on second language learners. *Brain Research*, 1613, 37–48.
- Yap, M. J., Pexman, P. M., Wellsby, M., Hargreaves, I. S., & Huff, M. (2012). An abundance of riches: Cross-task comparisons of semantic richness effects in visual word recognition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 72.

ETUDE 3

Etude 3 : Investigation de l'impact de la force perceptuelle sur le traitement lexico-sémantique dans le vieillissement sain

Miceli, A., Wauthia, E., Lefebvre, L., Kandana Arachchige, K., Ris, L., & Simoes Loureiro, I. Influence of perceptual strength on conceptual processing: investigation in aging and in lexical-semantic decisions. *Submitted in Advances in Cognitive Psychology*.

Résumé

Si l'intervention du système sensorimoteur dans le traitement sémantique a déjà été démontrée chez l'adulte jeune et plus récemment chez l'enfant, très peu d'études se sont intéressées à cette question dans le vieillissement. En raison des nombreuses modifications cognitives, sensorielles et motrices rencontrées dans le vieillissement et des relations établies entre les systèmes sensorimoteur et conceptuel, il est particulièrement intéressant d'étudier l'évolution des représentations sémantiques au cours de la vie dans cette population. Le but de cette étude est d'explorer l'effet de la force perceptuelle (FP) et du vieillissement sur le traitement lexico-sémantique. Nous comparons les données de 32 jeunes adultes et de 36 adultes âgés en bonne santé dans une tâche de décision lexicale (expérience 1) et une tâche de décision sémantique (expérience 2) qui contrastent des mots avec une FP élevée et une FP faible. Dans l'expérience 1, les mots à FP élevée ont tendance à être traités plus rapidement de manière similaire dans les deux groupes, tandis que dans l'expérience 2 (décision d'imageabilité), les adultes jeunes et âgés montrent des patterns opposées, les adultes plus âgés étant plus rapides pour les mots à faible FP. Les résultats sont discutés au regard de la demande de la tâche qui influence le traitement dans le vieillissement. La tâche d'imageabilité, qui implique probablement une activation directe du système de simulation modale, semble suggérer une modification du traitement perceptuel/sémantique dans le vieillissement.

Influence of perceptual strength on conceptual processing: investigation in aging and in lexical-semantic decisions

Abstract

While the intervention of the sensorimotor system in semantic processing has already been demonstrated in young adults and more recently in children, very few studies have investigated this question in aging. Due to the numerous cognitive, sensory, and motor modifications encountered in aging and the relationships established between the sensorimotor and conceptual systems, it is particularly interesting to study the life-long evolution of semantic representations in this population. The purpose of this study is to explore the effect of perceptual strength (PS) and aging on lexical-semantic processing. We compare data from 32 young healthy adults and 36 healthy older adults in a lexical decision task (experiment 1) and a semantic decision task (experiment 2) that contrast words with high PS and low PS. In experiment 1, high PS words tend to be processed faster similarly in both groups, while in experiment 2 (imageability decision) the young and older adults show opposite patterns, the older adults being faster for low PS. The results are discussed with regards to the demand of the task that influences processing in aging. The imageability task, probably involving direct activation of the modal simulation system, seems to suggest a modification of perceptual/semantic processing in aging.

Keywords: aging; perceptual strength; embodied cognition; lexical-semantic processing

1. Introduction

The question of semantic representations has always fascinated researchers. Knowing how these representations are organized, in which form they are present, and how a meaning is associated with a word, are questions that have given rise to numerous research projects in cognitive science and for which results are still being debated in the literature. Among all the approaches that attempt to provide a comprehensive theoretical framework for conceptual representations many researchers agree on a grounded and distributed view of semantic memory. This is a multimodal approach where cognition is grounded in language, perceptual, motor, sensory, and emotional systems (Barsalou et al., 2008, Dilkina & Lambon Ralph, 2013; Dove, 2009, 2011; Hargreaves & Pexman, 2014; Louwerse & Jeuniaux, 2010; Reilly et al., 2016; Vigliocco et al., 2009; Yap, Pexman, et al., 2012a; Zwaan, 2014). This view of distributed representations comes from extensive evidence involving these various systems in conceptual

processing (for reviews, see Fischer & Zwaan, 2008; Kiefer & Pulvermüller, 2012; Barsalou et al., 2003).

Among these investigations, visual word recognition tasks (e.g., lexical decision, semantic classification, or naming tasks) have been widely used in behavioral and neuroimaging approaches to analyze the impact of multidimensional word meaning on conceptual processing. These tasks can provide cues about how word meaning is represented, which is extracted from print. All of the important dimensions of word meaning that have been investigated have been gathered under the term “semantic richness” (Pexman et al., 2013a). “Semantic richness effects refer to the finding that words associated with relatively more semantic information are recognized faster and more accurately, due to their possessing richer, better-specified semantic representations” (Pexman et al., 2013b, p.1). For instance, it has been shown that words with a high number of semantic features are processed faster in lexical decision or lexical categorization tasks (e.g., Grondin et al., 2006; Pexman et al., 2003; Pexman, Lupker, & Hino, 2002; Pexman et al., 2008). These results have been replicated for other variables, such as the number of semantic neighbours (e.g., Buchanan et al., 2001; Mirman & Magnuson, 2008; Pexman et al., 2008) and semantic associates (e.g., Balota et al., 2004; Pexman et al., 2007).

In this research, we are particularly interested in studies that have investigated the sensorimotor dimensions of word meaning in word recognition, that showed that words with more sensorimotor knowledge generate a greater semantic activation enabling faster responses than words with less sensorimotor knowledge (e.g., Siakaluk, Pexman, Aguilera, et al., 2008). In their investigation of sensorimotor knowledge, researchers have contrasted words with two levels (high and low) of body-object interaction (BOI, a variable representing the extent to which a human can easily interact with a word's referent) and showed that words with high BOI (e.g., “belt”) are processed faster and more accurately than words with low BOI (e.g., “ship”) in lexical decision tasks (Siakaluk, Pexman, Aguilera, et al., 2008; Siakaluk, Pexman, Sears, et al., 2008; Tillotson et al., 2008; Van Havermaet & Wurm, 2014), semantic categorization (Bennett et al., 2011; Hansen et al., 2012; Hargreaves et al., 2012 ; Siakaluk, Pexman, Sears, et al., 2008; Tousignant & Pexman, 2012; Yap, Pexman, et al., 2012a) or sentence reading tasks (Phillips et al., 2012; Xue et al., 2015).

Taken together, these studies suggest that motor experience facilitates word recognition and leads to more efficient semantic processing. The results are interpreted in the context of semantic richness effects: like other variables (e.g., context availability, semantic

neighborhood, number of associates), sensorimotor information is an integral part of lexical semantic knowledge and words associated with richer semantic representations (assessed in this case through the BOI) provide stronger activation to semantic-level representations, allowing for faster responses (Siakaluk, Pexman, Aguilera, et al., 2008). These effects are explained from the activation feedback theory of visual word recognition (Balota, Paul, et al., 1999; Hino & Lupker, 1996; Pexman, Lupker, & Hino, 2002): the visual word recognition system includes orthographic, phonological, and semantic units that are separate but interconnected such that processing in one set of units can influence processing in a different set of units (e.g., activation feedback from semantic units to orthographic units in a lexical decision task, see Siakaluk, Pexman, Aguilera, et al., 2008).

These findings have been replicated in children before 8 years of age (Inkster et al., 2016; Wellsby & Pexman, 2014) and support the role of sensorimotor experience in the acquisition of word meaning. However, while these studies are gradually developing in children, very few studies have focused on aging. In order to allow a more general comprehensive framework for grounded and embodied approaches to cognition, a validation in a lifetime perspective from childhood to aging seems necessary (Loeffler et al., 2016; Vallet, 2015). Aging investigation is indeed essential to understand the evolution of our mental representations. Also, any model, if it aims to be sustainable, must be verified at all stages of normal cognitive development, including aging (Vallet, 2015). Furthermore, given the sensory, motor, and cognitive changes that occur with age and the research indicating an interaction between these changes (Roberts & Allen, 2016), aging is considered to represent a relevant field of exploration within embodied approaches (Costello & Bloesch, 2017; Vallet, 2015).

The present study

While the BOI studies cited above focus on the motor experience with words' referents, this study will have a particular interest in the perceptual (i.e., sensory) experience through the perceptual strength (PS). The PS represents the extent to which a word can be experienced by separate sensory modalities, and is obtained by asking participants to rate the extent to which they experience a word in each of the five sensory modalities on a scale of 0 (not experienced at all) to 5 (highly experienced) (Lynott & Connell, 2009). Estimates of modality exclusivity - that is, a measure of the extent to which a particular concept may be considered unimodal (i.e., perceived through one single sense) or multimodal (i.e., perceived through multiple senses) - can also be obtained from these ratings (Lynott & Connell, 2009). The importance of the PS variable in the multimodal composition of words has been demonstrated in the literature by

showing that the performance in lexical and naming decision tasks can be predicted by PS (e.g., Connell & Lynott, 2012, 2014b; Lynott et al., 2019), and that PS variables are strongly correlated with other semantic variables (i.e., concreteness, imageability, age of acquisition) that are known to affect word processing (Chedid et al., 2019; Juhasz & Yap, 2013; Miceli et al., 2021; Miklashevsky, 2018). We will therefore examine the impact of sensory experience (through PS), which is specific information associated with conceptual knowledge and accessible in language processing via word recognition. If we assume that words with high PS have richer semantic representations (just like high BOI), we should observe a facilitating effect of PS with faster reaction times (RTs) and greater accuracy for words with higher PS, these being potentially associated with greater semantic activation.

While we assume this effect in young adults, this study is completely exploratory in older adults. Indeed, no study to date has investigated the influence of the sensorimotor system in semantic processing in a visual word recognition task in older adults. Vallet et al. (2011, 2013) demonstrated for the first time in a cross-modal priming paradigm that, as for healthy young adults, the nature of knowledge in healthy older adults is also dependent on sensory modalities. However, studies that have examined the relationship between perceptual and memory systems that have subsequently developed in aging have focused on episodic tasks. They showed that, with age, episodic memories are less distinct and more confused and this lower resolution of sensorimotor representations induces interferences in memory (see Mille et al., 2021 for a review). However, we cannot infer hypotheses about the impact of PS on semantic knowledge in aging.

In our study, we also felt important to consider an element that is widely accepted in the literature: the fact that semantic processing is dynamic and flexible. The activated meaning of a word will be modulated by contextual factors such as the demand of the task (see Pexman et al., 2013a). Indeed, it has been widely demonstrated that the type of decision involved in the word recognition task can influence the observed effects as the ongoing demands direct attention from the participants to accomplish the goal of the task (e.g., Pexman et al., 2003; Tousignant & Pexman, 2012; see also Balota & Yap, 2006). Thus, the semantic representation is not static but will depend on the type of task demand which will shape the information.

The differences observed between lexical and semantic decision tasks have drawn our attention. While lexical decision tasks (LDT) require discriminating a word from a non-word, semantic decision tasks (SDT) require discriminating words according to their categories (e.g., animal - object). Moreover, LDT is seen as indirectly activating semantic processing because it is based

on orthographic processing (Hino & Lupker, 1996). In contrast, performance on categorization tasks is seen as more directly involving semantic processing, inducing a deeper processing (Hino et al., 2006). These differences in processing depth have been observed, for example, in tasks involving sensorimotor processing (e.g., Pexman et al., 2019), semantic ambiguity (e.g., Borowsky & Masson, 1996; Hargreaves et al., 2011; Hino et al., 2002, 2006; Pexman et al., 2004; Piercey & Joordens, 2000; Yap et al., 2011), or in various dimensions of semantic richness (Pexman et al., 2008).

In the same idea, an interesting view is provided by Barsalou et al. (2008) who suggest that there are two basic representational systems interacting in a continuous way to achieve conceptual processing: one relying on linguistic representations, and the other on modal representations (see also Paivio, 1971, 1990). These authors consider that the linguistic representation system is superficial because the statistical information associated with the linguistic form of a word is sufficient to correctly perform a task, whereas the modal representation system is involved in the retrieval of deep conceptual information. Therefore, the LDT would be considered as a superficial task that does not activate the modal representation system, whereas this would be the case in SDT which requires access to the meaning of the word. Hence, it seemed obvious to investigate the impact of PS in 2 different tasks, one focusing on orthographic processing (LDT) and the other directly involving semantic representatives (SDT; i.e., is this word easily imageable?).

The goal of this study will be to investigate the impact of PS in semantic processing in young adults as well as in older adults using 2 lexical (experiment 1) and semantic decision (experiment 2) tasks contrasting words with high vs low PS. In young adults, we assume that in both experiments, words with richer semantic representations (represented in our study by high PS words) will produce faster responses. In older adults, the investigation of the impact of PS in conceptual processing as well as the modulation of this processing according to the task is completely exploratory and will allow us to provide indications on the evolution of sensorimotor representations in aging.

2. Method

2.1. Participants

Thirty-two young adults aged between 18 and 29 years old, and 36 older adults aged between 65 and 92 years old were included in this study. Participants were all right-handed and native French speakers. They were recruited through word of mouth, social media ads, as well as through presentation of the study in a senior workshop (for the older adults group). A questionnaire (Likert scale) collecting the number of years of study (i.e., education level) allowed to determine their socio-cultural level. The socio-demographic data of the participants is shown in table 1. The 2 groups were matched in gender ($p = .954$) and on the number of years of study ($p = .467$). Given their impact on cognitive functioning (e.g., Harvey, 2011; Maloney et al., 2014), the inclusion criteria required to present a low level of anxiety assessed with the State-Trait Anxiety Inventory (STAI-Y, Spielberger et al., 1983) for the youth and with the Geriatric Anxiety Inventory (GAI, Pachana et al., 2007) for the older adults. They also had to present low levels of depression assessed with Beck Depression Inventory (BDI-II ; Beck et al., 1996) for the young group and with the Geriatric Depression Scale (GDS-15 ; Clément et al., 1997) for the older group.

In order to ensure that they had homogeneous lexical-semantic abilities, the young adults completed a short assessment including the phonological and semantic fluency test of the GREFEX battery (Godefroy & GREFEX, 2008) and the Similarity test from the Weschler Adult Intelligence Scale (WAIS-IV, Valentine et al., 2020). A short cognitive assessment also allowed to include older adult participants with normal cognitive functioning. This consisted of the Mini-Mental State Evaluation score (MMSE, Derouesne et al., 1999), the Dubois 5-words episodic memory test (Dubois et al., 2002), a semantic and phonological fluency test (Cardebat et al., 1990), the short version of the semantic knowledge questionnaire (Mini QCS, Simoes Loureiro et al., 2018), a short image naming test (TCD-MA, Simoes Loureiro et al., 2021) and a short test of frontal efficiency (BREF, Dartinet & Martinaud, 2005). The statistical data of the different questionnaires and cognitive evaluations are reported in Table 2.

To take part to this study, participants also had to have normal or corrected-to-normal vision. To control for other potential sensory disorders, they also completed a questionnaire evaluating the presence of sensory disturbances (see appendix A). Twenty-two youths and 32 older adults had corrected visual impairments, 9 elders reported hearing impairments (4 of whom wore hearing aids, all 4 of which were considered effective), only 1 older adult mentioned taste and

smell impairments, and 2 older adults mentioned touch impairments (loss of finger sensitivity). Note that we ensured that this information did not affect the results. It was verified whether the dependent variable of interest (reaction times) could be predicted by presenting or not these sensory disorders through linear regression analyses (enter method) (for each task and each condition of interest) and the F-tests evaluating all models were non-significant ($p>.05$). All participants gave their consent before participating to the study.

Table 1. Socio-demographic characteristics of participants

Group	N	Gender	Age	Years of education*
			Mean (SD)	Mean (SD)
Young adults	32	14 women	21.38 (2.81)	4.22(.42)
Older adults	36	16 women	73.78 (7.26)	4.25 (1.18)

* 1= less than primary grades; 2 = primary grades; 3 = middle school; 4 = high school; 5 = bachelor's degree; 6= master; 7= PhD.

Table 2. Mean (M) and standard deviation (SD) of anxiety and depression questionnaires and preliminary assessments of both group

	Young adults M(SD)	Older adults M(SD)
STAI-State	31.72(7.63)	29.33(8.09)
STAI-Trait	41.16(8.29)	-
GAI	-	3.67(4.76)
BDI	9.94(6.78)	-
GDS	-	1.75(1.57)
Similarity test*	26.19(4.2)	-
Phonologic fluency*	21.94(5.75)	22.17(8.28)
Semantic fluency*	31.22(5.82)	30.03(8.37)
MMSE	-	29.11(.79)
5 words test	-	9.64(.90)
Mini QCS	-	11.8(.69)
TCD-MA	-	8.86(.93)
BREF	-	17.03(1.23)

* Raw scores

2.2. Stimuli

The words were selected using the PS ratings collected by Miceli et al. (2021). In this study words were rated by 141 young adults on a scale from 0 (not at all) to 5 (greatly), reflecting the extent to which they were experienced through each perceptual modality (i.e., visual, auditory, haptic, gustative, olfactory). These modalities were each scored separately. Fifty-six concrete common nouns from these norms have been chosen for this study. From these ratings and from PS ratings collected from 55 older adults in a second study (Miceli et al., 2022), 28 words with high PS (e.g., horse) and 28 words with low PS (e.g., ant) were selected (see appendix B). Since it has been shown that the PS ratings of the older adults were different from those of the young people for some modalities (Miceli et al., 2022), it seemed necessary to select 2 groups of words that corresponded to the evaluation of the 2 populations studied. The 2 groups of words were constituted from the summed PS variable (the sum of the 5 perceptual ratings) and divided from the median. First, we summed the PS variables for each group separately. Then, we calculated the median of each group individually (young adults Mdn= 6.58; older adults Mdn = 6.62). The choice of word grouping was then made considering the results for the 2 groups. Indeed, we only selected words that were consistently rated across the two groups (Mdn <6.5 = low PS words; Mdn > 6.7 = high PS words). We found the choice of the PS summed to be the most relevant because it allows each perceptual dimension to be considered equally valuable (Đurđević et al., 2016). Furthermore, Đurđević et al. (2016) showed that the summed PS variable best predicts latency and accuracy of responses in a lexical decision experiment among other variables. Note that the 2 groups of experimental words differ significantly also in terms of modality exclusivity. This is the extent to which a word is multimodal (score close to 0%) or unimodal (score close to 100%), and it is computed by dividing the rating range by the sum, as in the formula below, where M is a vector of mean ratings for each of the five perceptual modalities ($\max M - \min M / \sum M$) (Lynott & Connell, 2009, 2013; Lynott et al., 2019). Therefore, low PS words were more unimodal, while high PS words were more multimodal. The statistic characteristics of the experimental items are presented in Table 3.

Table 3. Mean and standard deviation (SD) characteristics for word stimuli

Word type	Summed PS		Modality Exclusivity	
	Mean (SD)		Mean (SD)	
	Young adults	Older adults	Young adults	Older adults
Low PS	4.88 (1.04)	5.08(.82)	52.40 % (13.60)	49.02 % (13.10)
High PS	9.15 (1.60)	10.74 (1.87)	27.07 % (7.75)	26.20 % (9.03)

The 2 groups of 28 words were matched for the following linguistic and psycholinguistic variables known to be important in word processing ($p > .05$). Objective book and movie frequency, number of letters, number of phonemes, number of phonological and orthographic neighbours and orthographic Levenshtein distance (OLD 20) were collected from New et al. (2007). The experimental words were also matched for age of acquisition, conceptual familiarity, concreteness, imageability, and valence intensity and arousal^a (2 affective variables also impacting word processing (e.g., Ferrand et al., 2018; Estes & Adelman, 2008; Kousta et al., 2009)) from Miceli et al. (2021). In order to match the 2 groups of words regarding the number of features, we collected the number of features (see Hargreaves et al., 2012; Pexman et al., 2003) via the subjective method used by Siakaluak et al. (2008) and the instruction of Toggia and Battig (1978). This collection was conducted with 122 young adults (93 women; Mean age 23.73, SD 4.87; socio-cultural level of bachelor's degree). Finally, it was also important to match high and low PS words on the BOI. As the collection of the BOI in young and older French-speaking adults (Miceli et al., 2022) showed significantly different results between young and older adults, the matching was conducted for these 2 groups respectively. The descriptive statistics for the experimental items are presented in Table 4. We are aware that

^a Information on the scales used:

- AOA: « 0 to 3 years », « 4 and 6 years », « 7 and 9 years », « 10 and 12 years », « over 13 years »
- Concreteness, imageability, conceptual familiarity, number of features: from 1 (very low) to 5 (very high)
- Arousal and BOI: from 0 (very low) to 5 (very high)
- Valence intensity: from 0 (very negative) to 10 (very positive), 5 being neutral

one p -value is near significance. However, the rigorous selection of stimuli that are matched on multiple (psycho)linguistic variables is a very tricky operation that requires a balance between keeping a sufficient number of stimuli and an ideal matching. To keep a correct number of stimuli, we decided to keep this p -value as it is.

Table 4. Descriptive statistics (Mean and SD) for matched variables for word stimuli and U test results

	Low PS	High PS	p
Movie Frequency	13.81(24.43)	31.85(67.83)	.283
Book Frequency	24.45(61.37)	30.16(53.20)	.466
Number of letters	6.29(1.96)	5.64(1.85)	.205
Number of phonemes	4.55(1.65)	4.18(1.22)	.493
Phon. neighbours	8.36(9.51)	10.50(8.51)	.253
Orth. neighbours	4.32(5.11)	4.50(3.89)	.431
OLD	8.13(32.71)	1.75(.48)	.215
AoA	5.36(1.35)	5.57(1.71)	.664
Conceptual Fam.	2.94(.77)	3.01(.31)	.302
Concreteness	4.63(.20)	4.71(.22)	.053
Imageability	4.75(.19)	4.79(.18)	.254
Valence intensity	5.90 (1.49)	6.39(1.64)	.204
Arousal	2.04(.34)	2.25(.49)	.078
Number of features	2.61(.31)	2.56(.46)	.752
BOI (young group)	2.09(1.07)	2.51(.67)	.152
BOI (elders group)	1.71(1.11)	2.24(.60)	.061

Note. Phon.neighbours, phonological neighbours ; Orth.neighbours, orthographical neighbours ; OLD, orthographic Levenshtein distance ; AoA, age of acquisition; Conceptual Fam., conceptual familiarity.

For the LDT, 56 pronounceable non-words were created as fillers. They were generated directly from Wordgen program (Duyck et al., 2004). Experimental words and non-words were matched on the number of letters, the number of phonemes, the number of phonological and orthographic neighbours, the orthographic Levenshtein distance (OLD 20) (New et al., 2007) and on bigram frequency (from Wordgen software, Duyck et al., 2004) so that the non-words respected the orthographic typicality.

For the SDT, 56 abstract words were included as fillers items. Since no data base of abstract words exists in the French language, 41 were selected from Ferrand (2001) and 15 from Bonin et al. (2003), with a concreteness rating below 2. Experimental words and fillers were matched for the number of letters, the number of phonemes, the number of phonological and orthographic neighbours, and the orthographic Levenshtein distance (OLD 20) (New et al., 2007).

Descriptive statistics of the used stimuli as well as the database from which the stimuli were selected are available via OSF, at https://osf.io/926fn/?view_only=28a90de4d3d84a08a1f3476c13709cc4.

2.3. Apparatus and procedure

The E-prime 3.0 software was used for stimuli presentation on a 17-inch HP Probook computer. Each trial began with a fixation cross (1000 ms), replaced by a word (or non-word in the LDT) until the participant gave their response. The inter-trial interval (ITI) was 2000 ms (blank screen). The presentation of the stimuli was pseudo-randomized to control the precise order of appearance of the stimuli. Indeed, the presentation was such that no experimental word was followed by an experimental item of the same category to exclude potential semantic (taxonomic) priming effects. To exclude order effects, the list of 112 pseudo-randomized items was then divided into 4, allowing for 4 versions of the protocol to be created, each presenting the same items in 4 different orders. The protocol version was randomly assigned across participants. Each participant was asked to perform 10 training items, half of which were nonwords (LDT - experiment 1) or abstracts words (SDT - experiment 2).

In the LDT (experiment 1), the instruction given was to decide whether the sequence of letters presented on the screen was a word in the French language or not. In the SDT (experiment 2), participants were asked to decide if the word presented was an easily imageable word or not. They were asked to answer as accurately and quickly as possible (see Appendix C for the

instruction). They had to answer yes or no by pressing the green (yes) or red (no) button on the answer box. The task lasted approximately 10 minutes depending on the speed of the participants. A break was proposed halfway through the task and participants could decide to take it or simply continue the task.

Before performing the SDT, participants were asked to give a score representing their mental imageability ability; they were asked to estimate their ability to form a visual mental image of the referent of a concrete word on a scale from 1 (very easy) to 10 (very difficult). In order to acquire an insight into the response strategies employed by the participants in the SDT, they were given a short questionnaire at the end of the task on the sensory modality used to answer the following question: “Is this word easily imageable?” (See appendix D for the questionnaire and appendix E for the average of the participants’ answers).

The same participants performed both tasks. They took a break of minimum 10 minutes between each task. The order of presentation of the tasks was counterbalanced between the participants.

2.4. Statistics

2.4.1. Data cleaning

All analyses were conducted using R [3.5.1] (RStudio Team, 2015).

The percentage of correct performance on the LDT was 97.8% in the young group and 98.5% in the older group. For the SDT, one subject in the older group was excluded due to a success rate below 50%. The percentage of correct answer for the whole categorization task was 95.7% for the young subjects and 96.6% for the 35 older participants analyzed. The following analyses were performed only on the correct answers for the 2 experimental conditions of interest, i.e., on the 56 experimental items (28 high PS and 28 low PS).

The outliers were excluded from the dataset. First, response latencies below 250 ms and above 2500 ms were removed from the data sets. Also, for each participant and for each of the 2 experimental conditions, responses deviating by 2 standard deviations from the mean of each condition were considered as outliers and removed. As such, a total of 91 observations (5.12% of the young data set) and 92 observations (4.56% of the older adults’ data set) were removed respectively in the 2 groups for the LDT. A total of 99 observations (5.8% of the data for the

young group) and 123 observations (6.5% of the elders one) were removed for the SDT. The means of the raw RTs and the mean accuracy for high vs low words are presented in Table 5.

Table 5. Mean (M) reaction times in millisecond and standard deviation (SD) for both group with mean accuracy and SD

Word type	LDT		SDT	
	Young adults M(SD)	Older adults M(SD)	Young adults M(SD)	Older adults M(SD)
Raw score RT				
Low PS	541.54(68.41)	678.92(69.05)	646.73(91.05)	774.04(129.27)
High PS	528.01(67.14)	674.69(83.31)	638.61(97.36)	793.04(154.88)
Accuracy				
Low PS	.99(.02)	.99(.01)	.99(.02)	.99(.01)
High PS	.99(.02)	.99(.02)	.98(.02)	.97(.04)

2.4.2. Analyses with linear mixed effects modeling

Due to the limits of repeated measures analyses of variance highlighted in recent literature, we used linear mixed effects models (LMEM) that enabled to examine the conditions of interest while taking into account the variability within and across participants and items concurrently (see Baayen et al., 2008; Brown, 2021; Yu et al., 2021). Because our study was exploratory, we decided to analyze each group individually before testing the interaction effect between the group and condition (i.e., low PS vs. high PS). We used the packages « lme4 » [version 1.1-18-1] (Bates, Maechler, Bolker, & Walker, 2015) and « afex » [0.23-0] (Singmann, Bolker, & Westfall, 2015) to perform our statistical analysis in R [3.5.1] (RStudio Team, 2015).

The R script used to generate the models described in this article are available via OSF, at https://osf.io/926fn/?view_only=28a90de4d3d84a08a1f3476c13709cc4.

Firstly, we ran a linear/logistic mixed effects model that predicted RTs and accuracy in each group individually, using condition (i.e., low or high PS) as fixed effect. We used a dummy coding such that the low PS condition serves as the reference level and was coded 0, and the high PS condition was coded 1. Fixed and random intercepts for participants and items were included. By-participant random slopes were also included. Because our stimuli were different in each condition, we could not include by-item slope (Brown, 2021). Also, since we were

concerned about checking that the counterbalancing order of the two tasks did not influence the results, we also added the order as a fixed effect. As our model had multiple fixed effect, we used the *mixed()* function with the argument *method* = 'LRT' to conduct the likelihood-ratio tests (Brown, 2021).

In each group, we could detect new outliers with the *coef()* function (see Brown, 2021). Participants were considered outliers when their effect of the condition was greater or less than 2 standard deviations of the participants' slope (see an example of the method via https://osf.io/926fn/?view_only=28a90de4d3d84a08a1f3476c13709cc4). Following this analysis, one outlier was removed in each group in both LDT and SDT. All the models presented in point 5 were therefore run without these outliers (LDT: N = 31 young adults and 35 older adults; SDT: N = 31 young adults and 34 older adults).

Secondly, we ran a linear/logistic mixed effects model that predicted RTs and accuracy using condition (low or high PS) and group interaction (the dummy coding for the young adults group was coded 0 and the older adults group was coded 1) as fixed effect (the order of the tasks was also included as controlled variable). The *mixed()* function with the argument *method* = 'LRT' was used to conduct the likelihood-ratio tests.

When the likelihood-ratio test was significant for either fixed effect, we presented the model summary in a table.

Note that in each group, we performed a power analysis to ensure that our sample size was sufficient. We used the online program proposed by Westfall et al. (2014) using a *d* effect size at 0.4 as recommended by Brysbaert and Stevens (2018). The results showed that the power was greater than .90 for both young adults group (LDT = .985; SDT = .992) and older adults group (LDT = .958; SDT = .94).

3. Results and discussions

3.1. Experiment 1 – LDT

3.1.1. Young adults group

We ran a LMEM that predicted RTs using condition and order of the task as fixed effect and the participant and items as random effects. The likelihood-ratio test indicated that the model including the PS condition and order of the tasks was not significant for the order [$\chi^2(1) = 0, p$

=.98] and was at the limit of significance for the condition [$\chi^2(1) = 3.86, p = .05$]. The summary of the model is shown in Table 6 (note that since order was a control variable and was insignificant, it was not included in the model summary). These results indicate that young adults tend to process words with high PS faster (18 ms faster; $\beta = -18.23, SE = 9.23, t = -1.98$) than word with low PS, resulting in predicted RTs of 527 ms and 545 ms respectively.

Table 6. LMEM predicting lexical decision task reaction times in the young adults group

	Coefficient	SE	df	t value	<i>p</i> value
Fixed effect					
Intercept	544.87	13.51	41.81	40.33	<.001
PS condition	-18.23	9.23	54.87	-1.98	0.053
Variance				SD	
Random effect					
Participant					
Intercept		4467.5		66.84	
PS condition		262.1		16.19	
Stimuli					
Intercept		855.4		29.25	

We ran a logistic mixed effects model that predicted accuracy using condition and order of the task as fixed effect and the participant and items as random effects. The likelihood-ratio test indicated that the model including the PS condition and order of the tasks was no significant for the order [$\chi^2(1) = 0.04, p = .840$] and for the condition [$\chi^2(1) = 1.56, p = .212$].

3.1.2. Older adults group

As for the young adults group, we performed the same LMEM analysis for the older adults group.

For the RTs, the likelihood-ratio test indicated that the model including the PS condition and order of the tasks was not significant for the order [$\chi^2(1) = 1.94, p = .164$] nor for the condition [$\chi^2(1) = 0.41, p = .523$].

For the accuracy, the likelihood-ratio test indicated that the model including the PS condition and order of the tasks was not significant for the order [$\chi^2(1) = 0.03, p = .987$] nor for the condition [$\chi^2(1) = 0.50, p = .481$].

3.1.3. Interaction analysis

A LMEM that predicted reaction times was run, this time using interaction between condition and group. The likelihood-ratio test indicated that the model including the interaction between group and condition and the order of the tasks was non-significant for the interaction [$\chi^2(1) = 2.23, p = .135$] and for the order of tasks [$\chi^2(1) = 0.63, p = .427$]. The group effect was significant [$\chi^2(1) = 46.4, p < .001$] indicating that the older adults were significantly slower than the younger, with an estimated average slowdown of 131 ms ($\beta = 130.9, SE = 16.12, t = 8.12$). Finally, the PS effect was non-significant [$\chi^2(1) = 3.52, p = .061$], although tendentious. See Table 7 for a summary of the model. Because the order of the task was a control variable and was insignificant, it was not included in the table.

Table 7. LMEM estimates for the RT interaction effect of PS in the lexical decision task

	Coefficient	SE	df	t value	<i>p</i> value
Fixed effect					
Intercept	550.09	14.84	82.85	37.06	<.001
PS condition	-17.66	9.42	77.15	-1.88	.065
Group	130.90	16.12	63.03	8.12	<.001
PScondition:group	10.57	7.08	63.94	1.49	.140
Variance			SD		
Random effect					
Participant					
Intercept	3998.3		63.23		
PS condition	308.0		17.55		
Stimuli					
Intercept	868.5		29.47		

A logistic mixed effects model that predicted accuracy was run using interaction between condition and group. Since the model did not converge, we added the « bobyqa » optimizer. The likelihood-ratio test indicated that the model including the interaction between group and

condition and the order of the tasks was non-significant for the interaction [$\chi^2(1) = 1.93$, $p = .165$], the order of the tasks [$\chi^2(1) = 0.08$, $p = .784$], the condition [$\chi^2(1) = 2.94$, $p = .087$] and the group [$\chi^2(1) = 3.65$, $p = .084$].

3.1.4. Discussion

The analysis of the interaction effects between group and condition is interesting concerning the RTs. Indeed, although classically considered insignificant, it cannot be denied that the results of the condition effect ($p = .061$) are close to the significance threshold and that there is nevertheless a trend suggesting that high PS words tend to be processed quicker when comparing the two groups (see Wasserstein & Lazar, 2016 for a discussion of the statement on p -values). Given that this study is exploratory, these data lead to important considerations for future studies and encourage further investigation. Hence, when healthy older participants are compared to younger participants, they show a similar pattern (significantly trending) reflecting a relatively faster processing for high PS words than for low PS words. Like other variables discussed in the literature, PS captures sensorimotor information that appears important for lexical processing. Given their faster processing, high PS words tend to be semantically richer (see General discussion).

The group effect observed in the interaction analysis simply highlights a slowing of RTs in older adults, which is widely recognized in the literature (Salthouse, 1994, 1996b, 2000).

The analysis also revealed that starting the protocol with the lexical decision task or with the semantic decision task does not influence the results.

The LMEM analysis also allowed us to test a model that considers the variability of participants and stimuli within each group individually. Regarding the young adults, a condition effect tends to be observed ($p = .05$). As we had hypothesized, young adults tend to be faster for high PS words. However, the analysis of the older adults group shows no PS effect. This individual group analysis therefore seems to reveal that, although a trend is present when comparing the 2 groups together, the PS effect is not sufficient to stand out in the older adults group alone. The fact that this PS effect appears in the model analysis for the younger but not for the older group is questionable. One possible explanation is that older adults, having more sensorimotor experience, would exhibit a sort of ceiling effect resulting in a lack of significant effect between the 2 PS conditions. It is also possible that the selected stimuli are not sensitive enough for the

effect to emerge within the older group. The combination of these two explanations together is also plausible.

Concerning the possible lack of sensitivity of the stimuli, we remind that the selection of the items was made by considering the evaluations of the two groups, and that the items were chosen to correspond to the two evaluations. It is therefore possible that this choice limited some of our effects. This leads to methodological considerations for future investigations.

3.2. Experiment 2 – SDT

For this second experiment, the analysis was strictly similar to the LDT.

3.2.1. Young adults group

For the RTs, the likelihood-ratio test indicated that the model including the PS condition and order of the tasks was not significant for the order [$\chi^2(1) = 0.72, p = .395$] nor for the condition [$\chi^2(1) = 0.28, p = .598$].

For the accuracy, the likelihood-ratio test also indicated that the model including the PS condition and order of the tasks was not significant for the order [$\chi^2(1) = 0.01, p = .923$] nor for the condition [$\chi^2(1) = 2.79, p = .095$].

3.2.2. Older adults group

For the RTs, the likelihood-ratio test indicated that the model including the PS condition and order of the tasks was not significant for the order [$\chi^2(1) = 1.26, p = .262$] nor for the condition [$\chi^2(1) = 1.34, p = .248$].

For the accuracy, the likelihood-ratio test indicated that the model including the PS condition and order of the tasks was not significant for the order [$\chi^2(1) = 1.39, p = .239$] nor for the condition [$\chi^2(1) = 1.12, p = .289$].

3.2.3. Interaction analysis

For the RTs, the likelihood-ratio test indicated that the model including the interaction between group and condition and the order of the tasks was non-significant for the order [$\chi^2(1) = 0.14, p = .709$] and for the PS condition [$\chi^2(1) = 0.10, p = .747$] but was significant for the group [$\chi^2(1) = 22.72, p < .001$] and for the interaction [$\chi^2(1) = 5.98, p = .014$]. See Table 8 for a

summary of the model. As in the LDT, the group effect meant that the older adult group was slower than the younger. For the interaction effect, while young adults were faster for the high PS words (low PS = 645ms; high PS = 640ms), older adults were faster for the low PS words (low PS=768ms; high PS = 787ms).

Table 8. LMEM estimates for the RT interaction effect of PS in the semantic decision task

	Coefficient	SE	df	t value	<i>p</i> value
Fixed effect					
Intercept	644.52	22.99	85.57	28.03	<.001
Condition PS	-4.87	15.29	63.78	-0.32	.751
Group	123.14	24.12	61.98	5.11	<.001
PScondition:group	24.44	9.86	61.52	2.48	.016
	Variance			SD	
Random effect					
Participant					
Intercept		8788.3		93.75	
PS condition		301.1		17.35	
Stimuli					
Intercept		2468.4		49.68	

For the accuracy, since the model did not converge, we added the « bobyqa » optimizer. The likelihood-ratio test indicated that the model including the interaction between group and condition and the order of the tasks was non-significant for the order [$\chi^2(1) = 0.03$, $p = .871$], for the PS condition [$\chi^2(1) = 1.58$, $p = .209$], for the group [$\chi^2(1) = 0.02$, $p = .883$] and for the interaction [$\chi^2(1) = 0.58$, $p = .447$].

Additionally, a correlation analysis was performed between the score representing participants' subjective imageability abilities and task performance (mean RTs) for the 2 experimental conditions. The results were not significant for the low PS ($\rho = .218$, $p = .094$) nor the high PS condition ($\rho = .148$, $p = .260$), meaning that the results do not vary according to the imageability abilities of the participants.

Given the extensive literature reporting that the instruction of the task can influence the semantic processing (see Balota & Yap, 2006), we analyzed the answers to the questionnaire

of response strategies (appendix D and E) in order to control the response strategies used by the participants, and to ensure that they used the same strategy. Given that the imageability instruction involves mainly the visual modality, we performed paired tests (Wilcoxon) to compare the visual strategy with the other strategies and to observe if the visual strategy was indeed the most used. The results showed that the visual strategy was indeed significantly superior to the auditory ($p < .001$), gustatory ($p < .001$), haptic ($p < .001$), olfactory ($p < .001$) and multimodal ($p < .001$) strategies.

3.2.4. Discussion

While the analysis performed individually in each group shows no effect (neither for RTs nor for accuracy), we observe a significant interaction effect between group and condition for RTs. This means that an effect appears when comparing the 2 groups together. While young people are faster for high PS words, older people are faster for low PS words and conversely. The pattern of results for young people is therefore similar to what was expected, i.e., shorter RTs for high PS that are supposed to be semantically richer. However, older adults show an opposite pattern and have an easier time processing for words considered to be semantically weaker (low PS items). These results seem to suggest that aging leads to a change in perceptual processing and leads to reflections about the depth of processing involved in the task (see General discussion).

As for the LDT, the group effect observed is related to the slowing down of information processing known in aging.

In this study, we were also able to exclude an effect of the order of presentation of the tasks.

Further analysis revealed that the results did not vary according to the imageability abilities of the participants, and that the visual strategy was used in priority to the other modalities.

4. General discussion

In this study, we wanted to investigate whether words with more perceptual information (high PS words) generate greater semantic activation than words with less perceptual information (low PS words) in line with previous studies that investigated these same questions with the BOI (Siakaluk, Pexman, Aguilera, et al., 2008). In particular, we wanted to know if differences

exist in aging in order to question the evolution of sensorimotor representations in lexical semantic processing. To do so, two types of visual word recognition tasks were used, allowing us to observe the impact of the task on the results; one activating the lexical units (experiment 1) and the other directly activating the semantic processing (experiment 2).

In the LDT, the results tended to show faster RTs for high PS for both the younger and older group. We thus observe that words associated with more perceptual/sensory information tend to be processed faster in both groups. The high PS words can therefore be considered as being semantically richer and join other semantic variables (e.g., high number of semantic features, high number of semantic associates) that allow for a faster word processing (see Pexman et al., 2013a). The activation of semantic representations was therefore elicited in a task involving simple linguistic processing (word-nonword distinction). These results resonate with the numerous studies that have demonstrated the impact of semantic representations in lexical decision tasks (e.g., Yap, Pexman, et al., 2012a). As discussed in the introduction, activation feedback theory is relevant to understand these results: words with high PS are associated with greater semantic information and tend to cause greater activation feedback from semantic units to orthographic units (Balota et al., 1991; Harm & Seidenberg, 2004; Siakaluk, Pexman, Sears, et al., 2008). Thus, access to semantic information was prompted from the activation of orthography. Balota et al. (2004) also suggest that word-nonword discrimination amounts to distinguishing between stimuli with and without meaning, implying that participants will prioritize semantic information upfront. As the team of Siakaluk et al. showed with the BOI, the facilitating effect of PS that was expected (i.e., faster RTs for high PS words) tends to occur because this variable facilitates semantic processing. While our results tend to corroborate the fact that perceptual information is an integral part of the conceptual system (Barsalou, 1999, 2003), we can also conclude that older adults access semantic representations (in this case perceptual information) in the same way as younger adults. At this point, we assume that the salience of perceptual information in lexical processing remains important in aging.

On the other hand, the different results between young and older adults in the SDT raise some very interesting discussion points. Indeed, the analysis of RTs revealed an interaction effect: young people were faster for high PS words and older adults presented, on the contrary, faster RTs for low PS words. While processing differences between the lexical and semantic task did not influence the pattern of results for young adults for RTs, older adults showed an opposite pattern in the SDT. In this task, the imageability instruction emphasized one modality in particular (i.e., visual, forming a mental image) and the questionnaires of the strategies used by

the participants allowed us to determine that the visual strategy dominated the other modalities in both groups. The emphasis of the instruction on an imageability strategy thus seems to have only modulated processing in the aging group.

As mentioned in the introduction, we decided to add a semantic processing task because it implies a direct semantic activation of the representations (see Hino et al., 2006). Barsalou's Language And Situated Simulation (LASS) theory seems to be able to give us an insight on the difference between the tasks. Barsalou et al. (2008) suggest that, depending on the conditions of the task, conceptual processing will be dominated by linguistic processing or by simulation. A task involving linguistic form will primarily involve the language system, which is considered superficial, whereas a task involving deeper meaning processing will involve the modal system to a greater extent. Barsalou et al. (2008) suggest that when the LDT is simple (i.e., no phonological and orthographic similarity between words and non-words), access to meaning is not necessary; the retrieval of the linguistic form and its associated statistical information is sufficient to correctly perform a task, without necessarily having to retrieve deep conceptual information. However, if the task is finer (i.e., phonological and orthographic compliance), it requires deeper processing because meaning must be retrieved to verify that the stimulus is a word (e.g., James, 1975; Joordens & Becker, 1997; Shulman & Davidson, 1977; Yap et al., 2006).

We can therefore suggest that the LDT induced a shallower processing than the SDT, the latter directly involving the activation of meaning and being deeper. Note that our methodology used for LDT was purposely chosen so that the non-words respect the orthographic and phonological rules of the French language, making the task more complex and allowing access to meaning. We therefore assume that, in the LDT, access to meaning was required from the outset, inducing an almost significant PS effect. However, given that the instruction did not require direct access to meaning, we assume that the LDT still induced a less deep processing than the imageability task activating the modal system directly. Note that it is also probably for these reasons that the results for the LDT were not straightforward.

From this point of view, this means that the imageability task directly activated the semantic representations (corresponding to the modal system according to the LASS theory), and this depth of processing could be at the origin of the emergence of divergent processing of the PS in aging. We therefore assume that it was the focus on the imageability instruction that activated the modal simulation system early on, revealing differences in processing between young and older adults. In line with embodied models of cognition, this simulation system assumes that

the multimodal experiences that an individual has of the environment via their body constitute memory traces distributed across multiple neural systems. The principle of simulation will allow the reactivation of these traces: the brain simulates (recreates) the multimodal states associated with the traces of these experiences and makes the associated representation emerge (Barsalou, 2008). It seems that divergences observed in aging regarding the processing of PS emerge at this stage. From this observation, a major question emerges: what are the reasons for these differences in the group of healthy older adults?

Studies investigating multisensory integration (i.e., combining information from different senses, Freiherr et al., 2013; Stein & Meredith, 1990; Talsma, 2015) are of particular interest for understanding changes in sensory processing in aging. The literature on multisensory processing in aging shows that older adults exhibit greater multisensory integration than younger adults (e.g., Laurienti et al., 2006; Murray et al., 2016; Peiffer et al., 2007; for a review see Freiherr et al., 2013 and Mozolic et al., 2012). For example, Diederich et al. (2008) showed that older subjects benefit more from bimodal (visual and auditory) than unimodal stimulation in stimulus detection. Several studies have replicated these results by comparing various bimodal and unimodal conditions (e.g., Diaconescu et al., 2013; Laurienti et al., 2006; Mahoney et al., 2011, 2012; Peiffer et al., 2007). Although different explanatory hypotheses for this multisensory benefit are discussed in the literature without reaching a consensus to explain this phenomenon, those involving attentional control mechanisms in aging are of particular interest to the present study. Since top-down inhibitory processes become less effective with age, older people have more difficulty filtering out irrelevant and distracting stimuli, and this difficulty in suppressing background irrelevant sensory information for the current sensory task would result in improved multisensory processing (Laurienti et al., 2006; Peiffer et al., 2009). Thus, if external sensory information becomes relevant for task performance, it is automatically processed and integrated, and older adults will show a greater gain than younger adults (Mozolic et al., 2012).

Regarding our study, the high PS stimuli are multisensory (modality exclusivity scores of the high PS are significantly lower than those of the low PS) and each of the modalities that compose the concept is unquestionably very integrated with the others. For example, for the word *pineapple*, its taste and smell are strongly associated, and these cannot be considered without considering its oval shape topped by a bunch of leaves and its rough scales. The low PS, however, presents a weaker multisensoriality (generally unimodal or bimodal words). For example, the word *eagle* has visual and perhaps auditory relevance but has little implication for

the other modalities. Therefore, when older participants focus their attentional control on the visual modality (i.e., imageability), we assume that they inhibit less easily than younger participants the other multisensory aspects embedded in high PS stimuli, leading to slower processing. On the other hand, since low PS are less multisensory, the visual simulation implied by the imageability instruction is made easier, leading to faster processing in the older participants group.

Our study thus showed a shift in sensory processing with age when top-down attention was specifically directed to a sensory modality. This effect is observed only in the SDT and not in the LDT, showing that this shift is only observed during deeper processing directly involving the activation of the modal system (Barsalou et al., 2008).

Limitations of our study can be highlighted regarding the methodology. Indeed, this study being exploratory, we decided to split the high vs. low word group from the summed strength variable in order to give equal importance to each perceptual dimension. However, there were other possibilities, such as maximum strength (i.e., the highest rating across the different sensory dimensions) (e.g. Lynott et al., 2019), or Minkowski distance (which attenuates the weaker sensory dimensions) (To et al., 2011), and it would be interesting to observe whether the results concur using another variable than the one used in the present study. Also, while it has been highlighted that older people show higher PS for some modalities (e.g., gustatory and olfactory) and in particular for certain categories of words (Miceli et al., 2022), we were only able to create a single protocol to compare young and older participants. The selection of the 2 groups of words (high vs. low PS) therefore had to consider the 2 different evaluations in the categorization of high vs. low, making the choice of words stimuli perhaps less relevant. It would therefore be very interesting to investigate each group separately by selecting for each one of them 2 corpus of words with very extreme PS scores and specific to each age group. This would allow a more detailed investigation, although a group comparison would no longer be relevant in this case. Finally, our interpretations concerning the inhibition abilities influencing the sensory processing of older adults would deserve more attention in order to verify our hypotheses. For example, it would be interesting to investigate whether the results vary according to the inhibition abilities of individuals.

Conclusion

Our results suggest that perceptual information is an integral part of the conceptual system and corroborate those of previous studies on the involvement of sensorimotor information in representations. We hypothesize that the top-down modulation involved in the SDT instruction induces a deeper processing that has been shown to differentiate the processing of sensorimotor representations in aging. Thus, while perceptual representations are processed in the same way in the LDT in older adults, we note that when attention is forced on a specific perceptual strategy, semantic processing will be modulated. We propose the explanatory hypothesis of an external cause to the sensory systems (i.e., inhibition). The hypothesis of a failure to inhibit the activation of the sensory modalities associated with high PS seemed the most coherent to explain the results of the SDT, contrary to LDT where the impact of high PS (although statistically arguable) is similar between young and older adults.

We remind however that our study was exploratory and that these are the very first results on the impact of sensory information on semantic processing in aging. Further investigations are needed, in particular to understand whether the sensorimotor system is modulated by external factors to the sensory systems (i.e., attentional processes) or by modifications in the perceptual processing itself.

References

- Baayen, R.H., Davidson, D.J., & Bates, D.M. (2008). Mixed-effects modeling with crossed random effects for subjects and items. *Journal of Memory and Language*, 59(4), 390-412.
- Balota, D.A., Cortese, M.J., Sergent-Marshall, S.D., Spieler, D.H., & Yap, M.J. (2004). Visual word recognition of single-syllable words. *Journal of experimental psychology: General*, 133(2), 283.
- Balota, D.A., Ferraro, F.R., & Connor, L.T. (1991). On the early influence of meaning in word recognition: A review of the literature. *The psychology of word meanings*, 187-222.
- Balota, D.A., Paul, S.T., & Spieler, D.H. (1999). Attentional control of lexical processing pathways during word recognition and reading. *Language processing*, 15-57.
- Balota, D.A., & Yap, M.J. (2006). Attentional control and the flexible lexical processor: Explorations of the magic moment of word recognition. *From inkmarks to ideas: Current issues in lexical processing*, 229.
- Barsalou, L. (2003). Situated simulation in the human conceptual system. *Language and cognitive processes*, 18(5-6), 513-562.
- Barsalou, L.W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and brain sciences*, 22(4), 577-660.
- Barsalou, L.W. (2008). Grounded cognition. *Annu. Rev. Psychol.*, 59, 617-645.
- Barsalou, L.W., Santos, A., Simmons, W.K., & Wilson, C.D. (2008). Language and simulation in conceptual processing. *Symbols, embodiment, and meaning*, 245-283.
- 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.
- Beck, A.T., Steer, R.A., & Brown, G. (1996). Beck depression inventory–II. *Psychological Assessment*.
- Bennett, S.D., Burnett, A.N., Siakaluk, P.D., & Pexman, P.M. (2011). Imageability and body–object interaction ratings for 599 multisyllabic nouns. *Behavior research methods*, 43(4), 1100-1109.
- Bonin, P., Peereman, R., Malardier, N., Méot, A., & Chalard, M. (2003). A new set of 299 pictures for psycholinguistic studies: French norms for name agreement, image agreement, conceptual familiarity, visual complexity, image variability, age of acquisition, and naming latencies. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 35(1), 158-167.
- Borowsky, R., & Masson, M.E. (1996). Semantic ambiguity effects in word identification. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22(1), 63.
- Brown, V.A. (2021). An introduction to linear mixed-effects modeling in R. *Advances in Methods and Practices in Psychological Science*, 4(1), 2515245920960351.
- Brysbaert, M., & Stevens, M. (2018). Power analysis and effect size in mixed effects models: A tutorial. *Journal of cognition*, 1(1).
- Buchanan, L., Westbury, C., & Burgess, C. (2001). Characterizing semantic space: Neighborhood effects in word recognition. *Psychonomic bulletin & review*, 8(3), 531-544.
- Cardebat, D., Doyon, B., Puel, M., Goulet, P., & Joannette, Y. (1990). Evocation lexicale formelle et sémantique chez des sujets normaux. Performances et dynamiques de production en fonction du sexe, de l'âge et du niveau d'étude. *Acta neurologica belgica*, 90(4), 207-217.
- Chedid, G., Brambati, S.M., Bedetti, C., Rey, A.E., Wilson, M.A., & Vallet, G.T. (2019). Visual and auditory perceptual strength norms for 3,596 French nouns and their relationship with other psycholinguistic variables. *Behavior research methods*, 51(5), 2094-2105.

- Clément, J., Nassif, R., Léger, J., & Marchan, F. (1997). Development and contribution to the validation of a brief French version of the Yesavage Geriatric Depression Scale. *L'encephale*, 23(2), 91-99.
- Connell, L., & Lynott, D. (2012). Strength of perceptual experience predicts word processing performance better than concreteness or imageability. *Cognition*, 125(3), 452-465.
- Connell, L., & Lynott, D. (2014). Principles of representation: Why you can't represent the same concept twice. *Topics in Cognitive Science*, 6(3), 390-406.
- Costello, M.C., & Bloesch, E.K. (2017). Are older adults less embodied? A review of age effects through the lens of embodied cognition. *Frontiers in psychology*, 8, 267.
- Dartinet, V., & Martinaud, O. (2005). La BREF, une batterie rapide d'évaluation frontale. *NPG Neurologie-Psychiatrie-Gériatrie*, 5(29), 43-46.
- Derouesne, C., Poitreneau, J., Hugonot, L., Kalafat, M., Dubois, B., & Laurent, B. (1999). Mini-Mental State Examination: a useful method for the evaluation of the cognitive status of patients by the clinician. Consensual French version. *Presse medicale (Paris, France: 1983)*, 28(21), 1141-1148.
- Diaconescu, A.O., Hasher, L., & McIntosh, A.R. (2013). Visual dominance and multisensory integration changes with age. *NeuroImage*, 65, 152-166.
- Diederich, A., Colonius, H., & Schomburg, A. (2008). Assessing age-related multisensory enhancement with the time-window-of-integration model. *Neuropsychologia*, 46(10), 2556-2562.
- Dilkina, K., & Lambon Ralph, M.A. (2013). Conceptual structure within and between modalities. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 333.
- Dove, G. (2009). Beyond perceptual symbols: A call for representational pluralism. *Cognition*, 110(3), 412-431.
- Dove, G. (2011). On the need for embodied and dis-embodied cognition. *Frontiers in psychology*, 1, 242.
- Dubois, B., Touchon, J., Portet, F., Ousset, P.-J., Vellas, B., & Michel, B. (2002). Les 5 mots, épreuve simple et sensible pour le diagnostic de la maladie d'Alzheimer. *La Presse médicale (1983)*, 31(36), 1696-1699.
- Đurđević, D.F., Popović Stijačić, M., & Karapandžić, J. (2016). A quest for sources of perceptual richness: Several candidates. *Studies in language and mind*, 187-238.
- Duyck, W., Desmet, T., Verbeke, L.P., & Brysbaert, M. (2004). WordGen: A tool for word selection and nonword generation in Dutch, English, German, and French. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 36(3), 488-499.
- Estes, Z., & Adelman, J.S. (2008). Automatic vigilance for negative words is categorical and general.
- Ferrand, L. (2001). Normes d'associations verbales pour 260 mots «abstraites». *L'Année psychologique*, 101(4), 683-721.
- Ferrand, L., Méot, A., Spinelli, E., New, B., Pallier, C., Bonin, P., Dufau, S., et al. (2018). MEGALEX: A megastudy of visual and auditory word recognition. *Behavior research methods*, 50(3), 1285-1307.
- Fischer, M.H., & Zwaan, R.A. (2008). Embodied language: A review of the role of the motor system in language comprehension. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(6), 825-850.
- Freiherr, J., Lundström, J.N., Habel, U., & Reetz, K. (2013). Multisensory integration mechanisms during aging. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 863.
- Godefroy, O., & GREFEX, O. (2008). Fonctions exécutives et pathologies neurologiques et psychiatriques. *Évaluation en pratique clinique*.

- Grondin, R., Lupker, S.J., & McRae, K. (2006). *Shared features dominate the number-of-features effect*. Paper presented at the Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society.
- Hansen, D., Siakaluk, P.D., & Pexman, P.M. (2012). The influence of print exposure on the body-object interaction effect in visual word recognition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 113.
- Hargreaves, I.S., Leonard, G., Pexman, P.M., Pittman, D., Siakaluk, P.D., & Goodyear, B. (2012). The neural correlates of the body-object interaction effect in semantic processing. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 22.
- Hargreaves, I.S., & Pexman, P.M. (2014). Get rich quick: The signal to respond procedure reveals the time course of semantic richness effects during visual word recognition. *Cognition*, 131(2), 216-242.
- Hargreaves, I.S., Pexman, P.M., Johnson, J.S., & Zdravilova, L. (2012). Richer concepts are better remembered: number of features effects in free recall. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 73.
- Hargreaves, I.S., Pexman, P.M., Pittman, D.J., & Goodyear, B.G. (2011). Tolerating ambiguity: ambiguous words recruit the left inferior frontal gyrus in absence of a behavioral effect. *Experimental Psychology*, 58(1), 19.
- Harm, M.W., & Seidenberg, M.S. (2004). Computing the meanings of words in reading: cooperative division of labor between visual and phonological processes. *Psychological review*, 111(3), 662.
- Harvey, P.D. (2011). Mood symptoms, cognition, and everyday functioning: in major depression, bipolar disorder, and schizophrenia. *Innovations in clinical neuroscience*, 8(10), 14.
- Hino, Y., & Lupker, S.J. (1996). Effects of polysemy in lexical decision and naming: An alternative to lexical access accounts. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 22(6), 1331.
- Hino, Y., Lupker, S.J., & Pexman, P.M. (2002). Ambiguity and synonymy effects in lexical decision, naming, and semantic categorization tasks: interactions between orthography, phonology, and semantics. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 28(4), 686.
- Hino, Y., Pexman, P.M., & Lupker, S.J. (2006). Ambiguity and relatedness effects in semantic tasks: Are they due to semantic coding? *Journal of Memory and Language*, 55(2), 247-273.
- Inkster, M., Wellsby, M., Lloyd, E., & Pexman, P.M. (2016). Development of embodied word meanings: Sensorimotor effects in children's lexical processing. *Frontiers in psychology*, 7, 317.
- James, W. (1975). *The meaning of truth* (Vol. 2): Harvard University Press.
- Joordens, S., & Becker, S. (1997). The long and short of semantic priming effects in lexical decision. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 23(5), 1083.
- Juhasz, B.J., & Yap, M.J. (2013). Sensory experience ratings for over 5,000 mono-and disyllabic words. *Behavior research methods*, 45(1), 160-168.
- Kiefer, M., & Pulvermüller, F. (2012). Conceptual representations in mind and brain: theoretical developments, current evidence and future directions. *Cortex*, 48(7), 805-825.
- Kousta, S.-T., Vinson, D.P., & Vigliocco, G. (2009). Emotion words, regardless of polarity, have a processing advantage over neutral words. *Cognition*, 112(3), 473-481.
- Laurienti, P.J., Burdette, J.H., Maldjian, J.A., & Wallace, M.T. (2006). Enhanced multisensory integration in older adults. *Neurobiology of aging*, 27(8), 1155-1163.

- Loeffler, J., Raab, M., & Cañal-Bruland, R. (2016). A lifespan perspective on embodied cognition. *Frontiers in psychology*, 7, 845.
- Louwerse, M.M., & Jeuniaux, P. (2010). The linguistic and embodied nature of conceptual processing. *Cognition*, 114(1), 96-104.
- Lynott, D., & Connell, L. (2009). Modality exclusivity norms for 423 object properties. *Behavior research methods*, 41(2), 558-564.
- Lynott, D., & Connell, L. (2013). Modality exclusivity norms for 400 nouns: The relationship between perceptual experience and surface word form. *Behavior research methods*, 45(2), 516-526.
- Lynott, D., Connell, L., Brysbaert, M., Brand, J., & Carney, J. (2019). The Lancaster Sensorimotor Norms: multidimensional measures of perceptual and action strength for 40,000 English words. *Behavior research methods*, 1-21.
- Mahoney, J.R., Li, P.C.C., Oh-Park, M., Verghese, J., & Holtzer, R. (2011). Multisensory integration across the senses in young and old adults. *Brain research*, 1426, 43-53.
- Mahoney, J.R., Verghese, J., Dumas, K., Wang, C., & Holtzer, R. (2012). The effect of multisensory cues on attention in aging. *Brain research*, 1472, 63-73.
- Maloney, E.A., Sattizahn, J.R., & Beilock, S.L. (2014). Anxiety and cognition. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 5(4), 403-411.
- Miceli, A., Wauthia, E., Lefebvre, L., Ris, L., & Simoes Loureiro, I. (2021). Perceptual and Interoceptive Strength Norms for 270 French Words. *Frontiers in psychology*, 12, 2018.
- Miceli, A., Wauthia, E., Lefebvre, L., Vallet, G., Ris, L., & Simoes Loureiro, I. (2022). Differences related to aging in sensorimotor knowledge: Investigation of perceptual strength and body object interaction. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 102, 104715.
- Miklashevsky, A. (2018). Perceptual experience norms for 506 Russian nouns: Modality rating, spatial localization, manipulability, imageability and other variables. *Journal of psycholinguistic research*, 47(3), 641-661.
- Mille, J., Brambati, S.M., Izaute, M., & Vallet, G.T. (2021). Low-resolution neurocognitive aging and cognition: An embodied perspective. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 15.
- Mirman, D., & Magnuson, J.S. (2008). Attractor dynamics and semantic neighborhood density: processing is slowed by near neighbors and speeded by distant neighbors. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 34(1), 65.
- Mozolic, J.L., Hugenschmidt, C.E., Peiffer, A.M., & Laurienti, P.J. (2012). Multisensory integration and aging.
- Murray, M.M., Lewkowicz, D.J., Amedi, A., & Wallace, M.T. (2016). Multisensory processes: a balancing act across the lifespan. *Trends in Neurosciences*, 39(8), 567-579.
- New, B., Brysbaert, M., Veronis, J., & Pallier, C. (2007). The use of film subtitles to estimate word frequencies. *Applied psycholinguistics*, 28(4), 661-677.
- Pachana, N.A., Byrne, G.J., Siddle, H., Koloski, N., Harley, E., & Arnold, E. (2007). Development and validation of the Geriatric Anxiety Inventory. *International psychogeriatrics*, 19(1), 103-114.
- Paivio, A. (1971). Imagery and language *Imagery* (pp. 7-32): Elsevier.
- Paivio, A. (1990). *Mental representations: A dual coding approach*: Oxford University Press.
- Peiffer, A.M., Hugenschmidt, C.E., Maldjian, J.A., Casanova, R., Srikanth, R., Hayasaka, S., Burdette, J.H., et al. (2009). Aging and the interaction of sensory cortical function and structure. *Human brain mapping*, 30(1), 228-240.
- Peiffer, A.M., Mozolic, J.L., Hugenschmidt, C.E., & Laurienti, P.J. (2007). Age-related multisensory enhancement in a simple audiovisual detection task. *Neuroreport*, 18(10), 1077-1081.

- Pexman, P.M., Hargreaves, I.S., Edwards, J.D., Henry, L.C., & Goodyear, B.G. (2007). The neural consequences of semantic richness. *Psychological Science*, 18(5), 401-406.
- Pexman, P.M., Hargreaves, I.S., Siakaluk, P.D., Bodner, G.E., & Pope, J. (2008). There are many ways to be rich: Effects of three measures of semantic richness on visual word recognition. *Psychonomic bulletin & review*, 15(1), 161-167.
- Pexman, P.M., Hino, Y., & Lupker, S.J. (2004). Semantic ambiguity and the process of generating meaning from print. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 30(6), 1252.
- Pexman, P.M., Holyk, G.G., & Monfils, M.-H. (2003). Number-of-features effects and semantic processing. *Memory & Cognition*, 31(6), 842-855.
- Pexman, P.M., Lupker, S.J., & Hino, Y. (2002). The impact of feedback semantics in visual word recognition: Number-of-features effects in lexical decision and naming tasks. *Psychonomic bulletin & review*, 9(3), 542-549.
- Pexman, P.M., Muraki, E., Sidhu, D.M., Siakaluk, P.D., & Yap, M.J. (2019). Quantifying sensorimotor experience: Body–object interaction ratings for more than 9,000 English words. *Behavior research methods*, 51(2), 453-466.
- Pexman, P.M., Siakaluk, P.D., & Yap, M.J. (2013a). Introduction to the research topic meaning in mind: semantic richness effects in language processing. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 723.
- Pexman, P.M., Siakaluk, P.D., & Yap, M.J. (2013b). Introduction to the research topic meaning in mind: semantic richness effects in language processing (Vol. 7, pp. 723): Frontiers Media SA.
- Phillips, C.I., Sears, C.R., & Pexman, P.M. (2012). An embodied semantic processing effect on eye gaze during sentence reading. *Language and Cognition*, 4(2), 99-114.
- Piercey, C.D., & Joordens, S. (2000). Turning an advantage into a disadvantage: Ambiguity effects in lexical decision versus reading tasks. *Memory & Cognition*, 28(4), 657-666.
- Reilly, J., Peelle, J.E., Garcia, A., & Crutch, S.J. (2016). Linking somatic and symbolic representation in semantic memory: the dynamic multilevel reactivation framework. *Psychonomic bulletin & review*, 23(4), 1002-1014.
- 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, 39.
- Salthouse, T.A. (1994). The nature of the influence of speed on adult age differences in cognition. *Developmental psychology*, 30(2), 240.
- Salthouse, T.A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological review*, 103(3), 403.
- Salthouse, T.A. (2000). Methodological assumptions in cognitive aging research. *The handbook of aging and cognition*, 2, 467-498.
- Shulman, H.G., & Davidson, T.C. (1977). Control properties of semantic coding in a lexical decision task. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 16(1), 91-98.
- Siakaluk, P.D., Pexman, P.M., Aguilera, L., Owen, W.J., & Sears, C.R. (2008). Evidence for the activation of sensorimotor information during visual word recognition: The body–object interaction effect. *Cognition*, 106(1), 433-443.
- Siakaluk, P.D., Pexman, P.M., Sears, C.R., Wilson, K., Locheed, K., & Owen, W.J. (2008). The benefits of sensorimotor knowledge: Body–object interaction facilitates semantic processing. *Cognitive Science*, 32(3), 591-605.
- Simoes Loureiro, I., Taverne, M., & Lefebvre, L. (2018). Le mini-QCS: un outil de dépistage rapide des troubles de la mémoire sémantique de la maladie d’Alzheimer. *Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie du Vieillissement*, 16(4), 429-438.

- Simoes Loureiro, I., Taverne, M., Malou, V., Basaglia-Pappas, S., Besin, R., Invernizzi, S., & Lefebvre, L. (2021). Présentation du test court de dénomination adapté à la maladie d'Alzheimer (TCD-MA). *Revue de neuropsychologie*, 13(3), 214-222.
- Spielberger, C.D., Gorsuch, R.L., Lushene, R., Vagg, P.R., & Jacobs, G.A. (1983). Manual for the state-trait anxiety inventory (Palo Alto, CA, Consulting Psychologists Press). *Inc.*
- Stein, B.E., & Meredith, M.A. (1990). Multisensory integration: Neural and behavioral solutions for dealing with stimuli from different sensory modalities. *Annals of the New York Academy of Sciences*.
- Talsma, D. (2015). Predictive coding and multisensory integration: an attentional account of the multisensory mind. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 9, 19.
- Team, R. (2015). RStudio: integrated development for R. Boston, MA: RStudio: Inc.
- Tillotson, S.M., Siakaluk, P.D., & Pexman, P.M. (2008). Body—object interaction ratings for 1,618 monosyllabic nouns. *Behavior research methods*, 40(4), 1075-1078.
- To, M., Baddeley, R.J., Troscianko, T., & Tolhurst, D. (2011). A general rule for sensory cue summation: Evidence from photographic, musical, phonetic and cross-modal stimuli. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278(1710), 1365-1372.
- Toglia, M.P., & Battig, W.F. (1978). *Handbook of semantic word norms*: Lawrence Erlbaum.
- Tousignant, C., & Pexman, P.M. (2012). Flexible recruitment of semantic richness: context modulates body-object interaction effects in lexical-semantic processing. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 53.
- Valentine, T., Block, C., Eversole, K., Boxley, L., & Dawson, E. (2020). Wechsler Adult Intelligence Scale-IV (WAIS-IV). *The Wiley Encyclopedia of Personality and Individual Differences: Measurement and Assessment*, 457-463.
- 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. (2015). Embodied cognition of aging. *Frontiers in psychology*, 6, 463.
- Vallet, G.T., Hudon, C., Simard, M., & Versace, R. (2013). The disconnection syndrome in the Alzheimer's disease: The cross-modal priming example. *Cortex*, 49(9), 2402-2415.
- Van Havermaet, L.R., & Wurm, L.H. (2014). Semantic effects in word recognition are moderated by body-object interaction. *The Mental Lexicon*, 9(1), 1-22.
- Vigliocco, G., Meteyard, L., Andrews, M., & Kousta, S. (2009). Toward a theory of semantic representation. *Language and Cognition*, 1(2), 219-247.
- Wasserstein, R.L., & Lazar, N.A. (2016). The ASA statement on p-values: context, process, and purpose (Vol. 70, pp. 129-133): Taylor & Francis.
- Wellsby, M., & Pexman, P.M. (2014). Developing embodied cognition: Insights from children's concepts and language processing. *Frontiers in psychology*, 5, 506.
- Westfall, J., Kenny, D.A., & Judd, C.M. (2014). Statistical power and optimal design in experiments in which samples of participants respond to samples of stimuli. *Journal of experimental psychology: General*, 143(5), 2020.
- Xue, J., Marmolejo-Ramos, F., & Pei, X. (2015). The linguistic context effects on the processing of body-object interaction words: An ERP study on second language learners. *Brain research*, 1613, 37-48.
- Yap, M.J., Balota, D.A., Cortese, M.J., & Watson, J.M. (2006). Single-versus dual-process models of lexical decision performance: insights from response time distributional analysis. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 32(6), 1324.
- Yap, M.J., Pexman, P.M., Wellsby, M., Hargreaves, I.S., & Huff, M. (2012). An abundance of riches: cross-task comparisons of semantic richness effects in visual word recognition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 72.

- Yap, M.J., Tan, S.E., Pexman, P.M., & Hargreaves, I.S. (2011). Is more always better? Effects of semantic richness on lexical decision, speeded pronunciation, and semantic classification. *Psychonomic bulletin & review*, 18(4), 742-750.
- Yu, Z., Guindani, M., Grieco, S.F., Chen, L., Holmes, T.C., & Xu, X. (2021). Beyond t test and ANOVA: applications of mixed-effects models for more rigorous statistical analysis in neuroscience research. *Neuron*.
- Zwaan, R.A. (2014). Embodiment and language comprehension: Reframing the discussion. *Trends in cognitive sciences*, 18(5), 229-234.

Appendix A. Subjective sensory questionnaire

Do you have a visual disorder (e.g. myopia, astigmatism, etc.)?

If so, can you please specify which visual problem it is?

Do you wear glasses to correct this disorder?

Do you have a hearing problem (e.g., hearing loss or hearing impairment)?

If so, can you please specify which hearing disorder it is (e.g. left ear hearing loss, complete deafness since birth, hearing loss since the age of...)?

Do you wear a hearing aid?

Is it globally effective?

Do you have a taste disorder? (e.g. loss of taste). Disregard a temporary loss of taste due to a cold, for example.

If so, can you please specify which type of disorder disturbs your taste?

Do you have a sense of smell disorder? (e.g. loss of smell). Disregard a temporary loss of smell due to a cold, for example.

If so, can you please specify the cause of your loss of smell?

Do you have a sensory disorder that affects your perception of touch? (e.g. loss of sensitivity, hypersensitivity,...).

If so, can you please specify?

Appendix B. Items used in the experiments

Low PS

Aigle, ampoule, araignée, ballon, bavoir, bobine, botte, bulle, casquette, chimpanzé, coccinelle, escarpin, étoile, fourmi, grenouille, jupe, limace, lune, nid, ours, panda, pile, pinceau, pot, soleil, souris, tabouret, tournevis

English traduction

Eagle, light bulb, spider, balloon, bib, spool, boot, bubble, cap, chimpanzee, ladybug, pump, star, ant, frog, skirt, slug, moon, nest, bear, panda, battery, paintbrush, pot, sun, mouse, stool, screwdriver

High PS

Alcool, ambulance, ananas, blé, bougie, canard, champignon, cheval, cochon, coq, croissant, feu, kiwi, lapin, larme, maïs, mangue, moustique, pêche, piano, poivron, poney, poule, radis, rose, sang, sucette, vague

English traduction

Alcohol, ambulance, pineapple, wheat, candle, duck, mushroom, horse, pig, cock, croissant, fire, kiwi, rabbit, tear, corn, mango, mosquito, peach, piano, pepper, pony, chicken, radish, rose, blood, lollipop, wave

Abstract words

Absent, destin, chagrin, colère, confort, conseil, courage, crainte, crise, culte, danger, enfer, ennui, espoir, fatigue, faute, faveur, fidélité, force, gêne, gloire, hâte, humeur, humour, illusion, justice, louange, maîtrise, manque, mensonge, méthode, miracle, morale, mythe, nuance, opinion, pacte, paix, pardon, passion, puissance, regret, rêve, thème, effort, santé, sens, échange, soif, songe, stabilité, tendance, théorie, usure, vitesse, zèle.

English traduction

Absent, fate, sorrow, anger, comfort, advice, courage, fear, crisis, cult, danger, hell, boredom, hope, fatigue, fault, favor, fidelity, strength, embarrassment, glory, haste, mood, humor, illusion, justice, praise, mastery, lack, lie, method, miracle, morality, myth, nuance, opinion, pact, peace, forgiveness, passion, power, regret, dream, theme, endeavor, health, meaning, exchange, thirst, dream, stability, tendency, theory, wear, velocity, zeal

Nonwords

Giln, machoitont, loudiez, laxon, habel, vantolige, japolisan, béhari, aborvant, gabaliroin, agréo, mainés, zoster, vuesta, lic, muiler, cralloure, supervise, volven, goumonf, sung, puotasse, porse, ronk, unibames, kiot, hiche, gouie, cotie, ade, lica, biader, traplo, bax, harité, troje, caralet, quarmi, gecq, oflat, saveux, aublonnar, huvel, rapota, tunilier, irom, neceriable, baquis, idcie, ménové, kuib, couge, kadob, stecen, nuron, bla

Appendix C. Experiments' instructions

Lexical decision task

Dans cette tâche, vous verrez apparaître une croix, suivie d'une série de lettres.

Vous devrez dire si la série de lettres est un mot de la langue française ou pas.

S'il s'agit d'un mot, répondez OUI en appuyant sur la touche verte,

si pas, répondez NON en appuyant sur la touche rouge.

Par exemple :

stylo est un mot, je réponds OUI - touche verte

garuto n'est pas un mot, je réponds NON - touche rouge

Répondez le plus rapidement possible, tout en commettant le moins d'erreurs possible

Gardez toujours votre regard au centre de l'écran

English traduction

In this task, you will see a cross, followed by a series of letters.

You will have to say whether the series of letters is a word in the French language or not.

If it is a word, answer YES by pressing the green button,

if not, answer NO by pressing the red key.

For example:

pen is a word, I answer YES - green key

garuto is not a word, I answer NO - red key

Answer as quickly as possible, while making as few mistakes as possible

Always keep your eyes in the center of the screen

Semantic categorization task

Dans cette tâche, vous verrez apparaître une croix, suivie d'un mot.

Pour chaque mot, vous devrez répondre à la question suivante :

Est-ce que ce mot réfère à quelque chose qui est facilement imageable ?

Un mot imageable est un mot qui provoque facilement une image mentale, c'est à dire une représentation imagée.

Par exemple, le mot "chaise" est facilement imageable, alors que le mot "envie" ne l'est pas.

Si le mot génère facilement une image mentale, répondez OUI en appuyant sur la touche verte.

Si le mot génère difficilement une image mentale ou pas du tout, répondez NON en appuyant sur la touche rouge.

Répondez le plus rapidement possible, tout en commettant le moins d'erreurs possible

Répondez également le plus spontanément possible, sans trop réfléchir

Gardez toujours votre regard au centre de l'écran

English traduction

In this task, you will see a cross, followed by a word.

For each word, you will have to answer the following question:

Does this word refer to something that is easily imageable?

An imageable word is a word that easily provokes a mental image, i.e. a pictorial representation.

For example, the word "chair" is easily imageable, while the word "desire" is not.

If the word easily generates a mental image, answer YES by pressing the green button.

If the word generates a mental image with difficulty or not at all, answer NO by pressing the red key.

Answer as quickly as possible, while making as few mistakes as possible

Also answer as spontaneously as possible, without thinking too much

Always keep your eyes in the center of the screen

Appendix D. Debriefing SDT

Pour répondre « oui ce mot est facilement imageable », veuillez svp indiquer dans quelle mesure vous avez utilisé les modalités suivantes pour fournir votre réponse,

0 correspondant à « pas du tout », 7 correspondant à énormément.

Cochez/entourez le score correspondant pour chaque modalité.

La modalité visuelle (« je peux le voir »)	0 (pas du tout)	1	2	3	4	5	6	7 (énormément)
La modalité auditive (« je peux l'entendre »)	0 (pas du tout)	1	2	3	4	5	6	7 (énormément)
La modalité tactile (« je peux le toucher »)	0 (pas du tout)	1	2	3	4	5	6	7 (énormément)
La modalité gustative (« je peux le goûter »)	0 (pas du tout)	1	2	3	4	5	6	7 (énormément)
La modalité olfactive (« je peux le sentir via l'odorat »)	0 (pas du tout)	1	2	3	4	5	6	7 (énormément)
Plusieurs modalités ensemble	0 (pas du tout)	1	2	3	4	5	6	7 (énormément)

English traduction

To answer "yes this word is easily imageable", please indicate to what extent you used the following modalities to provide your answer,

0 corresponding to "not at all", 7 corresponding to « very much ».

Check/circle the corresponding score for each modality.

Visual modality («I can see it»)	0 (not at all)	1	2	3	4	5	6	7 (very much)
Auditory modality (« I can hear it »)	0	1	2	3	4	5	6	7
Haptic modality (« I can touch it »)	0	1	2	3	4	5	6	7

Gustatory modality (« I can taste it »)	0	1	2	3	4	5	6	7
Olfactory modality (« I can smell it »)	0	1	2	3	4	5	6	7
Multiple modalities together	0	1	2	3	4	5	6	7

Appendix E. Mean and standard deviation of strategies employed by participants for a rating of 0 (not at all) to 7 (extremely)

	Visual	Auditory	Haptic	Gustatory	Olfactory	Multimodal
Young adults	6.40(1)	1.20(1.66)	2.56(2.33)	1.04(1.39)	1(1.63)	2.96(2.49)
Older adults	6.14(1.77)	0.97(1.87)	3.20(3.10)	1.11(1.97)	.60(1.38)	2.29(2.76)

ETUDE 4

Etude 4 : Investigation de l'impact de la force perceptuelle dans la maladie d'Alzheimer dans une tâche de décision lexicale

Miceli, A., Wauthia, E., Kandana Arachchige, K., Lefebvre, L., Ris, L. & Simoes Loureiro, I. (2023). Perceptual strength influences lexical decision in Alzheimer's disease. *Journal of Neurolinguistics*, 68, 101144. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2023.101144>

Résumé

L'approche multimodale selon laquelle la cognition est incarnée dans le langage, les systèmes perceptifs, moteurs et émotionnels est un cadre théorique largement accepté pour les représentations conceptuelles. Cependant, le manque d'études étayant cette vision de la cognition dans le vieillissement sain et pathologique contraste avec la persistante nécessité de comprendre les facteurs qui expliquent la dégradation sémantique dans certaines pathologies cérébrales. L'objectif de cette étude est d'explorer l'impact de la force perceptuelle (FP) - la mesure dans laquelle un mot peut être expérimenté par plusieurs modalités sensorielles - dans la reconnaissance visuelle de mots dans la maladie d'Alzheimer (MA). Trente-six participants sains, 22 participants au stade léger de la MA (MA1) et 20 participants au stade modéré (MA2) ont participé à une tâche de décision lexicale dans laquelle les mots présentaient deux conditions d'intérêt : FP élevée vs FP faible. Les résultats ont montré un effet d'interaction uniquement entre le groupe contrôle et le groupe MA1, révélant que les MA1 traitaient plus rapidement les mots à FP élevée que les mots à FP faible, alors que ce n'était pas le cas pour les personnes âgées saines. En outre, ce sont spécifiquement les évaluations neuropsychologiques exécutives et lexico-sémantiques qui ont permis de prédire ces résultats. Cette étude démontre l'importance de prendre en considération la dimension perceptuelle lors de l'examen du système conceptuel et ouvre de nouvelles voies dans l'exploration des troubles sémantiques dans la MA.



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Neurolinguistics

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jneuroling

Perceptual strength influences lexical decision in Alzheimer's disease

A. Miceli^{a,b,c,*}, E. Wauthia^{a,b,c}, K. Kandana Arachchige^{a,b,c}, L. Lefebvre^{a,b,c},
L. Ris^{b,c,d}, I. Simoes Loureiro^{a,b,c}

^a Department of Cognitive Psychology and Neuropsychology, Faculty of Psychology and Educational Science, University of Mons, Mons, Belgium

^b Research Institute for Health Sciences and Technologies, University of Mons, Mons, Belgium

^c Interdisciplinary Research Centre for Psychophysiology and Cognitive Electrophysiology, University of Mons, Mons, Belgium

^d Department of Neurosciences, Faculty of Medicine and Pharmacy, University of Mons, Mons, Belgium

ARTICLE INFO

Keywords:

Alzheimer's disease
Conceptual knowledge
Perceptual strength
Semantics
Representations
Lexical decision

ABSTRACT

The multimodal approach where cognition is embodied in language, perceptual, motor, and emotional systems is a widely agreed theoretical framework for conceptual representations. However, the lack of work supporting this view of cognition in healthy and pathological aging stands in stark contrast with the ongoing need to understand the factors that uncover semantic degradation in brain pathologies. The aim of this study is to explore the impact of perceptual strength (PS) - i.e., the extent to which a word can be experienced by multiple sensory modalities - in visual word recognition in Alzheimer's disease (AD). Thirty-six healthy participants, 22 participants in the mild stage of AD (AD1) and 20 in the moderate stage (AD2) took part in a lexical decision task with two conditions: words with high vs low PS words. Results showed an interaction effect only between healthy controls and AD1 individuals, revealing that the latter were faster in processing high PS words in contrast to low PS words, while this was not the case for healthy individuals. Furthermore, it was specifically the ratings of the neuropsychological executive and lexical-semantic assessments that predicted these results. However, no results were observed for AD2 participants, suggesting that lexical-semantic degradation was too severe to reveal a PS effect. This study demonstrates the importance of considering the perceptual dimension when examining the conceptual system and opens up new avenues in the exploration of semantic impairment in AD.

1. Introduction

Semantic-lexical disorder appears systematically in early Alzheimer's disease (AD) (Altmann & McClung, 2008; Chertkow, Bub, Cosgrove, & Dixon, 1993; Hodges, Patterson, Graham, & Dawson, 1996; Hodges & Patterson, 1995; Nebes, 1989; Rogers & Friedman, 2008). This progressive degeneration affecting the conceptual-semantic representations of word meanings has been widely documented from various lexical-semantic tasks involving word recognition, retrieval, production, or comprehension. Indeed, pictures naming and other tasks show errors that progress from semantic or visual-perceptual paraphasia to pure anomia (Chertkow & Bub, 1990; Chertkow et al., 1993; Cueto, Martinez, Martinez, Izura, & Ellis, 2003; Hodges, Salmon, & Butters, 1991; Silagi, Bertolucci, &

* Corresponding author. Place du Parc, 18, 7000, Mons, Belgium.

E-mail address: Aurelie.miceli@umons.ac.be (A. Miceli).

<https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2023.101144>

Received 12 January 2023; Received in revised form 9 May 2023; Accepted 19 May 2023

0911-6044/© 2023 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Ortiz, 2015) and these difficulties can also be evidenced by longer response times in lexical decision tasks (LDT) (Martínez-Nicolás, Carro, Llorente, & Meilán, 2019). However, not all words are affected in the same way. Indeed, it is known that performance is better for some aspects of word recognition in AD when some features of these words are controlled. On the lexical level, the role of the age of acquisition of words has been demonstrated in AD. As is the case for healthy individuals, words acquired early in life are more easily accessible than words acquired late (Cuetos et al., 2010, 2017; Holmes, Jane Fitch, & Ellis, 2006; Silveri, Cappa, Mariotti, & Puopolo, 2002). This is also the case for frequency and familiarity where patients perform better for highly frequent words (Kirschner, Webb, & Kelly, 1984; Skelton-Robinson & Jones, 1984; Thompson-Schill, Gabrieli, & Fleischman, 1999) or highly familiar words (Gainotti, Di Betta, & Silveri, 1996). The common interpretation of these results is that words that are more frequent, more familiar, and acquired earlier in life are more easily accessible or richer because the semantic representations of these concepts were learned early in life and have therefore been activated more often. This suggesting that the different meanings of these words would probably provide richer and stronger neurological connections. This make them less vulnerable to AD deterioration than words that are less frequent, less familiar, and acquired late, and thus less often activated (see Cuetos et al., 2017).

On the semantic level, although many studies have shown that semantic variables (such as number of semantic features, number of semantic associates) could modulate word processing in healthy subjects (e.g., Balota, Cortese, Sergent-Marshall, Spieler, & Yap, 2004; Pexman, Siakaluk, & Yap, 2014), only very few studies have been conducted in AD. Using the variable « number of features », Duarte and Robert (2014) investigated whether a concept with high semantic richness (i.e., a high number of features) is more robust than a concept with low semantic richness (i.e., a low number of features) in AD. The researchers investigated whether the retrieval difficulty experienced in AD in a picture naming task can be modulated by this semantic richness. The results showed that concepts were better named when they had a high rather than a low number of features, suggesting that the more semantic information a concept presents, the more accessible it is in memory and the more robust it is in AD. Indeed, processing an image with a high number of features would generate a greater semantic activation which would facilitate the transmission of the activation of semantic units to the phonological level in order to name the concept. Faster processing for words with dense associates neighborhoods compared to words with sparse neighborhoods in healthy control and AD participants were also highlighted in a LDT (Dunabeitia, Marín, & Carreiras, 2009). This faster processing means that the automatic activation of orthographic representations is intact in AD and leads to greater levels of global lexical activation for words with dense associates neighborhoods. The automatic semantic processing of words would therefore be preserved in normal aging as well as in AD (Dunabeitia et al., 2009). Duarte and Robert (2014) suggest that semantic richness therefore plays an important role in processing word production and accessibility in healthy aging and AD. However, we still only know little about what makes a word easier or harder to recognize (Cuetos et al., 2017).

Recently, an interest for the sensorimotor dimensions of word meaning in word recognition has also developed in the literature. This interest has emerged in the context of embodied cognition theories that suggest an intervention of sensorimotor processes in semantic representation. An increasing amount of behavioral and neurophysiological evidence supporting these theories can be found in the scientific literature. For example, numerous brain imaging studies showed that processing different properties of an object (e.g., color, action, sound) activated the same neural system as when these properties were actually perceived (e.g., González et al., 2006; Hsu, Kraemer, Oliver, Schlichting, & Thompson-Schill, 2011; Simmons et al., 2007; see Martin, 2007 for a review). It has also been shown that the simple comprehension of a sentence activates the representations related to the action (Boulenger, Hauk, & Pulvermüller, 2009; Glenberg & Kaschak, 2002; Stanfield & Zwaan, 2001). Studies investigating different visual recognition tasks also showed that words with more sensorimotor knowledge (i.e., words for which the body-object interaction is high, for example « belt ») generate a greater semantic activation, enabling faster responses than words with less sensorimotor knowledge (e.g., « boat ») in young adults (e.g., Siakaluk, Pexman, Sears, et al., 2008; Tillotson, Siakaluk, & Pexman, 2008; Xue, Marmolejo-Ramos, & Pei, 2015) and in children (Inkster, Wellsby, Lloyd, & Pexman, 2016; Wellsby & Pexman, 2014). The results have been interpreted in the context of semantic richness effects: words associated with richer semantic representations (in this case, sensorimotor information) provide stronger activation to semantic-level representations, allowing for faster responses (Siakaluk, Pexman, Aguilera, Owen, & Sears, 2008). These effects are explained from the activation feedback theory of visual word recognition (Balota, Paul, & Spieler, 1999; Hino & Lupker, 1996; Pexman, Lupker, & Hino, 2002): the visual word recognition system includes orthographic, phonological, and semantic units that are separate but interconnected such that the processing in one set of units can influence the processing in a different set of units (e.g., activation feedback from semantic units to orthographic units in a LDT, see Siakaluk, Pexman, Aguilera, et al., 2008). Hence, it is commonly accepted that the perceptual and motor information that the individual acquires through experience with his environment is an integral part of what constitutes concepts and can therefore be considered as a new semantic dimension (see Pexman, 2012). However, to the best of our knowledge, there are currently no studies that have investigated the importance of the sensorimotor dimension of concepts in AD in visual word recognition.

Since semantic-lexical disorders are one of the hallmarks of AD, it seems essential to know all the semantic dimensions potentially involved in this disease (whether they are affected or preserved), in order to improve the understanding of the evolution of lexical-semantic processing in AD. While studies investigating sensorimotor dimensions of word meaning in word recognition exist for young adults (e.g., Siakaluk, Pexman, Sears, et al., 2008; Hargreaves, Leonard, et al., 2012; Yap, Pexman, Wellsby, Hargreaves, & Huff, 2012) and are gradually developing for children (Inkster et al., 2016; Wellsby & Pexman, 2014), they are in fact still scarce for normal or pathological aging (see Vallet, 2015). Although also rare, investigations of imageability effects in AD do provide some information about the accessibility of perceptual information associated with concepts. Indeed, imageability is one of the first variables associated with sensorimotor information. It represents the ease with which a word evokes a mental image, i.e. a pictorial image, a sound or any other sensory experience (Bonin, Méot, Ferrand, & Roux, 2011; Paivio, Yuille, & Madigan, 1968). Several studies using naming tasks did not show any specific effect of imageability in AD (Albanese, 2007; Cuetos et al., 2005, 2012; Rodríguez-Ferreiro, Davies, González-Nosti, Barbón, & Cuetos, 2009). However, it has been suggested that naming fails to make clear predictions about the

influence of imageability in AD because it does not allow for a wide range of imageability values, such as in a visual word recognition task for example (Cuetos et al., 2017). Indeed, better performances for highly imageable words, compared to poorly imageable words, have been shown in AD in a lexical selection task (Cuetos et al., 2017) as well as in a serial recall task investigating verbal short-term memory (Peters, Majerus, De Baeremaeker, Salmon, & Collette, 2009). These results have been interpreted by researchers as a reflect of the decreased support of semantic knowledge associated with low imageability words (Peters et al., 2009), these being impoverished by their less detailed perceptual information and therefore being more vulnerable (Cuetos et al., 2017). However, it has been highlighted that the imageability variable does not reflect the perceptual basis of concepts as it rather represents the visual modality and underestimates the other perceptual modalities associated with concepts (Connell & Lynott, 2012). To overcome this limitation, Lynott and Connell (2009, 2013) developed perceptual strength (PS) norms specific to each modality (i.e., auditory, visual, gustatory, haptic, olfactory). The PS represents the extent to which a word can be experienced by separate sensory modalities, and is obtained by asking participants to rate the extent to which they experience a word in each of the five sensory modalities on a scale of 0 (not experienced at all) to 5 (highly experienced) (Lynott & Connell, 2009). A previous study highlighted the importance of PS in a lexical and semantic decision task of isolated words in healthy young and older adults (Miceli et al., in revision). Words with high PS (e.g., pineapple) were contrasted with words with low PS (e.g., moon). In the LDT, results comparing the performance of younger and older adults showed that high PS words tended to be processed faster than low PS words, regardless of group classification. However, this effect was most noticeable in the youth group. Words with high PS were therefore associated with greater semantic information because of greater activation feedback from semantic units to orthographic units (see also Balota, Ferraro, & Connor, 1991; Harm & Seidenberg, 2004; Siakaluk, Pexman, Sears, et al., 2008). The study showed that PS was an important part of the conceptual system and was accessible to the linguistic system both in healthy young adults and in healthy aging (Miceli et al., in revision).

It therefore seems interesting to know how concepts that have different PS will be processed in the case of pathological aging, in this case AD. A direct comparison between the lexical decision performance of adults with AD and healthy controls seems suitable for exploring perceptual semantic activation in dementia. Since the semantic richness effect has been demonstrated in AD in a few rare studies (e.g., Duarte & Robert, 2014), we aimed to explore whether high PS words would be more easily accessible than low PS words in this disease and if this effect is modulated according to the stage of deterioration. Hence, the aim of our study is to explore the impact of PS in the lexical processing of mild and moderate AD using the lexical decision task contrasting words with high vs. low PS words used by Miceli et al. (in revision). This question is totally exploratory and would allow to understand how semantic representations evolve in AD.

2. Method

2.1. Participants

Seventy-eight participants took part in the study. All participants were French native speakers, right-handed and had corrected-to-normal vision. None of the participants had a history of alcoholism, head trauma or known neurological or psychiatric disorder. A questionnaire (Likert scale) collecting the number of years of study (i.e., education level) allowed to determine their socio-cultural level. The socio-demographic data of the participants is shown in Table 1. All participants gave their consent before participating in the study. This study was conducted in line with the Declaration of Helsinki and in agreement with the ethics committee of the university of Mons.

Forty-two older adults with probable AD were selected on the basis of the National Institute of Neurological and Communicative Disorders and Stroke and the AD and Related Disorders Association criteria (McKhann et al., 1984). They were recruited in retirement homes and day care centers for older adults, in different francophone regions of Belgium. A short cognitive assessment including the Mini-Mental State Examination (MMSE) was used to determine the stage of the disease, according to the consensual limits of the GRECO (Groupe de Réflexion sur les Evaluations Cognitives). Besides the control group, two groups of patients were constituted. Twenty-two persons were at the mild stage of the disease (MMSE ≥ 20 ; AD1) and 20 persons were at the intermediate stage (MMSE between 15 and 19; AD2). They were compared to a control group of 36 healthy older adults whose data came from a previous study comparing young and older adults on the same current decision task (Miceli et al., in revision). Healthy older adults were recruited through word of mouth, social media ads, as well as through presentation of the study in a senior workshop.

Given the impact of anxiety and depression on cognitive functioning (e.g., Harvey, 2011; Maloney, Sattizahn, & Beilock, 2014), all participants completed a questionnaire assessing anxiety with the Geriatric Anxiety Inventory (GAI, Pachana et al., 2007) and depression with the Geriatric Depression Scale (GDS-15, Clément, Nassif, Léger, & Marchan, 1997). In addition to the MMSE, all participants also completed a short cognitive assessment that included the Dubois 5-words episodic memory test (Dubois et al., 2002), a semantic and phonological fluency test (Cardebat, Doyon, Puel, Goulet, & Joannette, 1990), the short version of the semantic knowledge questionnaire (Mini QCS, Simoes Loureiro, Taverne, & Lefebvre, 2018), a short image naming test (TCD-MA, Simoes

Table 1
Socio-demographic characteristics of participants.

Group	N	Gender	Age Mean (SD)	Years of education ^a Mean (SD)
Healthy participants	36	16 women	73.78 (7.26)	4.25 (1.18)
AD1 participants	22	17 women	77.50 (6.85)	3.77 (1.27)
AD 2 participants	20	14 women	80.80 (6.65)	3.55 (1.10)

^a 1 = less than primary grades; 2 = primary grades; 3 = middle school; 4 = high school; 5 = bachelor's degree; 6 = master; 7 = PhD.

Loureiro et al., 2021) and a short test of frontal efficiency (BREF, Dartinet & Martinaud, 2005). The statistical data of the questionnaires and cognitive evaluations and the significance scores for the patients' groups compared with controls are reported in Table 4 in the results section.

2.2. Stimuli

Fifty-six concrete common nouns were selected from the PS norms collected by Miceli et al. from young (2021) and older adults (2022) and were the same used in a previous study (Miceli et al., in revision). In these studies, words were rated on a scale from 0 (not at all) to 5 (greatly), reflecting the extent to which they were experienced through each perceptual modality (i.e., visual, auditory, haptic, gustative, olfactory). These modalities were each scored separately. The 56 stimuli were divided into 2 groups: 28 words with high PS (e.g., horse) and 28 words with low PS (e.g., ant) (see appendix). The 2 groups of words were constituted from the summed PS variable (i.e., the sum of the 5 perceptual ratings) and divided from the median. We found the choice of the PS summed to be the most relevant because it allows each perceptual dimension to be considered equally valuable (Đurđević, PopovićStijajić, & Karapandžić, 2016). Furthermore, Đurđević et al. (2016) showed that the summed PS variable best predicts latency and accuracy of responses in a lexical decision experiment among other variables. Note that the 2 groups of experimental words also differ significantly ($p < .001$) in terms of modality exclusivity. This represents the extent to which a word is multimodal (score close to 0%) or unimodal (score close to 100%), and it is computed by dividing the rating range by the sum, as in the formula below, where M is a vector of mean ratings for each of the five perceptual modalities ($\max M - \min M / \Sigma M$) (Lynott & Connell, 2009, 2013; Lynott, Connell, Brysbaert, Brand, & Carney, 2019). Therefore, low PS words were more unimodal, while high PS words were more multimodal. The statistic characteristics of the experimental items are presented in Table 2.

The 2 groups of 28 words were matched for the following linguistic and psycholinguistic variables known to be important in word processing ($p > .05$). Objective book and movie frequency, number of letters, number of phonemes, number of phonological and orthographic neighbours and orthographic Levenshtein distance (OLD 20) were collected from New, Brysbaert, Veronis, and Pallier (2007). The experimental words were also matched for age of acquisition, conceptual familiarity, concreteness, imageability, and valence intensity and arousal [2 affective variables also impacting word processing (e.g., Estes & Adelman, 2008; Ferrand et al., 2018; Koutsta, Vinson, & Vigliocco, 2009)] from Miceli, Wauthia, Lefebvre, Ris, and Simoes Loureiro (2021). In order to match the 2 groups of words regarding the number of features, we collected the number of features (see Hargreaves et al., 2012; Pexman, Holyk, & Monfils, 2003) via the subjective method used by Siakaluak et al. (2008) and the instruction of Toglia and Battig (1978). This compilation was conducted with 122 young adults (93 women; Mean age 23.73, SD 4.87; socio-cultural level of bachelor's degree). Finally, it was also important to match high and low PS words on the body-object interaction. The descriptive statistics for the experimental items are presented in Table 3.

Fifty-six pronounceable non-words were also created and used as fillers in the lexical decision task. They were generated directly from the Wordgen program (Duyck, Desmet, Verbeke, & Brysbaert, 2004). Experimental words and non-words were matched on the number of letters, the number of phonemes, the number of phonological and orthographic neighbours, the orthographic Levenshtein distance (OLD 20) (New et al., 2007) and on bigram frequency (from Wordgen software, Duyck et al., 2004) so that the non-words respected the orthographic typicality.

Descriptive statistics of the stimuli are available via OSF, at https://osf.io/j35vd/?view_only=630eeab3b6bd47aa88d48329237f52ad.

2.3. Apparatus and procedure

We used the same material and procedure as in a previous study (Miceli et al., in revision). The E-prime 3.0 software was used for stimuli presentation on a 17-inch HP Probook computer. The task was a lexical decision of isolated words. Each trial began with a fixation cross (1000 ms), replaced by a word (or non-word in the LDT) until the participant gave their response. The inter-trial interval (ITI) was of 2000 ms (blank screen). The presentation of the stimuli was pseudo-randomized to control the precise order of appearance of the stimuli. Indeed, the presentation was such that no experimental word was followed by an experimental item of the same category to exclude potential semantic (taxonomic) priming effects. To exclude order effects, the list of 112 pseudo-randomized items was then divided into 4, allowing for 4 versions of the protocol to be created, each presenting the same items in 4 different orders. The protocol version was randomly assigned across participants. Each participant was asked to perform 10 training items, half of which were non-words.

The instruction was to decide whether the sequence of letters presented on the screen was a word of the French language or not. They had to answer yes or no by pressing the green (yes) or red (no) button on the answer box. To prevent AD participants from forgetting the instructions, the words "YES" and "NO" were written above the corresponding keys for the AD groups. The task lasted approximately 10–20 min depending on the speed of the participants. A break was offered halfway through the task and participants could decide to take it or simply continue the task.

Table 2
Mean and standard deviation (SD) characteristics for word stimuli rated by healthy older adults.

	Summed PS	Modality Exclusivity
Low PS	5.08 (.82)	49.02% (13.10)
High PS	10.74 (1.87)	26.20% (9.03)

Table 3
Descriptive statistics (Mean and SD) for matched variables for word stimuli and *U* test results.

	Low PS	High PS	<i>p</i>
Movie Frequency	13.81(24.43)	31.85(67.83)	.283
Book Frequency	24.45(61.37)	30.16(53.20)	.466
Number of letters	6.29(1.96)	5.64(1.85)	.205
Number of phonemes	4.55(1.65)	4.18(1.22)	.493
Phon. neighbours	8.36(9.51)	10.50(8.51)	.253
Orth. neighbours	4.32(5.11)	4.50(3.89)	.431
OLD	8.13(32.71)	1.75(.48)	.215
AoA	5.36(1.35)	5.57(1.71)	.664
Conceptual Fam.	2.94(.77)	3.01(.31)	.302
Concreteness	4.63(.20)	4.71(.22)	.053
Imageability	4.75(.19)	4.79(.18)	.254
Valence intensity	5.90 (1.49)	6.39(1.64)	.204
Arousal	2.04(.34)	2.25(.49)	.078
Number of features	2.61(.31)	2.56(.46)	.752
BOI	1.71(1.11)	2.24(.60)	.061

Note. Phon.neighbours, phonological neighbours; Orth.neighbours, orthographical neighbours; OLD, orthographic levenshtein distance; AoA, age of acquisition; Conceptual Fam., conceptual familiarity; BOI, body-object interaction.

2.4. Statistics

All analyses were conducted using R [3.5.1] (RStudio Team, 2015). The percentage of correct performance on the whole LDT was 97.8% for the control group, 97.7% for the AD1 group and 95% for the AD2 group. The following analyses were performed only on the correct answers for the 2 experimental conditions of interest, i.e., on the 56 experimental items (28 high PS and 28 low PS).

The outliers were excluded from the dataset. First, response latencies below 250 ms and above 3500 ms were removed from the data sets. Also, for each participant and for each of the 2 experimental conditions, responses deviating by 3 standard deviations from the mean of each condition were considered as outliers and removed. As such, 1.55% (31 observations of the control data set), 1.72% (21 observations of the AD1 data set), and 8.40% (92 observations of the AD2 data set) of the observation were removed.

We used linear mixed effects models (LME) to examine the conditions of interest while taking into account the variability within and across participants and items concurrently (see Baayen, Davidson, & Bates, 2008; Brown, 2021; Yu et al., 2021). We used the packages « lme4 » [version 1.1-18-1] (Bates et al., 2015) and « afex » [0.23-0] (Singmann, Bolker, Westfall, & Aust, 2015) to perform our statistical analysis in R [3.5.1] (RStudio Team, 2015). The R script used to generate the models described in this article are available via OSF, at https://osf.io/j35vd/?view_only=630eeab3b6bd47aa88d48329237f52ad.

First, we removed the influential values in each group, as suggested by Stefaniak (2018). As such, 17 influential observations in the control group, 10 in the AD1 group and 5 in the AD2 group were removed. In each group, we performed a power analysis to ensure that our sample size was sufficient. We used the online program proposed by Westfall, Kenny, and Judd (2014) using a *d* effect size at 0.4 as recommended by Brysbaert and Stevens (2018). The results showed that the power was greater than 0.90 for the three groups (control group = .989; AD1 = 1; AD2 = .927).

Second, we ran a linear/logistic mixed effects model that predicted RTs and accuracy in order to compare 1) control group vs AD1 group and 2) control group vs AD2 group. We used condition (low or high PS) and group interaction as fixed effect with a dummy coding, where 0 was the control group and 1 was the AD group. Fixed and random intercepts for participants and items were included. Because our stimuli were different in each condition, we could not include by-item slope (Brown, 2021) but we included by-participant slope. We used the function *ranova()* to check the random effects and adjusted the model according to the results. We used the *mixed()* function with the argument *method = 'LRT'* to conduct the likelihood-ratio tests (Brown, 2021). When the results of the variables of interest were significant, we presented the model summary in a table.

Third, because our study was exploratory, we conducted additional analyses to understand the results. We used the *coef()* function to obtain a value (which we called the “index”) representing the difference in RTs between the high and low PS condition, for each participant individually. We then performed correlation analyses between this index and the results of the cognitive assessments. Since the data did not check the normality assumption, we performed a Spearman correlation. Finally, regression analyses were performed to observe which tests were the most relevant to predict the index.

Furthermore, Mann-Whitney tests were carried out to compare the demographic, general cognitive and explicit semantic scores of the participant groups.

3. Results

3.1. Group characteristics

At a demographic level, AD1 participants were significantly older than the controls ($U = 252.5, p = .021$) and were significantly different in gender distribution (more men in the control group; $U = 266, p = .015$), but did not differ in education level ($U = 295, p = .095$). AD2 participants were significantly older than controls ($U = 163, p = .001$) and presented lower level of education ($U = 226, p =$

Table 4

Mean (and SD) of anxiety and depression questionnaires and cognitive assessments of 3 groups and significance score of *U* test comparing controls vs patients' groups and AD1 vs AD2.

	Control group	AD1 group	AD2 group	Controls vs AD1 <i>p</i> value	Controls vs AD2 <i>p</i> value	AD1 vs AD2
GAI	3.67(4.76)	4.09(5.49)	4.65(5.10)	.695	.621	.606
GDS	1.75(1.57)	2.27 (1.61)	2.10(1.55)	.229	.363	.535
MMSE	29.11(.79)	22.91(1.57)	16.65(1.39)	<.001	<.001	<.001
5 words	9.64(.90)	6.13(2.49)	3.35(1.73)	<.001	<.001	<.001
Phonologic fluency ^a	22.17(8.28)	17.14(6.74)	10.75(4.64)	<.001	<.001	.002
Semantic fluency ^a	30.03(8.37)	15.73(6.06)	9.45(4.33)	<.001	<.001	.001
Mini QCS	11.58(.69)	9.64(2.28)	7.95(2.76)	<.001	<.001	.036
TCD-MA	8.86(.93)	6.77(2.39)	4.30(2.66)	<.001	<.001	.003
BREF	17.03(1.23)	13.91(2.64)	11.35(2.08)	<.001	<.001	.002

Note. GAI, Geriatric Anxiety Inventory; GDS, Global Depression Scale; MMSE, Mini Mental State Examination; QCS, semantic knowledge questionnaire; TCD-MA, short naming test adapted to AD; BREF, short test of frontal efficiency.

^a Raw scores.

.018) but did not differ in gender distribution ($U = 268, p = .069$). Given these significant differences, it was not possible to match participants on these variables (but see below for a control of these potential effects). Concerning anxiety and depression questionnaires, all the participants had low scores and did not differ from each other. Comparison of cognitive assessments between each AD group and the control group revealed significant differences, showing that AD participants had significantly lower scores than healthy ones in semantic memory, episodic memory and on the executive functioning (see Table 4). Comparison of cognitive assessments between AD1 and AD2 also show that AD2 had significantly lower scores than AD1 in these three domains.

3.2. Accuracy in the lexical decision task

3.2.1. AD1 group vs control group

We ran a LMEM that predicted accuracy using interaction between condition and group as fixed effect and the items and participants as random effects, as well as by-participant slope. As by-participant slope was found non-significant ($p = .063$), we removed it from the model. The likelihood-ratio test indicated that the model was non-significant for the condition [$\chi^2(1) = 0.00, p = .956$], for the group [$\chi^2(1) = 0.88, p = .349$], and the interaction between condition and group [$\chi^2(1) = 1.26, p = .262$].

3.2.2. AD2 group vs control group

The likelihood-ratio test indicated that the model was non-significant for the condition [$\chi^2(1) = 0.25, p = .617$] and the interaction between condition and group [$\chi^2(1) = 0.47, p = .495$] but were significant for the group [$\chi^2(1) = 5.74, p = .017$]. These latter results meant that the AD2 group participants were less successful at the task than the healthy group ($\beta = -1.85, SE = 0.78, z = -2.36$).

3.3. RTs in the lexical decision task

3.3.1. AD1 group vs control group

We ran a LMEM that predicted RTs using interaction between condition and group as fixed effect and the items and participants as random effects, as well as by-participant slope. Random effects testing revealed a non-significant result for the by-participant slope ($p = .059$). The model fitted without this slope was significant for participant random ($p < .001$) and item random effect ($p < .001$). Therefore, we fitted a model without this slope. The likelihood-ratio applied to this latter model indicated that the model was non-significant for the condition [$\chi^2(1) = 1.82, p = .177$] but was significant for the group [$\chi^2(1) = 23.86, p < .001$] and the interaction between condition and group [$\chi^2(1) = 8.09, p = .004$]. The summary of the model is shown in Table 5. These results indicate that participants of the AD1 group were significantly slower than the healthy participants, with an estimated average slowdown of 226 ms

Table 5

LMEM estimates for the RTs interaction effect of PS in the lexical decision task.

	Coefficient	SE	df	t value	p value
Fixed effect					
Intercept	682.88	25.63	74.32	26.64	<.001
PS condition	-3.54	13.57	68.88	-0.26	.795
Group	225.57	39.23	60.00	5.75	<.001
PScondition:group	-28.35	9.96	3088.36	-2.85	.004
Variance					SD
Random effect					
Participant Intercept		20340			142.62
Stimuli Intercept		2255			47.48
Residual		16890			129.96

($\beta = 225.57$, $SE = 39.23$, $t = 5.75$). The interaction effect meant that while healthy participants processed the low and high PS condition equally (low PS = 683 ms; high PS = 679 ms), AD1 participants were faster for the high PS words than for the low PS words (low PS = 908 ms; high PS = 877 ms).

Because participants differed significantly in age and gender, we tested several models to examine if the inclusion of these variables changed the fitting of the model. Only the model including age as a fixed effect improves the likelihood of the model [$\chi^2(1) = 8.09$, $p = .004$]. Indeed, when we tested the model including age, we observed a significant effect for this variable [$\chi^2(1) = 11.04$, $p < .001$]. However, given that the AD participants were older than the healthy subjects, it was not surprising to obtain a significant age effect in this model. To ensure that the interaction effect observed between condition and group were not age-related, we tested a new model including interaction between group, condition, and age. Results showed no interaction between condition and age [$\chi^2(1) = 0.18$, $p = .672$] but an interaction between group and age [$\chi^2(1) = 7.58$, $p = .006$].

3.3.2. AD2 group vs control group

We used the same model as in the previous point, so that the model included this time the AD2 group. Given that all random and slope effects were significant ($p < .001$), we fitted a full model including these effects. The results indicated that the model was non-significant for the condition [$\chi^2(1) = 0.00$, $p = .971$] and the interaction between condition and group [$\chi^2(1) = 0.03$, $p = .869$], but was significant for the group [$\chi^2(1) = 60.46$, $p < .001$], meaning that the AD2 participants were significantly slower than the healthy participants ($\beta = 698.22$, $SE = 64.46$, $t = 10.83$).

Because participants differed significantly in age and educational level, we tested several models to examine whether the inclusion of these variables changed the fitting of the model. The model including age and educational level as a fixed effect improved the likelihood of the model [$\chi^2(1) = 5.41$, $p = .020$]. The new likelihood-ratio test including age and educational level showed a significant effect for age [$\chi^2(1) = 5.41$, $p = .020$] but not for the educational level [$\chi^2(6) = 8.62$, $p = .196$]. To ensure that the lack of effect observed between condition and group were not age-related, we tested a new model including interaction between group, condition, and age. Results showed that there was no interaction between condition and age [$\chi^2(1) = 1.30$, $p = .255$] but there was one between group and age [$\chi^2(1) = 4.10$, $p = .043$], again confirming that although our groups differ by age, it was not age that was responsible for the interaction results between group and condition.

3.4. Complementary analysis

Because the LMEM that predicted RTs concerning AD1 participants group and healthy participants group was significant for the interaction effect between condition and group, we performed complementary analysis to better understand this result. We performed Spearman correlations between the PS index of both group (AD1 and healthy participants) and scores on preliminary cognitive assessments. As a reminder, the PS index represent the difference in RTs between the high and low PS condition, for each participant individually. According to the coding parameters selected in our analyses, the more negative the index was, the more there was an effect of PS (i.e., a difference between the RTs concerning the low and high conditions). Conversely, the more positive this difference was the weaker this effect was. All the results showed significant and positive correlation, except for the phonological fluency (see Table 6). This meant that the higher the scores on the questionnaires, the higher the index (thus positive) and therefore the less effect of PS was observed. Consistent with the results obtained in the LMEM, the level of cognitive deterioration seems to influence the effect of PS (i.e., a difference between the 2 conditions would appear only when cognitive scores fall).

We then performed regression analyses to determine which cognitive questionnaires were most relevant to explain the index. In the first step, we performed the analysis including all preliminary cognitive assessments. In a second step, we focused only on the lexical-

Table 6
Spearman correlations between the PS index and cognitive assessment questionnaires.

	MMSE	BREF	5 words test	Mini QCS	TCDMA	Phonological fluency (z scores)	Semantic fluency (z scores)
Spearman correlations	.581	.410	.281	.313	.353	.157	.311
p value	<.001	.001	.033	.017	.007	.240	.018

Table 7
Mean (and SD) of BREF, TCDMA and mini QCS and index, according to the distribution of threshold scores for each questionnaire and results of the Mann-Whitney test.

	N	Index Mean (SD)	Questionnaire scores Mean (SD)	Results
BREF				
Below threshold (16)	19	-26.80(25.48)	13.11(2.18)	$U = 236$, $p = .026$
Above threshold	39	-13.58(17.70)	17.18(.94)	
TCDMA				
Below threshold (7)	12	-44.17(34.30)	5(1.95)	$U = 123$, $p = .003$
Above threshold	46	-11.06(7.38)	8.87(.75)	
Mini QCS				
Below threshold (9)	11	-40.49(28.26)	7.82(1.89)	$U = 97$, $p = .001$
Above threshold	47	-12.63(15.41)	11.55(.62)	

semantic assessments. The first regression analysis (stepwise method) including all questionnaires showed that the model that best explained the index included the TCD-MA ($\beta = .534, t = 4.91, p < .001$) and the BREF ($\beta = .252, t = 2.31, p .025$). The second regression analysis involving only the lexical-semantic tests (phonological and semantic fluency, TCDMA, mini QCS) showed that the TCD-MA ($\beta = .461, t = 3.55, p = .001$) and the Mini QCS ($\beta = .278, t = 2.15, p = .036$) best explained the index.

To further investigate this latter point, we examined whether there were significant differences between our participants regarding the index depending on whether the participants had scores above or below the cut-off scores of the BREF, TCD-MA and Mini QCS questionnaires. Indeed, due to the high sensitivity and specificity of these questionnaires, threshold scores are used to determine whether participants' results are considered pathological (below threshold) or not (above threshold). The participants were therefore divided according to the subdivision of each of the cut-off scores of the questionnaires and no longer according to belonging to the AD or healthy group. A Mann-Whitney test was performed for each questionnaire. See Table 7 for a summary of the data and results. The results showed that the index was significantly different depending on whether the participants had a score above or below the threshold of the 3 questionnaires tested individually. In fact, participants with a score below the threshold of the BREF (threshold of 16), the TCDMA (threshold of 7) and the Mini QCS (threshold of 9) had a significantly lower index (i.e., very negative, showing a significant effect of PS) regardless of whether they were in the AD1 or healthy group.

Although the results for the LMEM involving the control group and the AD2 participants were non-significant, we still explored the existence of correlations between the participants' index and the questionnaires. However, the results were unequivocally non-significant ($p > .05$) for each of the neuropsychological assessments.

4. Discussion

The purpose of this study was to explore the effect of PS in AD in a LDT. Specifically, we were interested in whether high PS words would generate greater semantic activation than words with less PS in this disease, resulting in faster responses to high PS words than to low PS words. To this end, we investigated the performance of a group of healthy participants in comparison to a group of patients in the early stages of the disease and in the moderate stages of the disease.

The most interesting results concerned the RTs for the comparison of healthy and AD1 individuals. Indeed, the interaction effect between group and condition (low vs. high PS) showed that the AD1 participants presented a clear distinction between high vs. low PS words, whereas this was not the case in the healthy individuals who processed the 2 conditions in a similar way. Thus, the semantically less rich words (low PS words) were processed slower by the AD1 while the richer words (high PS words) were processed faster. In line with the activation feedback theory discussed in the introduction, these results can be explained by a feedback loop from semantic units to orthographic units (Balota et al., 1999; Hino & Lupker, 1996; Pexman et al., 2002) with greater activation occurring for high PS words as opposed to low PS words, because the connections between semantic and orthographic units are greater for these words. This would mean that in the mild stage of AD, these connections are present and are reinforced by the sensorimotor weight of the concepts. The more a concept contains semantic information (here perceptual), the more easily it will be accessible in the mild stage of the disease. Conversely, this means that low PS words are potentially more vulnerable given their impoverished semantic representation. These results are consistent with those of Duarte and Robert (2014) and Dunabeita et al. (2009) that showed that semantic richness also plays an important role in word processing in AD.

However, in contrast to these studies, our results show that this differentiated processing is specific to early-stage AD and not to healthy aging. In particular, further analyses revealed that the effect of PS was correlated with neuropsychological assessments; it occurred precisely when subjects' cognitive performance declined. The importance of 3 questionnaires (BREF, TCDMA and Mini QCS) was highlighted in determining the coefficient allowing to quantify this effect (which we called the index). These short assessments of executive and lexical-semantic functioning enabled us to show that there were significant differences in the index depending on whether the participant had a higher or lower score than the cut-off scores of the questionnaires, regardless of whether the participant belonged to the healthy group or to the AD group. These results corroborate the fact that it is indeed cognitive deterioration, in particular lexical-semantic and executive deterioration, that influences the results. This means that, in the early stage, lexical-semantic and executive performance, which are impaired in the disease, influence PS processing in terms of facilitating high PS words and defacilitating low PS word. Several elements are therefore relevant to discuss herein. First, the fact that this effect is present in AD1 and not in healthy participants and second, the fact that it is specific to the mild stage of the disease and not to the moderate.

At first glance, it may be surprising that healthy older people do not show this PS effect. In their study, Miceli et al. (in revision) suggested that healthy older adults would exhibit a probable ceiling effect reflected by a lack of distinction between the 2 conditions. This effect could occur because older adults have such an extensive sensorimotor experience with the concepts that even those with high PS would not show a processing benefit. Healthy older adults would therefore have reached the maximum level of experience - the most complete conceptual system - and the PS protocol as proposed in this study would not be fine-grained enough to observe a PS effect. In contrast, in the case of AD, deterioration of cognitive abilities (especially lexico-semantic and executive abilities) is observed, and we claim that these influence PS processing. Moreover, the analyses showed, in a very interesting way, that it was only for the AD1 group that this effect was observed. Indeed, the model evaluating the healthy and AD2 participants proved to be non-significant. The effect of PS thus appears in this study to be specific to AD1 individuals.

In order to understand these results as a whole, it is important to consider what is involved in the LDT. Barsalou, Santos, Simmons, and Wilson (2008) suggest that when the LDT is simple (i.e., no phonological and orthographic similarity between words and non-words), access to meaning is not necessary; the retrieval of the linguistic form and its associated statistical information is sufficient to correctly perform a task, without necessarily having to retrieve deep conceptual information (see also Plaut, 1997). However, if the task is finer (i.e., phonological and orthographic compliance), it requires deeper processing because meaning must be retrieved to

verify that the stimulus is a word (e.g., James, 1975; Joordens & Becker, 1997; Shulman & Davidson, 1977; Yap, Balota, Cortese, & Watson, 2006). Specifically, we used a methodology in which the non-words respected orthographic typicality and were orthographically and phonologically plausible. We therefore assume that our task required access to meaning rather than superficial processing guided by statistical association information. We can, therefore, suppose that meaning was more easily reached by the participants in the mild stage of AD, contrary to AD2 who had more lexical-semantic difficulties. This was particularly corroborated by the fact that AD2 participants were significantly less accurate than controls (unlike AD1 who did not differ from controls in accuracy). The PS effect observed in AD1 and not in AD2 group would therefore be related to a difference in access to word meaning, which was itself related to a mark of lexical-semantic degradation in AD.

Therefore, if we consider that the task is potentially not fine enough to observe an effect in healthy adults or that healthy adults exhibit a semantic « ceiling effect », we notice that it becomes fine enough for the mild stage of AD. This demonstrates that it is indeed the decrease in abilities that causes the PS effect. By contrast, at the moderate stage, we postulate that the lexical-semantic impairment is too severe for the effect to emerge. Numerous studies have, in fact, highlighted lexical-semantic deficits that became more important as the severity of the disease increased (e.g., Humbert & Chainay, 2006; Salehi, Reisi, & Ghasisin, 2017; Silagi et al., 2015).

More generally, a major limitation of our study was the demographic and socio-cultural differences between the groups. We were specifically concerned about the age differences between the groups that improved the likelihood of the model, the control group being significantly younger than the AD1 group which itself was significantly younger than AD2. While this was not surprising given that advancing age is the leading risk factor for AD ((Alzheimer's Association, 2010)), we had to exclude this potential bias. However, the various analyses ruled out an effect of age, gender, and educational level between groups. We have therefore shown that it was not the demographic or socio-cultural differences between the groups that influenced the results but rather the effect of the group.

Concerning the absence of PS effect in healthy controls, we suggested the existence of a ceiling effect on semantic processing, which could potentially be specific to the protocol. Indeed, a limitation of our study is that the protocol may not be sufficiently sensitive in healthy aging. In the design of the Miceli et al. (in revision) protocol, the stimuli were selected considering the evaluation of young and older healthy people:

Since it was shown that the PS ratings of the older adults were different from the young people for some modalities (Miceli et al., 2022), it seemed necessary to select 2 groups of words that correspond to the evaluation of the 2 populations studied. The 2 groups of words were constituted from the summed PS variable (the sum of the 5 perceptual ratings) and divided from the median. The division from the median was made taking into account the results for the 2 groups. (Miceli et al., in revision)

Since healthy older adults had higher PS rating (especially for certain word categories), the selection of stimuli is potentially less salient for older adults from the outset. It is therefore possible that the effect does not appear in older adults for strictly methodological reasons.

Also, the lack of effect for AD2 has been interpreted as a difficulty in accessing the meaning of words but a limitation of our study that can be pointed out is that we have no information concerning the participants' ability to access the orthographic system or even low-level perceptual processing that could have impacted lexical processing. It would therefore be relevant to take these elements into account in other investigations to ensure that the lack of PS effect is indeed related to lexical-semantic degradation and not to low-level lexical processing.

5. Conclusion

This study showed that PS influences visual word recognition in the mild stage of the disease, with mild stage (but not moderate stage) patients differing significantly from healthy controls. More specifically, it was the ratings of the executive neuropsychological (BREF) and lexical-semantic (TCD-MA, Mini QCS) assessments that influenced this effect. In particular, these results showed that, while the patients' abilities are always observed in relation to the stage of the disease (usually assessed with the MMSE), in this case it was mainly the level of executive and lexical-semantic performance that influenced the result, rather than the stage of the disease alone.

These results provide new information about the processing of embodied (sensorimotor) semantic information in AD and demonstrate the importance of considering the perceptual dimension when examining the conceptual system. They encourage further investigations with an embodied perspective in order to contribute to the understanding of the factors involved in the cognitive preservation/deterioration of patients with neurodegenerative diseases.

CRedit author statement

Aurélié Miceli: Conceptualization, Methodology, Investigation, Writing – Original Draft, Reviewing and Editing; **Erika Wauthia:** Methodology; **Kendra Kandana Arachchige:** Reviewing and Editing; **Laurence Ris:** Resources, Funding acquisition, Supervision; **Laurent Lefebvre:** Resources, Supervision; **Isabelle Simoes Loureiro:** Resources, Funding acquisition, Project administration, Supervision, Conceptualization, Methodology, Reviewing and Editing.

Funding

This study was funded by a program of *Actions de Recherches Concertées* financed by the Ministry of the French Community – Directorate General for Non-Compulsory Education and Scientific Research (reference: ARC-19/23 UMONS3).

Declaration of competing interest

None.

Data availability

The data code used in the study and the stimuli of the protocol used are available with the OSF link shared in the manuscript.

Appendix

Items used in the experiments

Low PS

Aigle, ampoule, araignée, ballon, bavoir, bobine, botte, bulle, casquette, chimpanzé, coccinelle, escarpin, étoile, fourmi, grenouille, jupe, limace, lune, nid, ours, panda, pile, pinceau, pot, soleil, souris, tabouret, tournevis

English traduction

Eagle, light bulb, spider, balloon, bib, spool, boot, bubble, cap, chimpanzee, ladybug, pump, star, ant, frog, skirt, slug, moon, nest, bear, panda, battery, paintbrush, pot, sun, mouse, stool, screwdriver.

High PS

Alcool, ambulance, ananas, blé, bougie, canard, champignon, cheval, cochon, coq, croissant, feu, kiwi, lapin, larme, maïs, mangue, moustique, pêche, piano, poivron, poney, poule, radis, rose, sang, sucette, vague.

English traduction. Alcohol, ambulance, pineapple, wheat, candle, duck, mushroom, horse, pig, cock, croissant, fire, kiwi, rabbit, tear, corn, mango, mosquito, peach, piano, pepper, pony, chicken, radish, rose, blood, lollipop, wave.

Abstract words

Absent, destin, chagrin, colère, confort, conseil, courage, crainte, crise, culte, danger, enfer, ennui, espoir, fatigue, faute, faveur, fidélité, force, gêne, gloire, hâte, humeur, humor, illusion, justice, louange, maîtrise, manque, mensonge, méthode, miracle, morale, mythe, nuance, opinion, pact, peace, forgiveness, passion, power, regret, rêve, thème, effort, santé, sens, échange, soif, songe, stabilité, tendance, théorie, usure, vitesse, zèle.

English traduction

Absent, fate, sorrow, anger, comfort, advice, courage, fear, crisis, cult, danger, hell, boredom, hope, fatigue, fault, favor, fidelity, strength, embarrassment, glory, haste, mood, humor, illusion, justice, praise, mastery, lack, lie, method, miracle, morality, myth, nuance, opinion, pact, peace, forgiveness, passion, power, regret, dream, theme, endeavor, health, meaning, exchange, thirst, dream, stability, tendency, theory, wear, velocity, zeal.

Non-words

Giln, machoïtont, loudiez, laxon, habel, vantolige, japolisan, béhari, aborvant, gabaliroin, agréo, mainés, zoster, vuesta, lic, muiler, cralloure, supervé, volven, goumonf, sung, puotasse, porse, ronk, unibames, kiot, hiche, gouie, cotie, ade, lica, biader, traplo, bax, harité, troje, caralet, quarmi, gecq, oflat, saveux, aublonnar, huvel, rapota, tunilier, irom, neceriable, baquis, idcie, ménové, kuib, couge, kadob, stecen, nuron, bla.

References

- Albanese, E. (2007). The "hidden" semantic category dissociation in mild-moderate Alzheimer's disease patients. *Neuropsychologia*, 45(4), 639–643.
- Altmann, L. J., & McClung, J. S. (2008). Effects of semantic impairment on language use in Alzheimer's disease. *Paper presented at the Seminars in speech and language*. Alzheimer's Association. (2010). Alzheimer's disease facts and figures. *Alzheimer's and Dementia*, 6(2), 158–194.
- Baayen, R. H., Davidson, D. J., & Bates, D. M. (2008). Mixed-effects modeling with crossed random effects for subjects and items. *Journal of Memory and Language*, 59(4), 390–412.
- Balota, D. A., Cortese, M. J., Sergent-Marshall, S. D., Spieler, D. H., & Yap, M. J. (2004). Visual word recognition of single-syllable words. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(2), 283.
- Balota, D. A., Ferraro, F. R., & Connor, L. T. (1991). On the early influence of meaning in word recognition: A review of the literature. *The psychology of word meanings*, 187–222.
- Balota, D. A., Paul, S. T., & Spieler, D. H. (1999). Attentional control of lexical processing pathways during word recognition and reading. *Language processing*, 15–57.
- Barsalou, L. W., Santos, A., Simmons, W. K., & Wilson, C. D. (2008). Language and simulation in conceptual processing. *Symbols, embodiment, and meaning*, 245–283.

- Bonin, P., Méot, A., Ferrand, L., & Roux, S. (2011). L'imageabilité: Normes et relations avec d'autres variables psycholinguistiques. *L'Année Psychologique*, 111(2), 327–357.
- Boulenger, V., Hauk, O., & Pulvermüller, F. (2009). Grasping ideas with the motor system: Semantic somatotopy in idiom comprehension. *Cerebral Cortex*, 19(8), 1905–1914.
- Brown, V. A. (2021). An introduction to linear mixed-effects modeling in R. *Advances in Methods and Practices in Psychological Science*, 4(1), Article 2515245920960351.
- Brysbaert, M., & Stevens, M. (2018). Power analysis and effect size in mixed effects models: A tutorial. *Journal of cognition*, 1(1).
- Cardebat, D., Doyon, B., Puel, M., Goulet, P., & Joanette, Y. (1990). Evocation lexicale formelle et sémantique chez des sujets normaux. Performances et dynamiques de production en fonction du sexe, de l'âge et du niveau d'étude. *Acta Neurologica Belgica*, 90(4), 207–217.
- Chertkow, H., & Bub, D. (1990). Semantic memory loss in alzheimer-type. *Modular deficits in Alzheimer-type dementia*, 207.
- Chertkow, H., Bub, D., Cosgrove, R., & Dixon, R. (1993). Des troubles sémantiques dans la maladie d'Alzheimer à la description de l'architecture fonctionnelle de la mémoire sémantique. *Revue de Neuropsychologie*.
- Clément, J., Nassif, R., Léger, J., & Marchan, F. (1997). Development and contribution to the validation of a brief French version of the yesavage geriatric depression scale. *L'encephale*, 23(2), 91–99.
- Connell, L., & Lynott, D. (2012). Strength of perceptual experience predicts word processing performance better than concreteness or imageability. *Cognition*, 125(3), 452–465.
- Cuetos, F., Arce, N., Martínez, C., & Ellis, A. W. (2017). Word recognition in A lzheimer's disease: Effects of semantic degeneration. *Journal of Neuropsychology*, 11(1), 26–39.
- Cuetos, F., Gonzalez-Nosti, M., & Martínez, C. (2005). The picture-naming task in the analysis of cognitive deterioration in Alzheimer's disease. *Aphasiology*, 19(6), 545–557.
- Cuetos, F., Herrera, E., & Ellis, A. W. (2010). Impaired word recognition in Alzheimer's disease: The role of age of acquisition. *Neuropsychologia*, 48(11), 3329–3334.
- Cuetos, F., Martínez, T., Martínez, C., Izura, C., & Ellis, A. W. (2003). Lexical processing in Spanish patients with probable Alzheimer's disease. *Cognitive Brain Research*, 17(3), 549–561.
- Cuetos, F., Rodríguez-Ferreiro, J., Sage, K., & Ellis, A. W. (2012). A fresh look at the predictors of naming accuracy and errors in Alzheimer's disease. *Journal of Neuropsychology*, 6(2), 242–256.
- Dartinet, V., & Martinaud, O. (2005). La BREF, une batterie rapide d'évaluation frontale. *NPG Neurologie-Psychiatrie-Gériatrie*, 5(29), 43–46.
- Duarte, L. R., & Robert, C. (2014). Semantic richness influences naming pictures in old age and in Alzheimer's disease. *Journal of Neurolinguistics*, 31, 55–68.
- Dubois, B., Touchon, J., Portet, F., Ousset, P.-J., Vellas, B., & Michel, B. (2002). Les 5 mots, épreuve simple et sensible pour le diagnostic de la maladie d'Alzheimer. *La Presse Médicale*, 31(36), 1696–1699, 1983.
- Dunabeitia, J. A., Marín, A., & Carreiras, M. (2009). Associative and orthographic neighborhood density effects in normal aging and Alzheimer's disease. *Neuropsychology*, 23(6), 759.
- Đurđević, D. F., Popović Stijajić, M., & Karapandžić, J. (2016). A quest for sources of perceptual richness: Several candidates. *Studies in language and mind*, 187–238.
- Duyck, W., Desmet, T., Verbeke, L. P., & Brysbaert, M. (2004). WordGen: A tool for word selection and nonword generation in Dutch, English, German, and French. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 36(3), 488–499.
- Estes, Z., & Adelman, J. S. (2008). Automatic vigilance for negative words is categorical and general.
- Ferrand, L., Méot, A., Spinelli, E., New, B., Pallier, C., Bonin, P., et al. (2018). MEGALEX: A megastudy of visual and auditory word recognition. *Behavior Research Methods*, 50(3), 1285–1307.
- Gainotti, G., Di Betta, A. M., & Silveri, M. C. (1996). The production of specific and generic associates of living and nonliving, high-and low-familiarity stimuli in Alzheimer's disease. *Brain and Language*, 54(2), 262–274.
- Glenberg, A. M., & Kaschak, M. P. (2002). Grounding language in action. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(3), 558–565.
- González, J., Barros-Loscertales, A., Pulvermüller, F., Meseguer, V., Sanjuán, A., Belloch, V., et al. (2006). Reading cinnamon activates olfactory brain regions. *NeuroImage*, 32(2), 906–912.
- Hargreaves, I. S., Leonard, G., Pexman, P. M., Pittman, D., Siakaluk, P. D., & Goodyear, B. (2012). The neural correlates of the body-object interaction effect in semantic processing. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 22.
- Hargreaves, I. S., Pexman, P. M., Johnson, J. S., & Zdravilova, L. (2012). Richer concepts are better remembered: Number of features effects in free recall. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 73.
- Harm, M. W., & Seidenberg, M. S. (2004). Computing the meanings of words in reading: Cooperative division of labor between visual and phonological processes. *Psychological Review*, 111(3), 662.
- Harvey, P. D. (2011). Mood symptoms, cognition, and everyday functioning: In major depression, bipolar disorder, and schizophrenia. *Innovations in clinical neuroscience*, 8(10), 14.
- Hino, Y., & Lupker, S. J. (1996). Effects of polysemy in lexical decision and naming: An alternative to lexical access accounts. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22(6), 1331.
- Hodges, J. R., & Patterson, K. (1995). Is semantic memory consistently impaired early in the course of Alzheimer's disease? Neuroanatomical and diagnostic implications. *Neuropsychologia*, 33(4), 441–459.
- Hodges, J. R., Patterson, K., Graham, N., & Dawson, K. (1996). Naming and knowing in dementia of Alzheimer's type. *Brain and Language*, 54(2), 302–325.
- Hodges, J. R., Salmon, D. P., & Butters, N. (1991). The nature of the naming deficit in Alzheimer's and Huntington's disease. *Brain*, 114(4), 1547–1558.
- Holmes, S. J., Jane Fitch, F., & Ellis, A. W. (2006). Age of acquisition affects object recognition and naming in patients with Alzheimer's disease. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 28(6), 1010–1022.
- Hsu, N. S., Kraemer, D. J., Oliver, R. T., Schlichting, M. L., & Thompson-Schill, S. L. (2011). Color, context, and cognitive style: Variations in color knowledge retrieval as a function of task and subject variables. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(9), 2544–2557.
- Humbert, S., & Chainay, H. (2006). L'effet d'amorçage sémantique dans la Maladie d'Alzheimer: l'origine du déficit sémantique. *Revue de Neuropsychologie*, 16(1), 251–287.
- Inkster, M., Wellsby, M., Lloyd, E., & Pexman, P. M. (2016). Development of embodied word meanings: Sensorimotor effects in children's lexical processing. *Frontiers in Psychology*, 7, 317.
- James, W. (1975). *The meaning of truth* (Vol. 2). Harvard University Press.
- Joordens, S., & Becker, S. (1997). The long and short of semantic priming effects in lexical decision. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 23(5), 1083.
- Kirshner, H. S., Webb, W. G., & Kelly, M. P. (1984). The naming disorder of dementia. *Neuropsychologia*, 22(1), 23–30.
- Kousta, S.-T., Vinson, D. P., & Vigliocco, G. (2009). Emotion words, regardless of polarity, have a processing advantage over neutral words. *Cognition*, 112(3), 473–481.
- Loureiro, I. S., Taverne, M., & Lefebvre, L. (2018). Le mini-QCS: Un outil de dépistage rapide des troubles de la mémoire sémantique de la maladie d'Alzheimer. *Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie du Vieillessement*, 16(4), 429–438.
- Loureiro, I. S., Taverne, M., Malou, V., Basaglia-Pappas, S., Besin, R., Invernizzi, S., et al. (2021). Présentation du test court de dénomination adapté à la maladie d'Alzheimer (TCD-MA). *Revue de Neuropsychologie*, 13(3), 214–222.
- Lynott, D., & Connell, L. (2009). Modality exclusivity norms for 423 object properties. *Behavior Research Methods*, 41(2), 558–564.
- Lynott, D., & Connell, L. (2013). Modality exclusivity norms for 400 nouns: The relationship between perceptual experience and surface word form. *Behavior Research Methods*, 45(2), 516–526.
- Lynott, D., Connell, L., Brysbaert, M., Brand, J., & Carney, J. (2019). The lancaster sensorimotor norms: Multidimensional measures of perceptual and action strength for 40,000 English words. *Behavior Research Methods*, 1–21.

- Maloney, E. A., Sattizahn, J. R., & Beilock, S. L. (2014). Anxiety and cognition. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 5(4), 403–411.
- Martin, A. (2007). The representation of object concepts in the brain. *Annual Review of Psychology*, 58, 25–45.
- Martínez-Nicolás, I., Carro, J., Llorente, T. E., & Meilán, J. J. G. (2019). *The deterioration of semantic networks in Alzheimer's disease*. Exon Publications.
- McKhann, G., Drachman, D., Folstein, M., Katzman, R., Price, D., & Stadlan, E. (1984). Clinical diagnosis of alzheimer's disease: Report of national Institute of neurological and communicative disorders and Stroke and the alzheimer disease and related disorders association (now known as the alzheimer's association, (NINCDS-ADRDA) work group under the auspices of department of health and human services task force on alzheimer's disease. *Neurology*, 34(939), 8.
- Miceli, A., Wauthia, E., Kandana Arachchige, K., Lefebvre, L., Ris, L., & Simoes Loureiro, I. (2022). Influence of perceptual strength on conceptual processing: Investigation in aging and in lexical-semantic decisions. *Acta Psychologica* (in revision).
- Miceli, A., Wauthia, E., Lefebvre, L., Ris, L., & Simoes Loureiro, I. (2021). Perceptual and interoceptive strength norms for 270 French words. *Frontiers in Psychology*, 12, 2018.
- Nebes, R. D. (1989). Semantic memory in Alzheimer's disease. *Psychological Bulletin*, 106(3), 377.
- New, B., Brysbaert, M., Veronis, J., & Pallier, C. (2007). The use of film subtitles to estimate word frequencies. *Applied Psycholinguistics*, 28(4), 661–677.
- Pachana, N. A., Byrne, G. J., Siddle, H., Koloski, N., Harley, E., & Arnold, E. (2007). Development and validation of the geriatric anxiety inventory. *International Psychogeriatrics*, 19(1), 103–114.
- Paivio, A., Yuille, J. C., & Madigan, S. A. (1968). Concreteness, imagery, and meaningfulness values for 925 nouns. *Journal of Experimental Psychology*, 76(1p2), 1.
- Peters, F., Majerus, S., De Baedemaeker, J., Salmon, E., & Collette, F. (2009). Impaired semantic knowledge underlies the reduced verbal short-term storage capacity in Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, 47(14), 3067–3073.
- Pexman, P. M. (2012). Meaning-based influences on visual word recognition. *Visual word recognition*, 2, 24–43.
- Pexman, P. M., Holyk, G. G., & Monfils, M.-H. (2003). Number-of-features effects and semantic processing. *Memory & Cognition*, 31(6), 842–855.
- Pexman, P. M., Lupker, S. J., & Hino, Y. (2002). The impact of feedback semantics in visual word recognition: Number-of-features effects in lexical decision and naming tasks. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(3), 542–549.
- Pexman, P. M., Siakaluk, P. D., & Yap, M. J. (2014). *Meaning in mind: Semantic richness effects in language processing*. Frontiers E-books.
- Plaut, D. C. (1997). Structure and function in the lexical system: Insights from distributed models of word reading and lexical decision. *Language & Cognitive Processes*, 12(5–6), 765–806.
- Rodríguez-Ferreiro, J., Davies, R., González-Nosti, M., Barbón, A., & Cuetos, F. (2009). Name agreement, frequency and age of acquisition, but not grammatical class, affect object and action naming in Spanish speaking participants with Alzheimer's disease. *Journal of Neurolinguistics*, 22(1), 37–54.
- Rogers, S. L., & Friedman, R. B. (2008). The underlying mechanisms of semantic memory loss in Alzheimer's disease and semantic dementia. *Neuropsychologia*, 46(1), 12–21.
- Salehi, M., Reisi, M., & Ghasisin, L. (2017). Lexical retrieval or semantic knowledge which one causes naming errors in patients with mild and moderate alzheimer's disease. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders Extra*, 7(3), 419–429.
- Shulman, H. G., & Davidson, T. C. (1977). Control properties of semantic coding in a lexical decision task. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 16(1), 91–98.
- Siakaluk, P. D., Pexman, P. M., Aguilera, L., Owen, W. J., & Sears, C. R. (2008). Evidence for the activation of sensorimotor information during visual word recognition: The body-object interaction effect. *Cognition*, 106(1), 433–443.
- Siakaluk, P. D., Pexman, P. M., Sears, C. R., Locheed, K., & Owen, W. J. (2008). The benefits of sensorimotor knowledge: Body-object interaction facilitates semantic processing. *Cognitive Science*, 32(3), 591–605.
- Silagi, M. L., Bertolucci, P. H. F., & Ortiz, K. Z. (2015). Naming ability in patients with mild to moderate alzheimer's disease: What changes occur with the evolution of the disease? *Clinics*, 70, 423–428.
- Silveri, M. C., Cappa, A., Mariotti, P., & Puopolo, M. (2002). Naming in patients with Alzheimer's disease: Influence of age of acquisition and categorical effects. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24(6), 755–764.
- Simmons, W. K., Ramjee, V., Beauchamp, M. S., McRae, K., Martin, A., & Barsalou, L. W. (2007). A common neural substrate for perceiving and knowing about color. *Neuropsychologia*, 45(12), 2802–2810.
- Singmann, H., Bolker, B., Westfall, J., & Aust, F. (2015). *Package 'afex'*. Vienna.
- Skelton-Robinson, M., & Jones, S. (1984). Nominal dysphasia and the severity of senile dementia. *The British Journal of Psychiatry*, 145(2), 168–171.
- Stanfield, R. A., & Zwaan, R. A. (2001). The effect of implied orientation derived from verbal context on picture recognition. *Psychological Science*, 12(2), 153–156.
- Team, R. (2015). *RStudio: Integrated development for R*. Boston, MA: RStudio: Inc.
- Thompson-Schill, S. L., Gabrieli, J. D., & Fleischman, D. A. (1999). Effects of structural similarity and name frequency on picture naming in Alzheimer's disease. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 5(7), 659–667.
- Tillotson, S. M., Siakaluk, P. D., & Pexman, P. M. (2008). Body-object interaction ratings for 1,618 monosyllabic nouns. *Behavior Research Methods*, 40(4), 1075–1078.
- Toglia, M. P., & Battig, W. F. (1978). *Handbook of semantic word norms*. Lawrence Erlbaum.
- Vallet, G. T. (2015). Embodied cognition of aging. *Frontiers in Psychology*, 6, 463.
- Wellsby, M., & Pexman, P. M. (2014). Developing embodied cognition: Insights from children's concepts and language processing. *Frontiers in Psychology*, 5, 506.
- Westfall, J., Kenny, D. A., & Judd, C. M. (2014). Statistical power and optimal design in experiments in which samples of participants respond to samples of stimuli. *Journal of Experimental Psychology: General*, 143(5), 2020.
- Xue, J., Marmolejo-Ramos, F., & Pei, X. (2015). The linguistic context effects on the processing of body-object interaction words: An ERP study on second language learners. *Brain Research*, 1613, 37–48.
- Yap, M. J., Balota, D. A., Cortese, M. J., & Watson, J. M. (2006). Single-versus dual-process models of lexical decision performance: Insights from response time distributional analysis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(6), 1324.
- Yap, M. J., Pexman, P. M., Wellsby, M., Hargreaves, I. S., & Huff, M. (2012). An abundance of riches: Cross-task comparisons of semantic richness effects in visual word recognition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 72.
- Yu, Z., Guindani, M., Grieco, S. F., Chen, L., Holmes, T. C., & Xu, X. (2021). Beyond t test and ANOVA: Applications of mixed-effects models for more rigorous statistical analysis in neuroscience research. *Neuron*.

Chapitre 6 – Discussion générale

L'objectif global de cette dissertation doctorale était d'étudier les propositions de l'approche incarnée de la cognition au regard du vieillissement sain et de la MA. En effet, les théories de la cognition incarnée suggèrent que les systèmes sensorimoteur et conceptuel sont interreliés. De ce point de vue, la connaissance est ancrée dans les systèmes modaux cérébraux, elle s'acquiert à travers les expériences du corps et de l'environnement (Barsalou, 2008; Martin, 2007; Pulvermüller & Fadiga, 2010; Vigliocco et al., 2004). Les traces mnésiques sont vues comme distribuées à travers de multiples systèmes neuronaux (incluant les systèmes sensoriel, moteur, émotionnel et cognitif) et un principe de simulation permet de réactiver ces traces, faisant émerger la représentation (Barsalou, 2008, 1999). Si de nombreuses preuves en faveur de ces propositions ont été étayées dans la littérature chez des sujets adultes jeunes (e.g., Martin, 2007, 2016), et plus récemment chez des enfants (e.g., Inkster et al., 2016; Wellsby & Pexman, 2014), nous n'avons relevé qu'un faible nombre d'études concernant le vieillissement. Néanmoins, l'hypothèse qui a guidé nos questionnements est celle suggérant un plus faible ancrage sensorimoteur chez les personnes âgées (e.g., Costello & Bloesch, 2017), c'est-à-dire que la relation qui existe entre les systèmes sensorimoteur et conceptuel serait affaiblie avec l'âge et interférerait sur l'habilité à simuler la représentation. Ce sont les modifications sensorielles neurophysiologiques et les perturbations motrices rencontrées dans le cadre du vieillissement normal qui perturberaient l'émergence des représentations et la récupération des connaissances (Costello & Bloesch, 2017; Mille et al., 2021). Comme nous l'avons discuté dans la revue de littérature au chapitre 3, plusieurs études corroborent cette hypothèse concernant l'émergence des souvenirs épisodiques (e.g., Boutet et al., 2019; Greene & Nave-Benjamin, 2020). Il est notamment suggéré que les souvenirs épisodiques sont de moins bonnes qualités chez la personne âgée suite à l'atteinte précoce des circuits du cortex périrhinal et hippocampique impliqués dans la distinction d'informations visuelles (Burke et al., 2014; Burke et al., 2018). Toutefois, nous avons mis en évidence le manque de données soutenant un moindre ancrage pour l'émergence des connaissances sémantiques dans le vieillissement. Ce constat nous a conduit à orienter nos expérimentations afin de proposer des pistes de réponses quant à l'évolution des représentations sensorimotrices/conceptuelles dans le vieillissement normal et pathologique. La littérature scientifique étant pauvre à ce sujet, les études que nous avons menées ont un caractère purement exploratoire.

Pour commencer, nous avons tout d'abord proposé d'obtenir une mesure permettant de capturer l'expérience perceptuelle associée à un concept. En effet, les relations fonctionnelles et neurales existantes entre perception et mémoire conduisent à une définition des connaissances conceptuelles basées sur l'importance respective de chaque modalité dans la formation de ces connaissances (Vallet, 2020). La FP s'est avérée pertinente afin de saisir la multimodalité des connaissances conceptuelles. Notre première étude a donc eu pour objectif de **développer des normes de FP** (visuelle, auditive, haptique, olfactive, gustative, intéroceptive) en langue française et ce pour 270 mots concrets. L'ICO s'est également avérée pertinente afin de capturer un des aspects de la dimension motrice associée aux concepts. Après avoir obtenu ces normes chez de jeunes adultes, nous avons jugé nécessaire d'**obtenir ces données chez des personnes âgées saines** afin de les **comparer** (étude 2). Cette comparaison nous a permis de discuter de manière originale la question de l'évolution des représentations sensorimotrices avec l'âge. Ensuite, nous avons proposé d'**évaluer la question de l'ancrage sensorimoteur des concepts dans le vieillissement normal et dans la MA à partir de tâches de reconnaissance visuelle de mots** permettant d'appréhender le traitement conceptuel de manière implicite. Pour cela, nous avons créé un protocole exploratoire impliquant la FP dans deux tâches de décision lexicale et sémantique. Nos analyses ont été guidées par l'hypothèse selon laquelle une forte interconnexion entre le traitement perceptuel et conceptuel devrait se traduire par des différences de traitement pour les concepts présentant un poids perceptuel distinct. Nous nous sommes donc interrogés sur la façon dont le processus de vieillissement sain et la MA pouvaient impacter ce traitement.

Compte tenu de la nature exploratoire de cette thèse, les résultats obtenus sont complexes et ouverts à différentes interprétations selon l'angle d'approche. Sans prétention d'exhaustivité, des pistes de réflexion seront abordées dans ce chapitre. Elles encouragent une analyse approfondie et une compréhension nuancée des résultats obtenus afin d'ouvrir la voie à de nouvelles perspectives dans le domaine de recherche étudié. Nous proposons une discussion scindée en quatre parties. Avant d'entamer le vif du sujet relatif au processus de vieillissement, la première partie vise à la **compréhension de l'implication de la FP dans les mécanismes d'activation sémantique** ainsi que les processus spécifiques intervenant dans les deux tâches de décision. Dans la seconde partie, nous amorçons la question de l'ancrage et proposons, ensuite, de centrer nos réflexions sur **la façon dont le vieillissement a pu moduler le traitement conceptuel**, selon le type de tâche. La troisième partie poursuit ces réflexions en

les adaptant spécifiquement à la MA. Enfin, la quatrième partie aborde **les limites et perspectives** de nos recherches.

1. Compréhension de l'implication de la force perceptuelle dans les mécanismes de traitement conceptuel

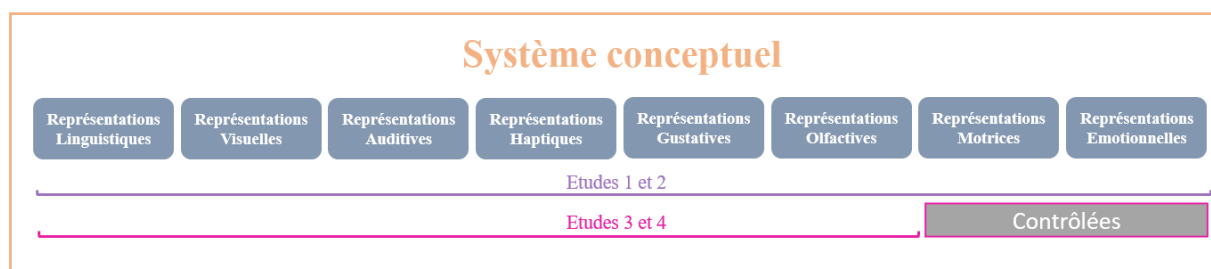
Pour entamer cette discussion, il nous semble essentiel de rappeler brièvement les fondements théoriques de l'approche pluraliste multimodale qui considère l'existence de systèmes sémantiques multiples (Connell & Lynott, 2014b; Pexman, 2019; Reilly et al., 2016; Zwaan, 2014). Cette conception multimodale des représentations conceptuelles impliquant à la fois les systèmes de perception, d'action, d'émotion et de langage nous semble en effet particulièrement éclairante pour nos réflexions. Pour rappel, les auteurs soutenant cette approche s'accordent sur l'existence d'un traitement conceptuel dynamique et flexible, intégrant à la fois l'importance des représentations linguistiques et modales. Il est également suggéré que l'emphase mise sur l'une ou l'autre dimension dépendra du type de stimuli ainsi que du type de tâche utilisé, ce qui modulera le traitement conceptuel. Cette vision du traitement conceptuel s'est présentée comme étant la plus complète afin d'apporter une explication à l'existence de différents résultats de la littérature (e.g., Louwerse & Jeuniaux, 2010) et d'aboutir à un modèle cognitif tenant compte de toutes les contraintes représentationnelles (Connell & Lynott, 2014b).

Nos approches des études 1 et 2 ont tenté d'appréhender l'ensemble des dimensions représentationnelles (i.e., linguistique, perceptuelle, motrice et émotionnelle), telles que suggérées par l'approche pluraliste. Nos investigations des études 3 et 4 ont ciblé plus spécifiquement la dimension linguistique et perceptuelle (i.e., visuelle, auditive, haptique, gustative, olfactive) du système sémantique pour le traitement de mots concrets isolés (voir figure 13). Par dimension linguistique, nous entendons la représentation de l'étiquette verbale (i.e., la suite de lettres) d'un concept. Concernant la dimension perceptuelle, nous faisons référence aux représentations visuelles, auditives, haptiques, gustatives et olfactives. La variable de FP nous a permis de capturer chacune de ces dimensions. Examiner l'ensemble des dimensions représentationnelles étant trop ambitieux, les sphères motrice (i.e., ICO) et émotionnelle (i.e., intéroception, *arousal*, valence) récoltées pour l'étude 1 et 2, n'ont pas fait l'objet d'une tâche expérimentale à part entière. Néanmoins, ces dimensions ont été contrôlées dans notre design expérimental (i.e., décision lexicale et sémantique) en utilisant les variables

à notre disposition, afin que nos interprétations puissent considérer uniquement la force du traitement des aspects sensoriels relatifs aux cinq sens.

Figure 13

Dimensions investiguées dans nos études



1.1 Focus sur les représentations linguistiques et perceptuelles

Comme nous l'avons vu au cours du chapitre 1, les conceptions théoriques considérant l'existence de plusieurs systèmes parallèles rappellent la théorie du codage dual de Paivio (1971, 1986, 2010). Cet auteur a suggéré que les représentations sémantiques étaient codées sous deux systèmes mentaux séparés : l'un spécialisé dans le traitement et la représentation linguistique (le code verbal) et l'autre dédié au traitement non linguistique (i.e., sensorimoteur) des objets et événements (le code non verbal) (cf. chapitre 1, section 2.4.1). Bien que les conceptions théoriques basées sur cette proposition aient été postérieurement modulées à différents niveaux selon les auteurs, la proposition initiale et influente de Paivio continue à servir de fondement conceptuel solide pour notre approche. En effet, bien que nous envisagions que les relations entre les différents systèmes soient plus complexes (voir infra), cette proposition théorique permet une représentation simple des deux dimensions (i.e., linguistiques et perceptuelles) principalement étudiées dans notre partie expérimentale. Elle nous permet également de discuter de l'emphase portée sur la modalité visuelle des représentations linguistiques dans nos études. En effet, nos tâches consistaient en une reconnaissance visuelle de mots et n'impliquaient donc pas directement les représentations phonologiques et haptiques du langage (telles que représentées dans le tableau 1 du chapitre 1). Il est également suggéré que les représentations linguistiques impliquent les informations statistiques associées aux concepts, c'est-à-dire leur fréquence, les associations entre eux et leurs relations à des structures syntaxiques (Barsalou et al., 2008). Bien que ces aspects n'aient pas été ciblés dans nos études,

des précautions ont été prises afin de contrôler certaines variables linguistiques telles que la fréquence des mots, le nombre de lettres, de phonèmes, de voisins orthographiques et phonologiques ainsi que la distance orthographique de Levenshtein.

A partir d'une représentation linguistique écrite (i.e., forme visuelle d'un mot), la récolte de FP (étude 1 et 2) nous a permis d'obtenir un accès à sa représentation modale (relative aux cinq modalités sensorielles classiques) correspondante (représentant le code non verbal, selon Paivio). Ensuite, dans nos études 3 et 4, nous avons formulé l'hypothèse que l'input sensoriel d'un mot écrit activerait d'emblée la représentation modale associée. Cette supposition a été étayée par un large corpus de données provenant de la littérature (discuté au chapitre 1) qui ont d'ailleurs constitué le fondement des théories de la cognition incarnée (e.g., Fischer & Zwaan, 2008; Kemmerer, 2010; Kiefer & Pulvermüller, 2012).

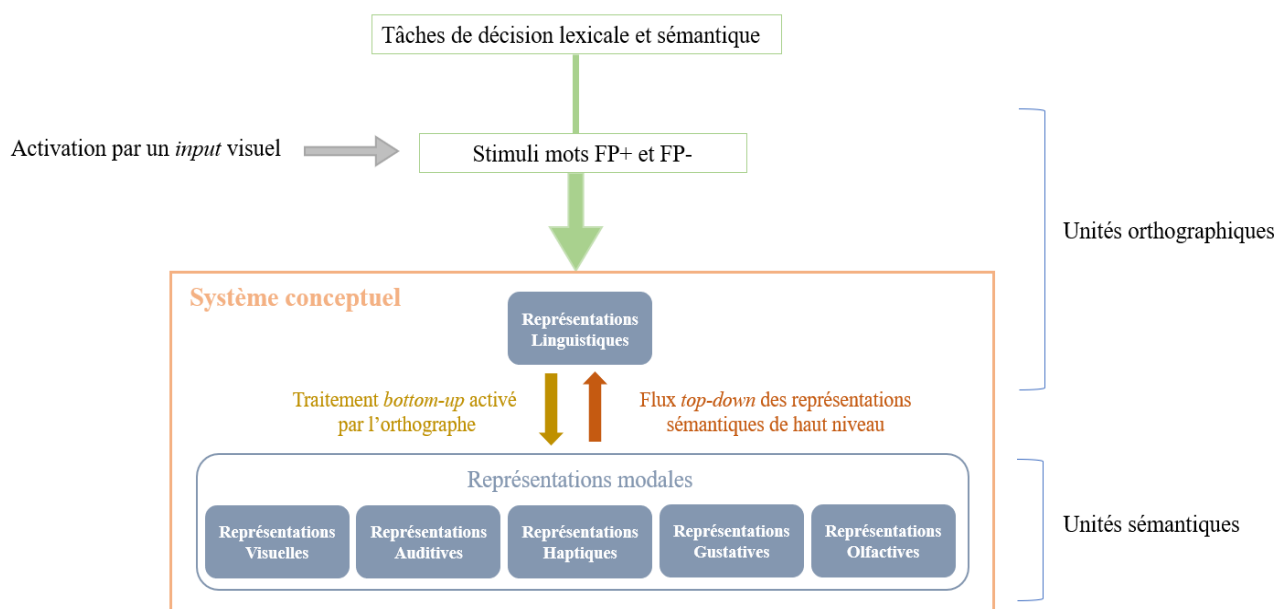
1.2 L'accès à la signification

Bien que les résultats de nos études soient à nuancer selon le type de tâche employée et la population étudiée (voir discussion infra), l'appréciation globale des analyses menées aux travers de nos études 3 et 4 corrobore l'existence d'un traitement différencié entre les items FP élevée (FP+) et FP faible (FP-). Dans les lignes suivantes, nous proposons de discuter la manière dont l'accès à la signification s'est produit dans nos expérimentations 3 et 4.

Nous suggérons que la première étape du traitement conceptuel concerne le décodage du mot, celui-ci impliquant la reconnaissance de lettres (nous renvoyons le lecteur au modèle à Activation Interactive de McClelland et Rumelhart présenté au chapitre 2 pour une proposition détaillée expliquant le décodage des lettres). Comme proposé par les modèles connexionnistes PDP (e.g., Ham & Seidenberg, 2004), nous suggérons que les unités orthographiques se sont activées pour se propager aux unités sémantiques grâce à leur connexion, via le chemin visuel orthographique vers la sémantique. L'activation a donc suivi un flux de traitement de l'information *bottom-up* des caractéristiques visuelles de bas niveaux vers la représentation lexicale du mot entier, tout en permettant un traitement *top-down* à partir des représentations sémantiques de haut niveau (Carreiras et al., 2014; Price & Devlin, 2011). Les représentations sémantiques concernent donc ici celles du système modal perceptuel (captées par la FP). De ce point de vue, c'est leur activation qui a permis l'accès à la signification (cf. Barsalou et al., 2008). La figure 14 permet d'illustrer ces propos.

Figure 14

Activation des unités orthographiques et sémantiques à partir des tâches de décision lexicale et sémantique

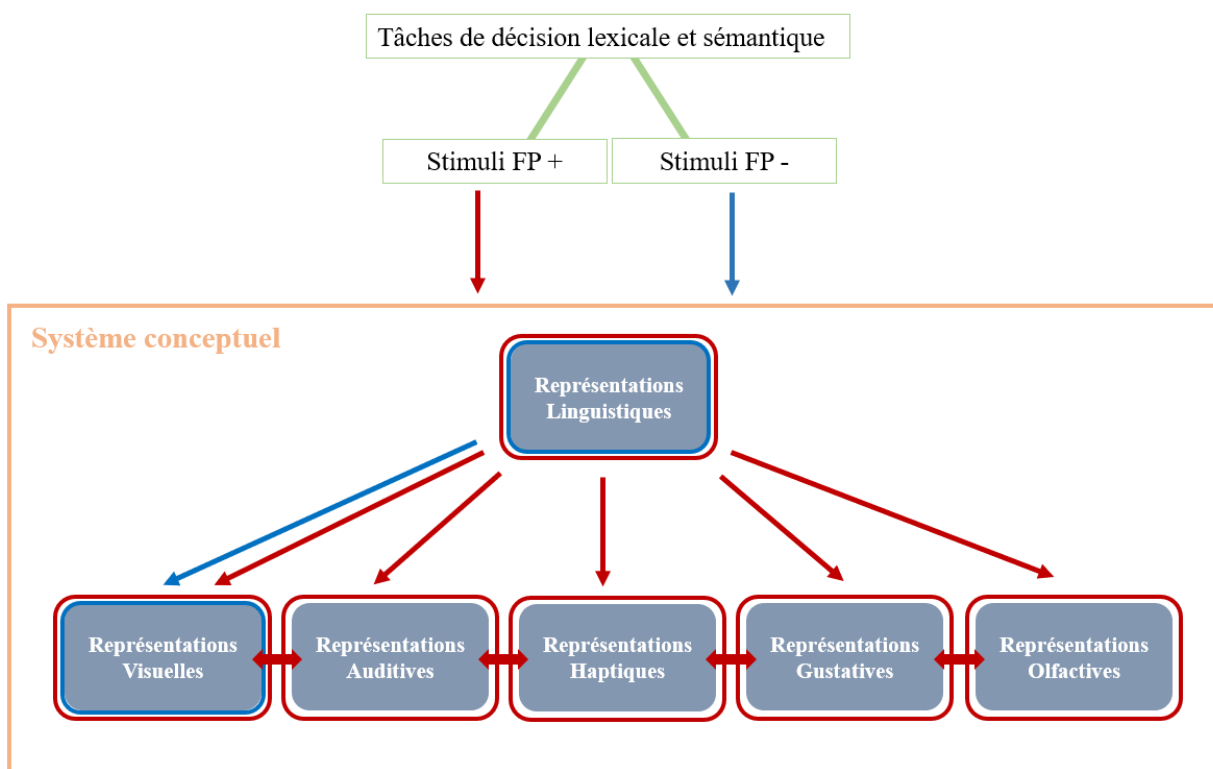


Plus spécifiquement, au niveau de l'activation sémantique, nous avons formulé l'hypothèse que des différences existeraient selon le poids des représentations modales manipulés à partir de nos stimuli et que celles-ci se manifesteraient par des temps de réponses plus rapides pour les items FP+. En effet, les mots FP+ ont été considérés, théoriquement, comme étant plus riches sémantiquement en raison de leurs représentations multimodales, contrairement aux items FP- qui se limitaient majoritairement à des représentations modales visuelles. Nous avons supposé que les concepts FP+ induiraient une plus grande activation sémantique que leur homologues FP-, suite à l'activation de connexions plus étendues au sein des représentations modales. Cette proposition se justifiait, d'un point de vue méthodologique, par la différence de score total de FP obtenu pour chaque catégorie (i.e., poids perceptuel total différent entre FP+ et FP-) mais également en termes de multimodalité. En effet, nous avons mis en évidence que les deux catégories de mots créées différaient significativement étant donné leur multimodalité : les mots FP+ étaient davantage multimodaux (i.e., représentés dans plusieurs modalités) alors que les FP- étaient davantage unimodaux (i.e., représentés majoritairement dans une seule modalité, visuelle).

Notre hypothèse suggérant une activation sémantique plus étendue pour les concepts FP+ a pu être confirmée par nos résultats chez les jeunes adultes (dans le cadre des 2 expérimentations en décision lexicale et sémantique) ainsi que chez les participants MA (décision lexicale). La théorie du feedback d'activation (Hino & Lupker, 1996; Hino et al., 2002; Pexman & Lupker, 1999; Pexman et al., 2001; Siakaluk, Pexman, Aguilera, et al., 2008) s'est avérée pertinente pour expliquer nos résultats. Elle explique comment les unités orthographiques activent les unités sémantiques en suggérant qu'un effet facilitateur apparaît (se manifestant par un traitement plus rapide et/ou plus précis) lorsque les mots présentent des représentations sémantiques riches (notamment sensorimotrices) car ceux-ci fournissent un feedback d'activation plus fort à l'orthographe (e.g., Siakaluk, Pexman, Aguilera, et al., 2008). Nos résultats font également écho avec le point de vue de Paivio qui suggère que l'activation dépend de la force des *inputs* ou de la fréquence de l'activation : certaines unités linguistiques peuvent activer peu d'unités non linguistiques (i.e., modales) alors que d'autres unités linguistiques en activeraient beaucoup (Sadoski & Paivio, 2004). La figure 15 propose une représentation schématique des activations supposées par les concepts FP+ et FP- dans nos études.

Figure 15

Proposition schématique de l'activation des représentations à partir des concepts de force perceptuelle élevée (FP+) et force perceptuelle faible (FP-)



1.2.1 Le principe de simulation et l'activation neuronale dans le cadre de la FP

Selon les théories de la cognition incarnée, la représentation perceptuelle est possible grâce à un principe de simulation. Dans nos expérimentations, nous suggérons que la lecture d'un mot a activé (i.e., réinstancié) le système modal via la simulation neurophysiologique d'un ensemble de représentations sensorimotrices (Barsalou, 1999, 2008). Selon la **théorie des zones de convergence** de Damasio (1989, 1994), un pattern d'activation neuronale se déclenche et synchronise des schémas d'activation qui convergent afin de former une représentation cohérente. Compte tenu de nos résultats, il est possible de formuler l'hypothèse selon laquelle les deux catégories de stimuli créées génèrent, potentiellement, un pattern d'activation neuronal contrasté, l'un étant plus prépondérant que l'autre. Cette différence s'expliquerait en raison des propriétés multimodales des concepts FP+ qui activeraient davantage de connexions dans le système multimodal que leurs homologues FP-. L'implication de nombreuses connexions pour les FP+ s'expliquerait notamment par la co-activation des représentations perceptuelles en mémoire. Les travaux de recherches existants soutiennent cette proposition en démontrant diverses co-activations entre les modalités sensorielles. Par exemple, des études ont révélé des co-activations entre la modalité visuelle et auditive (Chen & Spence, 2010; Vallet, Simard, & Versace, 2011), olfactive et visuelle (Pauli et al., 1999), tactile et visuelle (Ballesteros & Reales, 2004) ainsi que des interactions entre toutes les modalités sensorielles (Förster, 2011).

Il semble également important de souligner l'apport de la **théorie topographique conceptuelle** proposée par Simmons et Barsalou (2003) dans la compréhension des processus d'activation neuronaux qui pourraient être impliqués dans nos études. En effet, suivant le principe de la théorie des zones de convergence de Damasio (1989, 1994), cette théorie complémentaire accorde une importance aux représentations lexicales. Bien que les auteurs suggèrent que ces représentations lexicales soient topographiquement isolées des autres (sur le plan neuronal), ils leur accordent un rôle central dans le traitement conceptuel en tant que système à part entière. Cette approche semble donc la plus exhaustive afin d'envisager la cascade complète d'activation neuronale impliquant la synchronisation de toutes les dimensions essentielles au construit représentationnel (i.e., linguistiques, visuelles, auditives, tactiles, olfactives, gustatives, émotionnelles, motrices,...). Il convient toutefois de noter que celle-ci demeure théorique. Son application soulève néanmoins des perspectives prometteuses afin de tester et vérifier cette approche dans des conditions d'imagerie cérébrale.

1.2.2 Compréhension de l'implication de la FP au regard du modèle Act-In

Pour rappel, le modèle Act-In (Versace et al., 2014) est un modèle fonctionnaliste qui propose l'existence d'un système unique de la mémoire dans lequel les souvenirs émergent à partir de l'activation simultanée de multiples traces en mémoire. Ces traces mnésiques résultent de l'interaction entre l'expérience vécue (la situation), les expériences passées (les connaissances antérieure) et les buts de l'individu. Selon ce modèle, 2 processus sont à l'origine de l'émergence des représentations : l'activation (inter-traces et intra-traces) et l'intégration. Ce modèle s'est avéré particulièrement intéressant car il spécifie les mécanismes qui sont à l'origine de l'émergence des connaissances dans une perspective incarnée et située de la cognition. Néanmoins, il n'explique pas comment l'accès à la représentation peut être rendue possible à partir d'un *input* lexical. En effet, les processus d'émergence sont décrits à partir d'une situation impliquant la perception (ou la pensée) d'un élément. Nous proposons de discuter les apports de ce modèle dans l'émergence des représentations perceptuelles impliquées dans nos tâches de reconnaissance visuelle de mots, tout en intégrant les apports des modèles discutés précédemment.

Selon les contraintes de ce modèle, nous suggérons que l'activation de l'étiquette lexicale se réaliserait au sein de la composante inter-traces visuelle. Le système linguistique serait donc activé à partir de l'écriture, qui présente un codage visuel, ce dernier correspondant à la dimension inter-traces visuelle du modèle Act-In. Cette activation se propagerait alors au niveau intra-traces en ciblant toutes les composantes modales associées (i.e., visuelles, auditives, olfactives, motrices, émotionnelles,...). Ainsi, la lecture du mot *chat* activerait toutes les expériences antérieures avec ce concept, i.e., visuelles, auditives, haptiques, olfactives, émotionnelles, motrices. C'est l'activation concomitante des composantes inter et intra-traces qui va permettre l'émergence de la représentation du concept lu. De ce point de vue, la variable de FP permettrait de capturer les composants intra-traces perceptuels. Dès lors, les concepts FP+ impliqueraient la propagation d'activation d'un nombre important de traces alors que les items FP- impliqueraient, quant à eux, un nombre restreint d'activation (i.e., peu de composants intra-traces).

Ce modèle propose également la notion de force de la trace mnésique qui retient particulièrement notre attention. En effet, le modèle Act-In suggère que la réactivation d'une trace mnésique dépendra de sa distinctivité (les traces les plus distinctes seraient les plus facilement accessibles) ainsi que de son niveau d'intégration des composants de la trace (i.e.,

la force du lien entre les composants). Au plus une trace est intégrée, au plus la propagation de l'activation sera facilitée (e.g., Brunel et al., 2013). Dès lors, nous suggérons que les concepts FP+ ont permis une facilitation de la propagation de l'activation via le renforcement des connexions entre les composants des traces alors que les concepts FP- ont induit une propagation peu étendue étant donné leurs plus faibles connexions avec les autres composants intra-traces. Les concepts FP+ présenteraient donc de hauts niveaux d'intégration car ils possèdent des forces de relations importantes entre les différentes modalités (e.g., l'ananas possède une forme visuelle spécifique d'emblée associée à un goût et une odeur unique ainsi qu'à une texture rugueuse et hérissée particulière). Au contraire, les concepts FP- présenteraient de faibles niveaux d'intégration en raison de leurs connexions limitées avec les autres modalités sensorielles (e.g., la lune possède une forme visuelle singulière mais elle n'est pas associée à d'autres modalités perceptuelles).

1.2.3 L'accès à la signification est-il différent selon la tâche ?

Après avoir discuté des mécanismes d'activation et processus d'émergence des représentations interagissant avec la FP, nous proposons d'examiner les différences de traitement conceptuel impliquées dans les tâches de décision lexicale et sémantique. Il a été démontré que le type de décision sollicité dans une tâche de reconnaissance de mots peut influencer les effets observés (Kiefer & Mertens, 2010). En effet, la demande de la tâche oriente l'attention des participants qui ajustent dynamiquement le type d'information utilisé pour y répondre de manière spécifique (e.g., Pexman et al., 2003; Tousignant & Pexman, 2012). Il a notamment été mis en évidence que la nature de la tâche et des stimuli influence la prédominance de facteurs incarnés vs linguistiques (e.g., Louwerse & Jeuniaux, 2010). Dans nos expérimentations des études 3 et 4, nous avons utilisé deux tâches différentes. Leur traitement peut néanmoins être discuté et comparé car les stimuli d'intérêt utilisés sont identiques ; ils sont constitués de 28 concepts présentant une FP+ et 28 concepts présentant une FP-.

La tâche de décision lexicale (TDL) met l'emphasis sur le traitement lexical (i.e., décider si la suite de lettres présentée est un mot de la langue française). La tâche de décision sémantique (TDS) met, quant à elle, l'accent sur le système modal (i.e., décision d'imageabilité : le mot présenté est-il imageable ?). La théorie LASS de Barsalou et al. (2008) a joué un rôle essentiel afin de comprendre et interpréter nos résultats. Elle accorde une importance aux représentations linguistiques et modales tout en proposant que ces deux systèmes de représentations interagissent de manière continue pour produire le traitement conceptuel. Elle se veut

complémentaire à l'approche de Paivio discutée supra et permet d'expliquer comment le traitement conceptuel peut être dominé par le système linguistique ou par le système modal.

1.2.3.1 Analyse de la tâche de décision lexicale

Selon la théorie LASS, le traitement lexical implique le système langagier qui est superficiel, contrairement au système modal qui requiert un traitement sémantique plus profond (Barsalou et al., 2008). Plus particulièrement, lorsque la décision lexicale est simple (i.e., aucune similarité orthographique ou phonologique entre les mots et les non-mots), l'accès à la signification n'est pas nécessaire car la récupération de la forme linguistique et ses informations statistiques associées (e.g., fréquence des mots) est suffisante pour discriminer un mot d'un non-mot. Toutefois, lorsque la tâche est conceptualisée de manière plus fine (i.e., les non-mots ont des similarités phonologiques et orthographiques avec des mots de la langue française), il est suggéré qu'un traitement plus profond est alors nécessaire car l'accès à la signification permettra de vérifier si le stimulus est un mot (e.g., James, 1975; Joordens & Becker, 1997; Yap et al., 2006). Dans la même idée, d'autres auteurs suggèrent également que la décision lexicale requiert une évaluation de la familiarité orthographique du mot. Les effets dans ces tâches sont alors interprétés comme étant produits par un feedback d'activation des représentations sémantiques vers les représentations orthographiques (Hino & Lupker, 1996). Au contraire, les performances dans des tâches de catégorisation sont vues comme impliquant plus directement le traitement sémantique avec moins d'emphasis sur la familiarité orthographique (Hino et al., 2006).

La question de la profondeur du traitement est donc importante et nous y avons porté une attention particulière. Dans la décision lexicale (études 3 et 4), les mots et non-mots ont été appariés sur le nombre de lettres, de phonèmes, de voisins orthographiques et phonologiques, selon la distance orthographique de Levenshtein ainsi que la fréquence bigramme. Les non-mots utilisés dans cette tâche respectent donc la typicalité orthographique des mots de la langue française. Etant donné ces précautions méthodologiques, nous avons suggéré qu'un accès à la signification des mots via l'activation du système modal a été requis afin de prendre la décision oui-non.

Les résultats obtenus dans nos 2 études de reconnaissance de mots appuient cette proposition chez les sujets jeunes adultes¹⁴ et les sujets MA en montrant des effets qui témoignent d'un traitement différencié de la FP. Ils suggèrent donc qu'un accès à la signification (i.e., au système modal) a été nécessaire, au moins chez ces participants (voir discussion au point 2.2 pour les interprétations relatives aux résultats des adultes âgés sains).

1.2.3.2 Analyse de la tâche de décision sémantique

Nous avons suggéré que la TDS d'imageabilité impliquait une activation directe des représentations sémantiques (Hino et al., 2006), et par conséquent, du système modal (Barsalou et al., 2008). Dans cette tâche, la profondeur du traitement est donc d'emblée plus importante grâce à l'emphase portée sur le système modal. Bien que les résultats n'aient pas mis en évidence d'effet de la FP auprès du groupe jeune et du groupe âgé individuellement (étude 3), les résultats témoignant d'une interaction entre la condition et le groupe suggèrent que les contraintes de la tâche aient impliqué une activation modale et un traitement sémantique profond. En accord avec plusieurs propositions de la littérature (Barsalou et al., 2008; Louwerse & Jeuniaux, 2010; Zwaan & Yaxley, 2003), nous avançons que cette tâche ait mis directement l'emphase sur les facteurs incarnés et que c'est cette modulation *top-down* qui a conduit à des résultats distincts de ceux de la décision lexicale.

Dans nos conceptualisations méthodologiques, nous avons également accordé une importance au type de consigne impliquée dans la catégorisation sémantique. En effet, la consigne en elle-même pourrait impliquer des mécanismes *top-down* qui renforcent ou atténuent les effets du traitement lexical (Kiefer & Mertens, 2010). Ainsi, le type de question dirigera le participant vers une manière de prendre sa décision (e.g., Al Azary et al., 2022; Tousignant & Pexman, 2012). Etant donné que la consigne d'imageabilité fait référence à une représentation visuelle, imagée, un son ou une autre expérience sensorielle (Bonin et al., 2011), nous avons tenu à contrôler la stratégie d'imageabilité employée par les participants. L'utilisation d'un questionnaire post-tâche nous a permis de recueillir leurs stratégies afin de s'assurer qu'ils se focalisaient globalement sur la même modalité sensorielle pour fournir leur réponse. En accord avec les hypothèses formulées dans l'étude 3, la référence à l'« image mentale » a orienté le participant (biaisé son attention) vers une stratégie d'imagerie visuelle (cf. Connell & Lynott,

¹⁴ Comme évoqué dans l'étude 3, les résultats chez les jeunes adultes sont discutables sur le plan statistiques et des considérations méthodologiques peuvent également être soulevées.

2012) qui était significativement dominante par rapport aux autres stratégies perceptuelles. Cette analyse de stratégie nous a donc permis un certain contrôle des effets *top-down* impliqués directement dans la consigne et nous a permis d'interpréter nos résultats en prenant en compte un maximum de variables pouvant les moduler.

Les résultats de la tâche de décision d'imageabilité nous ont conduit à suggérer que le vieillissement sain entraînait un traitement différencié du système modal, lorsque l'attention des participants étaient directement orientées vers l'activation des représentations modales (voir section 2.2 du présent chapitre).

2. Evolution des relations entre système perceptuel et conceptuel dans le vieillissement normal

2.1 L'ancrage sensorimoteur des concepts dans le vieillissement sain

2.1.1 L'hypothèse d'un ancrage plus fort

La question de l'ancrage des représentations dans les expériences sensorimotrices dans le cadre du vieillissement a été discutée dans la revue de littérature du chapitre 3. Nous avons spécifiquement réfléchi à l'hypothèse d'un ancrage plus faible vs plus important des représentations sémantiques dans le vieillissement. Nos considérations de la littérature scientifique nous ont finalement amenés à formuler l'hypothèse que le poids des représentations sensorimotrices pourrait être plus important avec l'avancée en âge étant donné l'expérience accumulée au cours de la vie qui, elle-même, détermine nos connaissances (Umanath & Marsh, 2014). Nos investigations menées dans l'étude 2 comparant l'évaluation de la FP des individus jeunes et âgés corroborent, au moins en partie, nos hypothèses initiales. En effet, les résultats montrent que les personnes âgées présentent des scores de FP plus élevés pour certaines catégories de mots et, en particulier, pour certaines modalités perceptuelles. Pour rappel, des scores de FP significativement plus élevés pour les modalités olfactive et gustative ont été observés chez les adultes âgés, en comparaison aux jeunes adultes. L'analyse par catégorie de mots a mis en évidence des scores de FP plus élevés pour la modalité auditive, olfactive et gustative dans la catégorie des animaux. La catégorie des fruits et légumes a montré une plus grande FP sur le plan haptique, gustatif et olfactif alors que la catégorie des objets manufacturés

ne présentait aucune différence significative entre les deux groupes. Ces résultats suggèrent donc que les représentations perceptuelles (évaluées par le biais de la FP) évoluent dans le vieillissement normal, au moins pour certaines modalités qui seraient plus sensibles à l'expérience. Cette idée que l'expérience façonne nos représentations sensorimotrices n'est, en fait, pas nouvelle car de nombreuses études sont étayées en ce sens (e.g., Bechtold et al., 2019; Chrysikou et al., 2017; Fourkas et al., 2008; Holt & Beilock, 2006; Kiefer et al., 2007; Vignando et al., 2018). Néanmoins, notre étude a spécifiquement ciblé le poids perceptuel relatif à cinq modalités permettant ainsi une discussion originale centrée sur l'évolution potentielle des propriétés constitutives de certains concepts avec l'avancée en âge.

Cette modification du poids perceptuel des propriétés constitutives des concepts au cours du vieillissement peut être conceptualisée dans la théorie des zones de convergence (Damasio, 1989; Damasio & Damasio, 1994; Vigliocco et al., 2004; Simmons & Barsalou, 2003). Cette théorie propose que les systèmes modaux ne sont pas analogues à la mémoire mais que le traitement sémantique impliquerait des systèmes adjacents et réciproquement liés aux aires primaires sensorielles. De ce point de vue, la relation entre les zones de convergence des cortex primaires et associatifs et le système conceptuel/sémantique pourrait être renforcée dans le vieillissement sain en établissant des connexions plus solides entre ces systèmes. Au regard du modèle Act-In, nous supposons que les représentations sensorimotrices, associées à l'activation « inter-traces », soient renforcées chez l'adulte âgé par la rencontre répétée avec de nombreux concepts au cours de leur existence. Notons que ce renforcement des composants sensorimoteurs associés à la trace mnésique d'un concept a pu s'observer uniquement pour certaines modalités qui varient également selon la catégorie des concepts. D'autres investigations seront nécessaires, notamment afin d'analyser plus finement l'impact de certaines catégories de mots.

2.1.2 L'ancrage moteur, une dimension à part ?

L'objectif de notre étude 2 a également été de comparer les scores d'ICO entre les adultes jeunes et âgés afin de réaliser une comparaison des représentations entre ces deux populations pour la dimension motrice. Les résultats montrant des scores d'ICO significativement plus faibles chez les adultes âgés nous ont conduit à discuter l'hypothèse opposée d'un plus faible ancrage pour la dimension représentationnelle motrice des concepts. Bien que nous n'excluons pas que les représentations perceptuelles et motrices évoluent dans des directions différentes avec l'âge, nous avons relevé certains aspects méthodologiques (i.e., effet de la consigne) qui devraient

être considérés afin de s'assurer de la réplicabilité des résultats. Bien que la question de l'évolution des représentations motrices dans le vieillissement puisse faire l'objet d'une étude à part entière, nos investigations suivantes ont été principalement axées sur la dimension perceptuelle. Une discussion plus approfondie sur l'évolution des représentations motrices dans le vieillissement demeure donc en attente d'autres expérimentations permettant de l'alimenter, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives de recherches dans ce domaine.

2.1.3 Résoudre la question de l'ancrage à partir d'un traitement conceptuel implicite ?

L'ensemble des éléments discutés dans cette étude 2 doit toutefois être interprété avec prudence. En effet, nos interprétations sont basées sur des jugements de scores réalisés auprès de deux populations (jeune et âgée). Ceux-ci ne sont pas comparables à une tâche qui permet de réaliser des inférences dans le cadre d'un traitement sémantique en tant que tel. Nos expérimentations menées dans l'étude 3 et 4 ont donc été conduites afin de questionner les représentations sensorimotrices et leur évolution dans le traitement lexico-sémantique.

Au commencement de ces études exploratoires, les hypothèses suivantes pouvaient être formulées.

- Dans le cas d'un ancrage plus important des représentations sensorimotrices dans le vieillissement (comme suggéré par l'étude 2 pour la FP), le traitement de la FP+ devrait être davantage facilité chez les sujets âgés, en comparaison aux sujets jeunes. En effet, si l'on suggère que le vieillissement bénéficie de connexions plus riches entre le système conceptuel et le système perceptuel, le traitement des items FP+ serait d'autant plus facilité par le fait qu'ils activeraient des connexions plus étendues au sein des représentations modales.
- Au contraire, dans le cas de l'hypothèse d'un ancrage plus faible, nous pouvions imaginer que l'affaiblissement des connexions entre le système conceptuel et le système perceptuel dans le vieillissement ne permettrait pas de distinction de traitement significatif entre les items FP+ et FP-.

Dans le cas de la décision lexicale (de l'étude 3), les analyses impliquant l'interaction entre les deux groupes et la condition FP montrent que les deux populations jeunes et âgées tendent à agir de manière similaire en montrant une facilitation du traitement en faveur des items FP+.

Nous avons donc conclu qu'une tendance à se comporter de la même manière quant au traitement de la FP pouvait exister entre jeunes et âgés pour la TDL¹⁵. De ce point de vue, cela suppose alors l'existence d'un ancrage sensoriel relativement similaire entre les deux populations testées et implique donc un ancrage épargné dans le vieillissement. Les résultats de la TDL (étude 3) ne nous donnent, en tout cas, pas d'arguments clairs en faveur de représentations de moins bonnes qualités, contrairement à d'autres études utilisant des tâches épisodiques (Mille et al., 2021).

En revanche, les résultats de la tâche sémantique ont amené d'autres considérations. Les résultats montrant une interaction significative entre le groupe et la condition témoin, au contraire, d'un traitement différencié et opposé de la FP entre jeunes et âgés. Nous suggérons dès lors que les hypothèses liées à la question de l'ancrage sensorimoteur des concepts sont difficiles à résoudre sur base de nos résultats. En effet, outre les considérations statistiques et méthodologiques, nous avons été accaparés par des questionnements sur la dynamique d'activation des représentations entre les deux tâches. Ces éléments ont donc orienté la discussion sur la façon dont le vieillissement peut moduler le traitement sémantique et l'activation du système modal, plutôt que sur la question d'un renforcement vs affaiblissement de l'ancrage.

2.2 Modulation du traitement sémantique dans le vieillissement et implication du système modal

Comme évoqué à la section 1 du présent chapitre, nous supposons que la décision lexicale et la décision sémantique aient impliqué une profondeur de traitement sémantique distincte, la première mettant l'accent sur le système de représentations linguistiques et la seconde sur le système de représentations modales. Nous soutenons que c'est cette distinction qui a amené des résultats divergents entre les deux tâches auprès des participants âgés. En effet, selon Barsalou et al. (2008), la décision lexicale impliquerait un traitement linguistique superficiel alors que la

¹⁵ Les analyses effectuées lors de notre quatrième étude, qui compare des sujets âgés sains à ceux présentant la MA, nous ont permis de prendre du recul par rapport à ces données. Par conséquent, au point suivant, nous proposons des interprétations plus nuancées centrées sur la question de la profondeur du traitement.

décision sémantique impliquerait un traitement plus profond nécessitant l'activation du système modal. Plusieurs hypothèses peuvent alors être discutées.

2.2.1 Un traitement superficiel des représentations linguistiques

Dans le cas de la décision lexicale, bien que nous ayons suggéré que la méthodologie employée était suffisamment fine que pour nécessiter un accès à la signification profonde (i.e., aux représentations modales), il convient de considérer l'impact du vieillissement dans ce type d'accès. En effet, cette tâche met l'accent sur la familiarité orthographique d'un mot (Hino & Lupker, 1996) et il convient de prendre en compte l'expertise linguistique plus étendue des personnes âgées suite à leurs expériences de lecture (Matzen & Benjamin, 2013). En effet, il a été mis en évidence qu'au plus les individus acquièrent de l'expérience en lecture, au plus ils deviennent performants dans les mécanismes automatiques du traitement lexical (Hargreaves, Pexman, et al., 2012; Yap et al., 2011; Yap, Balota, et al., 2012). Compte tenu de leur expérience linguistique plus importante (i.e., la personne âgée a davantage été exposée à des mots au cours de sa vie), nous avons suggéré qu'un effet plafond pouvait intervenir dans la tâche. Celui-ci peut être dû à deux raisons non mutuellement exclusives : 1) un facteur méthodologique lié à la manipulation des stimuli dans la création du protocole (cf. discussion de l'étude 3), 2) les personnes âgées auraient développé un système conceptuel particulièrement riche et complet (en comparaison aux jeunes adultes) de telle sorte qu'elles traiteraient de manière relativement similaire les concepts présentant des poids perceptuels distincts dans une TDL.

Un point de vue complémentaire est nécessaire afin d'étayer cette dernière proposition. Nous suggérons que l'expérience lexicale des participants âgés ait, en fait, entraîné un traitement relativement superficiel des concepts. Ce traitement superficiel se serait produit au sein des représentations linguistiques, leur activation étant suffisante pour réaliser la décision lexicale. Cette proposition est corroborée par des données suggérant que les compétences en lecture et les expériences langagières acquises avec l'âge permettent à la personne âgée de construire une représentation plus élaborée, comparativement aux jeunes (voir Radvansky & Dijkstra, 2007; Stine-Morrow et al., 2006). Dès lors, leurs représentations linguistiques étant plus élaborées, la performance en décision lexicale ne nécessiterait pas de traitement plus profond impliquant un accès à la signification. Les résultats de l'étude 4 comparant les personnes âgées saines et celles présentant la MA appuient également cette interprétation. En effet, l'effet d'interaction observé dans cette étude (entre le groupe et la condition) témoigne d'un traitement différencié de la FP dans le cadre de la MA mais pas dans le cadre du vieillissement sain. Ces résultats signifient

alors que c'est l'affaiblissement des représentations linguistiques dans la MA qui impliquerait l'accès à la signification profonde, c'est-à-dire l'activation du système modal (voir section 3).

2.2.2 Le traitement modal impliquerait-il des mécanismes inhibiteurs ?

Dans le cas de la catégorisation sémantique, nous supposons que les contraintes de la tâche (i.e., consigne d'imageabilité) aient impliqué d'emblée l'accès au système modal, que ce soit pour les sujets jeunes ou plus âgés. Ce traitement plus profond serait alors à l'origine des résultats divergents pour cette tâche ; les jeunes ont présenté un traitement facilité pour les items FP+, alors qu'au contraire, les FP- ont facilité le traitement des adultes âgés.

Afin d'expliquer ces résultats, nous avons considéré **l'implication de mécanismes inhibiteurs** dans le traitement des concepts de notre tâche. En effet, si l'on considère que la multimodalité associée aux concepts FP+ entraîne une propagation d'activation au sein des réseaux neuronaux multisensoriels (cf. point 1.2 supra), nous supposons que la consigne d'imageabilité (attirant l'attention sur la modalité visuelle) implique que le traitement des items FP+ engendre une inhibition des activations des représentations sensorielles autres que celles visuelles pour répondre à la demande de la tâche. Concrètement, lors du traitement de l'item « ananas », le participant devrait inhiber les représentations concurrentes à la modalité visuelle (i.e., gustatives, olfactives, haptiques) pour répondre à la consigne d'imageabilité. Par contre, les items FP- étant majoritairement unimodaux (visuels) nécessiteraient, quant à eux, une moindre implication de l'inhibition des activations concurrentes. Nous supposons donc que la tâche ait impliqué des processus similaires à la résistance à l'interférence. La résistance à l'interférence peut être définie comme la capacité à inhiber les informations non pertinentes qui peuvent interférer dans l'espace de travail mental lors de la réalisation d'un but (Dempster & Corkill, 1999; Harnishfeger, 1995). Il est également suggéré que la résistance à l'interférence puisse être distinguée selon le domaine spécifique impliqué par le stimulus utilisé (voir Grégoire & Majerus, 2023 pour une revue théorique). De manière particulièrement intéressante, Dempster (1993) suggère qu'il existe un domaine spécifique de **résistance à l'interférence sur le plan perceptuel** (i.e., visuel ou auditif) qui se distingue de la résistance à l'interférence linguistique (i.e., liées à des unités lexicales telles que des mots ou des phrases) ou motrice (i.e., résister aux actes moteurs tels que ceux impliqués dans l'écriture, par exemple). Des modèles computationnels proposent également des modélisations montrant que le traitement d'une propriété dans un système représentationnel implique le traitement involontaire d'interférences concurrentes qui sont immédiatement désactivées via des algorithmes spécifiquement intégrés

au système représentationnel en question afin de réduire l'interférence (Oberauer et al., 2012; Schneider & Detweiler, 1988; Schneider, 1993).

Dès lors, nous suggérons que les perturbations des mécanismes inhibiteurs impliqués dans le vieillissement peuvent moduler le traitement des concepts dans notre TDS. En effet, la diminution du contrôle inhibiteur est un phénomène connu dans la littérature sur le vieillissement (Hasher & Zacks, 1988; Rossi, 2018; Verhaeghen et al., 2005). Celui-ci est attribué aux changements liés à l'âge dans le cortex préfrontal (Raz, 2000; West, 1996). L'hypothèse suivante peut alors être formulée pour expliquer nos résultats. Si le traitement de la FP+ entraîne potentiellement un coût additionnel lié à l'inhibition de l'activation des modalités concurrentes, les personnes âgées seraient désavantagées dans ce traitement, en raison de la diminution de leur capacité de contrôle inhibiteur (e.g., résistance à l'interférence). Concernant les propositions théoriques sur la résistance à l'interférence discutées ci-avant, celle-ci se produirait spécifiquement au niveau du système de représentations perceptuelles. Le désavantage des personnes âgées se traduirait par un ralentissement des items FP+ ainsi que par une facilitation des FP-, contrairement aux jeunes adultes. Les jeunes adultes ayant, quant à eux, un contrôle inhibiteur efficient, présenteraient un traitement facilité en faveur de la richesse sémantique des FP+ (comme discuté à la section 1.2 de ce chapitre).

Cette hypothèse de l'intervention de mécanismes de contrôle exécutif dans le traitement de la FP semble être soutenue par les analyses réalisées dans l'étude 4. Bien qu'il s'agisse d'une tâche de décision lexicale et non de décision sémantique (et que les résultats ne soient pas explicitement comparables), cette étude a également mis en évidence que les processus exécutifs non sémantiques (évalués par le questionnaire BREF) influençaient le traitement de la FP.

La littérature scientifique investiguant la cognition sémantique dans le vieillissement permet de nous éclairer et d'apporter des éléments de réflexion plus larges quant aux modifications du traitement sémantique dans le vieillissement.

2.2.2.1 Eclairage sur la cognition sémantique dans le vieillissement et les processus de contrôle exécutif

La cognition sémantique est décrite comme l'habilité à utiliser les connaissances sémantiques pour réaliser des tâches cognitives. Elle requiert à la fois de se **représenter** l'information dans un format accessible et de **contrôler** la manière dont nous y accédons et dont nous la

manipulons dans des situations spécifiques (Badre & Wagner, 2002; Hoffman, 2018; Jefferies, 2013; Lambon Ralph et al., 2016; Yee & Thompson-Schill, 2016). Ces capacités de *représentations* sémantiques et de *contrôle* sémantique sont soutenues par deux réseaux neuronaux distincts. Les cortex antérieurs temporaux sont classiquement vus comme soutenant les représentations sémantiques, à travers les interactions avec les régions spécifiques aux modalités (Hoffman et al., 2017; Humphreys et al., 2015; Patterson et al., 2007; Pobric et al., 2007). Le contrôle des connaissances sémantiques est, quant à lui, lié à l'activation d'un réseau incluant le cortex préfrontal inférieur, le gyrus temporal médian postérieur et le sulcus intra-pariétal (Noonan et al., 2013; Rodd et al., 2005; Thompson-Schill et al., 1997). Suite à un dommage cérébral, ces deux réseaux peuvent être indépendamment affectés (e.g., Jefferies & Lambon Ralph, 2006; Warrington & Cipolotti, 1996). Il a également été mis en évidence que certains processus impliqués dans le contrôle des connaissances sémantiques peuvent se confondre avec ceux intervenants dans le domaine du contrôle exécutif (Duncan, 2010; Fedorenko et al., 2013).

Au sein du contrôle sémantique, l'existence de **deux formes distinctes de contrôle exécutif** est en fait supposée : la récupération contrôlée et la sélection sémantique (Badre et al., 2005; Nagel et al., 2008). Les mécanismes de **récupération contrôlée** sont soutenus par les composants « spécifiques à la sémantique » et sont engagés dans une recherche contrôlée et dirigée vers un but afin de récupérer l'information sémantique pertinente (Badre & Wagner, 2007). La **sélection sémantique** est, quant à elle, soutenue par les composants du système exécutif « domaine général » (i.e., pouvant être impliqués dans d'autres tâches que celles sémantiques). Le mécanisme de sélection se produit lorsque l'activation automatique des connaissances met en jeu plusieurs représentations concurrentes. Selon la demande de la tâche, des mécanismes de sélection *top-down* interviendraient pour résoudre la compétition entre ces représentations (Badre & Wagner, 2007). Par exemple, une tâche d'association lexico-sémantique impliquera la *récupération contrôlée* : pour répondre que *pomme* est associée à *poire* ou à *panier*, le traitement automatique de la cible (pomme) peut entraîner une activation des associés les plus forts (poire, fruit,...) mais ne pas activer l'une ou l'autre des options de réponses présentées. En revanche, demander si *poire* ou *panier* est de même taille que *pomme* implique la *sélection sémantique* car les deux options sont sémantiquement associées à la cible et sont donc en concurrence pour la sélection (voir Hoffman, 2018).

Bien qu'il existe des preuves neuropsychologiques et de neuroimagerie en faveur de ces doubles dissociations neurales (i.e., représentations sémantiques vs contrôle sémantique et récupération

sémantique vs sélection sémantique), les interactions possibles entre ces systèmes sont en fait peu connues chez les individus sains. Hoffman (2018) propose d'examiner, pour la première fois, les relations entre connaissances sémantiques, contrôle sémantique et contrôle exécutif chez des adultes sains (jeunes et âgés). Les résultats de cette étude sont particulièrement intéressants au regard de nos propositions d'intervention des mécanismes inhibiteurs dans notre TDS. Alors que la récupération contrôlée (tâche d'association lexicale) est préservée chez les adultes âgés, une distinction claire entre les performances des sujets âgés et jeunes s'observent pour la sélection sémantique (tâche d'association selon les caractéristiques partagées) ; les adultes âgés parviennent plus difficilement à inhiber les associations sémantiques non pertinentes pour la tâche (Hoffman, 2018). De manière intéressante, les performances en sélection sémantique étaient corrélées, dans les deux groupes, aux scores obtenus dans la tâche exécutive non sémantique (le Wisconsin Card and Sorting Test, WCST). Ces données suggèrent donc une implication de l'inhibition : les individus âgés ont des difficultés à supprimer les associations sémantiques pré-existantes dans la tâche de sélection sémantique, tout comme ils présentent des difficultés à inhiber les aspects non pertinents des stimuli impliqués dans le WCST. De manière générale, ces résultats indiquent que les mécanismes exécutifs du « domaine général » peuvent être induits dans certains aspects du traitement sémantique (Hoffman, 2018). Ces éléments font donc écho avec nos hypothèses d'une implication du contrôle inhibiteur dans la tâche d'imageabilité. Il est donc possible que des mécanismes de sélection sémantique soient intervenus lors du traitement des items FP+ et que les résultats observés dans notre étude 3 soient le reflet de perturbations exécutives (du domaine général) chez les personnes âgées.

Une récente méta-analyse investiguant, pour la première fois, les changements cérébraux fonctionnels liés à l'âge dans la cognition sémantique amènent des éclairages particulièrement intéressants au regard de ces résultats. Elle montre que le vieillissement entraîne une moindre activation des régions hémisphériques gauches associées au contrôle et à la régulation sémantique (cortex préfrontal inférieur, temporal postérieur et pariétal inférieur) ainsi qu'une augmentation des régions frontales et pariétales droites impliquées dans le traitement contrôlé du domaine général (*domain-general controlled processing*) (Hoffman & Morcom, 2018). De plus, ce phénomène est spécifiquement observé lorsque les adultes âgés performant moins bien que les jeunes adultes. En accord avec les théories des changements cérébraux fonctionnels liés à l'âge, les auteurs suggèrent, qu'un *shift* des ressources sémantiques spécifiques vers les ressources du domaine général se produit dans le vieillissement.

Hoffman (2018) propose alors que la cognition sémantique dépende de trois choses distinctes : 1) les représentations qui s'accumulent au cours du *lifespan*, 2) les processus de récupération contrôlée qui sont invariants avec l'âge et 3) la sélection sémantique qui décline avec l'âge et qui serait associée au domaine du contrôle exécutif général. De manière intéressante, l'auteur discute également la possibilité que les connaissances sémantiques accumulées au cours de la vie puissent exacerber les difficultés de sélection sémantique car un réseau plus riche pourrait causer davantage d'interférence. Ce point de vue est en accord avec des modèles computationnels montrant que la performance des adultes âgés aux tests cognitifs sont, en fait, le reflet des conséquences d'un apprentissage plutôt qu'un déclin (Ramscar et al., 2014; Ramscar et al., 2017).

Ces derniers éléments amènent des réflexions et des questionnements importants concernant **l'origine de l'intervention des mécanismes inhibiteurs** supposée dans notre étude. En effet, deux possibilités sont à envisager : soit 1) les différences de performances entre jeunes et âgés sont interprétées dans le cadre d'un déclin : les personnes âgées présentent de plus faibles habilités du contrôle inhibiteur et ces perturbations entraînent un traitement différencié de la FP par rapport aux jeunes adultes, soit 2) le sur-recrutement de mécanismes inhibiteurs supposé dans la tâche par les personnes âgées est en fait, le reflet de plus importantes représentations sémantiques avec l'avancée en âge et non d'un déclin.

Cette question de l'augmentation des connaissances sémantiques interagissant avec la diminution des processus de contrôle cognitif dans le vieillissement a été parcimonieusement analysée par Spreng et Turner (2019) dans une récente revue de la littérature. Nous proposons d'étudier leur proposition dans le point suivant.

2.2.2.2 La proposition théorique de la sémantisation de la cognition

Spreng et Turner (2019) utilisent le terme « sémantisation de la cognition » pour référer à la grande dépendance dans le vieillissement à l'égard des connaissances sémantiques. Ils suggèrent que la diminution des processus contrôlés et l'augmentation des connaissances sémantiques (« sémantisation ») interagissent ensemble et ont de profondes implications pour le fonctionnement cognitif dans le vieillissement. En effet, ces interactions ont été observées dans divers domaines cognitifs tels que la mémoire (e.g., Umanath & Marsh, 2014), le fonctionnement socio-émotionnel (e.g., Carstensen et al., 2003), ainsi que dans des tâches impliquant la prise de décision et la résolution de problème (e.g., Agarwal et al., 2009; Li et al.,

2013). Les auteurs suggèrent que ces interactions sont cohérentes avec les changements cérébraux fonctionnels liés à l'âge.

De manière générale, deux grands patterns de changements cérébraux fonctionnels sont observés dans le vieillissement. Ceux-ci impliquent une hyperactivation des régions du cortex préfrontal impliquées dans le contrôle cognitif ainsi qu'une hypoactivation des régions occipitales (e.g., Cabeza et al., 2004; Levine et al., 2000; Madden et al., 2002, voir Li et al., 2015 pour une revue de littérature). Ces changements indiquent une dédifférenciation neurale ou une incapacité à recruter des circuits neuronaux spécialisés (Park et al., 2001, 2004). Plusieurs modèles ont été décrits pour expliquer ces changements. Par exemple, le modèle du shift antéro-postérieur dans le vieillissement (*Posterior-Anterior Shift in Aging*, PASA) suggère que les adultes âgés activent davantage les régions préfrontales antérieures pour compenser les déficits du traitement sensoriel dans les régions occipitales (Davis et al., 2008; Grady et al., 1994, voir également Cabeza, 2002 pour une proposition similaire). De ce point de vue, les adultes âgés recrutent des aires cérébrales additionnelles afin de mieux performer. D'autres modèles suggèrent que ce recrutement frontal intervient car de nouvelles connexions neurales sont nécessaires afin de soutenir le fonctionnement cognitif dans le contexte de changements structuraux et fonctionnels liés à l'âge (e.g., *Compensation-Related Utilization of Neural Circuit Hypothesis*, CRUNCH, Reuter-Lorenz & Cappell, 2008; *Scaffolding Theory of Aging Cognition*, STAC, Park & Reuter-Lorenz, 2009).

Outre le pattern de sur-recrutement préfrontal dans le vieillissement (également mis en évidence dans la cognition sémantique par Hoffman et Morcom, 2008), un intérêt a spécifiquement été porté au *default mode network* (DMN). Le DMN est un ensemble de régions cérébrales (incluant le cortex pariétal ventral inférieur, le cortex préfrontal ventro-médian et le cortex cingulaire postérieur) qui sont typiquement impliquées dans le traitement sémantique et l'accès aux représentations (Andrews-Hanna et al., 2014; Buckner et al., 2008; Hoffman & Morcom, 2018; Humphreys et al., 2015). Alors que ce réseau est systématiquement inactivé lors de l'exécution de tâches chez les individus jeunes (Raichle et al., 2001), une diminution de la suppression du DMN ainsi que des modifications de connectivité fonctionnelle au sein du réseau ont été mises en évidence chez les adultes âgés, en comparaison à des sujets jeunes et ce dans diverses tâches cognitives (Chan et al., 2014; Damoiseaux, 2017; Grady et al., 2016; Li et al., 2015; Turner & Spreng, 2015). Dans leur modèle *Default Executive Coupling Hypothesis of Aging* (DECHA), Turner et Spreng (2015) démontrent que l'engagement latéral préfrontal et la réduction de la suppression du DMN observés dans le vieillissement dans des tâches de

contrôle cognitif sont, en fait, fonctionnellement couplés. Ces modifications cérébrales suggèrent que les adultes âgés se reposeraient sur un « stock » préservé de connaissances sémantiques (associé à la fonction du DMN) pour soutenir la performance dans le contexte d'un déclin des ressources de contrôles (associé au recrutement pré-frontal). Les auteurs proposent que ce mécanisme neuronal reflète le déclin du contrôle cognitif et l'augmentation des connaissances sémantiques (i.e., la sémantisation de la cognition). L'originalité de ce modèle est qu'il ne suggère pas l'implication de mécanismes compensatoires comme d'autres modèles préexistants (e.g., CRUNCH, Reuter-Lorenz & Cappell, 2008). Il propose plutôt que ce soit le contexte cognitif qui détermine si ces changements sont fonctionnellement adaptés ou inadaptés. En effet, les chercheurs suggèrent que, lorsque l'accès aux connaissances antérieures est pertinent pour la tâche en cours, un plus grand couplage *default-exécutif* serait adapté. Toutefois, lorsque la connaissance antérieure n'est pas pertinente pour la tâche, ce pattern devrait mener à de pauvres performances. Ce modèle permet, dès lors, de caractériser un large spectre de la cognition du vieillissement expliquant à la fois les gains et les pertes (Spreng & Turner, 2019).

2.2.2.3 Conclusion sur l'hypothèse d'une implication exécutive dans la tâche de décision sémantique

Ces différentes considérations théoriques corroborent nos hypothèses d'intervention de mécanismes inhibiteurs expliquant les différences entre jeunes et âgés dans la TDS. En effet, les changements cérébraux fonctionnels impliquant un sur-recrutement frontal mis en évidence dans la littérature témoigneraient de la diminution du contrôle cognitif dans le vieillissement (Turner & Spreng, 2015). Cette dédifférenciation neurale, observée également dans la cognition sémantique, est d'ailleurs particulièrement observée lorsque la demande de la tâche est élevée (Hoffman & Morcom, 2018). Ces éléments suggèrent donc que l'intervention de mécanismes de contrôle cognitif puisse intervenir dans le cadre du vieillissement et puisse impacter la performance dans la TDS.

De surcroît, il existe un débat ouvert quant à savoir si cette dédifférenciation est liée à des **processus inadaptés** ou si elle peut être considérée comme une forme de **compensation** (Grady, 2012; Spreng & Turner, 2019; Turner & D'Esposito, 2011). Spreng et Turner (2015, 2019) amènent néanmoins une proposition alternative. Celle-ci nous amène à envisager que les différences de performances entre jeunes et âgés dans la TDS pourraient être le résultat d'une **sémantisation de la cognition** chez les adultes âgés (Spreng & Turner, 2019) et non le résultat

d'un déclin lié au processus de vieillissement. Leur bagage de connaissances sémantiques étant plus important que celui des jeunes, les personnes âgées auraient besoin de recruter davantage de processus de contrôle exécutif afin de réaliser la TDS. Ce sur-recrutement serait spécifiquement induit par des processus d'activation et d'inhibition des propriétés perceptuelles impliquées dans les stimuli de notre tâche. Il impliquerait notamment des processus similaires à ceux impliqués dans la sélection sémantique (e.g., Hoffman, 2018) et la résistance à l'interférence perceptuelle (e.g., Oberauer et al., 2012). De futures investigations seront toutefois nécessaires afin de vérifier ces hypothèses.

Le modèle DECHA (Turner & Spreng, 2015) suggère en outre que, selon le traitement requis dans la tâche, le couplage *default-exécutif* aboutira à une performance similaire ou appauvrie (en comparaison à la performance des jeunes) selon la pertinence de la dépendance aux connaissances antérieures sollicitées par la tâche. Il soulève donc la question de l'interprétation des résultats de notre étude en termes de **gains ou de pertes** chez la personne âgée. Nous suggérons néanmoins que pouvoir répondre à cette question requiert de savoir précisément ce qui est attendu et considéré comme performance efficiente dans cette tâche. Etant donné le caractère exploratoire de notre étude, nous pensons qu'il existe encore trop peu d'informations à notre disposition concernant le traitement de la FP pour répondre à cette question. De futures investigations seront nécessaires, notamment afin d'observer si les individus jeunes et âgés montrent des patterns de performance identiques à travers les études impliquant la FP.

2.2.3 Une modification du traitement induite par le système modal lui-même ?

Bien que nous ayons discuté différentes pistes d'interprétations et hypothèses relatives aux mécanismes de contrôle cognitif, nous ne pouvons exclure que les résultats opposés entre jeunes et âgés dans notre TDS soient le reflet d'un déficit ou, à tout le moins, de **modifications liées au processus de vieillissement au sein du système modal et du traitement perceptuel lui-même**. En effet, bien que les cortex primaires sensoriels soient relativement épargnés des altérations structurales liées à l'âge (Raz et al., 1997, 2000; Resnick et al., 2003), des études ont révélé des déclins neurophysiologiques avec l'âge dans l'intégrité fonctionnelle de ces régions (e.g., Li et al., 2001; Li & Rieckmann, 2014; Payer et al., 2006). Par exemple, des différences de connectivité fonctionnelle liées à l'âge ont été observées au sein des réseaux sensorimoteurs

(Allen et al., 2011; Huang et al., 2015; Onoda et al., 2012; Tomasi & Volkow, 2012)¹⁶. Toutefois, la plupart des études ayant investigué les changements cérébraux fonctionnels dans le processus de vieillissement s'accordent sur un pattern de modification impliquant principalement et systématiquement les **régions visuelles** (voir Hoffman & Morcom, 2018 et Li et al., 2015 pour des revues). Celui-ci a notamment été mis en évidence à partir de tâches visuelles verbales et non verbales impliquant des processus de haut niveau tels que la perception ou la mémoire de visages (e.g., Grady et al., 1992, 1994, 1995), l'encodage et la récupération de mots (e.g., Cabeza et al., 1997; Schacter et al., 1996) et d'images (e.g., Iidaka et al., 2001) ou d'autres stimuli visuels (e.g., Huettel et al., 2001; Levine et al., 2000)¹⁷.

Bien que notre étude implique un traitement de concepts contrôlés sur base de leur FP, il est difficile d'établir un lien direct entre les résultats de la TDS et ces modifications du traitement visuel. Les études investiguant les altérations spécifiques du lobe temporal médian, impliquant les circuits du cortex périrhinal et hippocampique sont particulièrement intéressantes et suscitent notre intérêt car elles fournissent des informations sur les modifications impliquées dans la représentation complexe d'objets. En effet, une revue de littérature récente (Burke et al., 2018) a mis en évidence que le réseau para-hippocampique relatif aux détails sensoriels serait vulnérable avec l'avancée en âge ainsi que dans les stades débutants de la MA. A notre connaissance, il n'existe pas d'étude ayant investigué les relations entre le cortex périrhinal et le traitement de la FP. Néanmoins, nos résultats engendrent des questionnements spécifiques concernant l'implication du réseau de détails sensoriels dans nos études et amènent des perspectives de recherches en ce sens.

¹⁶ Notons que ces différences n'ont pas été rapportées de manière aussi convaincante que celles observées dans le DMN, par exemple.

¹⁷ Voir Cliff et al. (2013) pour une étude montrant des altérations fonctionnelles liées à l'âge dans le traitement auditif en employant des stimuli auditifs.

3. Evolution des relations entre système perceptuel et conceptuel dans la maladie d'Alzheimer

Nos recherches, menées dans une approche incarnée et située de la cognition, nous ont également amenés à explorer une dimension pathologique du vieillissement. Nous avons choisi d'étudier spécifiquement le cas de la MA, car elle implique des troubles de la mémoire qui affectent le système conceptuel (bien que de manière moins prononcée que d'autres pathologies telles que l'APP versant sémantique). En outre, la mise en évidence de troubles perceptuels en tant que prédicteurs potentiels de la MA (Albers et al., 2015) confère à cette pathologie un intérêt particulier pour explorer les implications de la relation entre le système sensorimoteur et les connaissances conceptuelles dans la compréhension des troubles de la mémoire associés à la MA.

Nos investigations ont eu pour objectif d'explorer l'effet de la FP auprès de patients présentant la MA dans une TDL (similaire à celle employée dans l'étude 3). Plus spécifiquement, nous souhaitions savoir si les items FP+ seraient plus facilement accessibles (i.e., mieux préservés) en raison de leur richesse sémantique, contrairement aux FP-, et si cet effet serait modulé selon le stade de détérioration de la maladie (MA1 stade débutant ; MA2 stade modéré). Nos résultats nous ont conduit à conclure que les items FP+ seraient effectivement mieux préservés que les FP-, qui seraient quant à eux plus vulnérables dans le contexte de la MA. Toutefois, cet effet n'est observé qu'au stade précoce de la maladie. Nous avons suggéré que l'atteinte lexicosémantique des MA2 était trop sévère que pour accéder à la signification des mots.

Bien que ces éléments aient été discutés dans l'étude 4, nous proposons d'approfondir la discussion dans les sections suivantes.

3.1 La FP+ confèrerait-elle davantage de solidité aux concepts ?

Les résultats de notre étude nous ont conduit à suggérer qu'au plus un concept présente des informations perceptuelles, au plus il serait facilement accessible pour les MA1. Cette facilitation s'expliquerait par des connexions cérébrales renforcées sur le plan perceptuel qui perdureraient (i.e., seraient préservées) malgré l'atteinte cognitive de la MA en stade débutant. Par conséquent, les résultats semblent également pouvoir s'expliquer par le principe de

feedback d'activation des unités sémantiques vers les unités orthographiques (Balota, Paul, et al., 1999; Hino & Lupker, 1996; Pexman, Lupker, & Hino, 2002), en permettant une plus grande activation pour les mots FP+, en comparaison aux FP-. Ces derniers seraient, quant à eux, plus vulnérables car ils sont peu représentés dans le système de représentations modales et induiraient un plus faible feedback d'activation sémantique.

Bien que nos discussions de l'étude 4 se soient focalisées sur ces interprétations, il semble également important d'envisager que les items FP- soient plus vulnérables/moins facilement accessibles en raison de déficits spécifiques relatifs au traitement visuel. En effet, des altérations structurelles et fonctionnelles des régions visuelles ont été mises en évidence de manière significative dans la MA (Kirby, 2010; Kusne et al., 2017). Etant donné que la condition FP- implique majoritairement la modalité visuelle, nous ne pouvons exclure que le traitement des concepts FP- soit plus lent en raison de ces perturbations spécifiques.

3.2 Un effet spécifique au stade débutant

Bien que différentes hypothèses explicatives puissent faire l'objet de débats et nécessitent davantage d'investigations afin de comprendre l'ensemble des mécanismes potentiellement en jeu dans le traitement de la FP, nos résultats ont unanimement révélé un effet spécifique de la FP au stade précoce de la MA et pas au stade modéré. Ce pattern rappelle celui observé dans le cadre des études d'amorçage sémantique montrant une évolution au fil de la maladie. En effet, en début de MA, un effet d'hyper-amorçage (i.e., effet facilitateur entre l'amorce et la cible, supérieur à celui observé chez les sujets sains) est observé dans les conditions de coordination (e.g., tigre-lion) (Giffard, Desgranges, Nore-Mary, et al., 2001; Giffard et al., 2002; Perri et al., 2011). Les chercheurs suggèrent que ce phénomène d'hyper-amorçage témoigne de la détérioration de la mémoire sémantique et des attributs qui permettent de distinguer les concepts entre eux. Cet effet ne s'observe toutefois qu'en stade débutant de la maladie. L'évolution des effets d'amorçage (qui finissent par disparaître) avec l'avancée de la MA s'explique par la dégradation progressive de la mémoire sémantique. Cette atteinte graduelle touche d'abord les attributs distinctifs (e.g., les rayures du tigre et la crinière du lion) qui sont les plus vulnérables, avant d'entraîner la perte des concepts dans leur intégralité (voir Laisney et al., 2004, 2010). Il a ainsi été admis que les caractéristiques partagées par de nombreux concepts (e.g., le lion et le zèbre ont des pattes) sont celles les plus résistantes aux dommages causés par la MA et que les caractéristiques distinctives (qui sont spécifiques pour seulement peu ou très peu de concepts)

représentent les connaissances sémantiques les plus vulnérables (Devlin et al., 1998; Flanagan et al., 2013; Perri et al., 2019).

Au regard de cette littérature, il semble que nous puissions établir un parallèle avec les résultats de notre étude dans la MA. En effet, nous avons suggéré que la disparité de traitement entre les concepts FP+ et FP-, en stade débutant, était probablement liée à leur niveau d'accessibilité/vulnérabilité. Il peut également être admis que les items FP+ seraient plus facilement accessibles et résistants aux dommages causés par la MA car ils partagent de nombreuses caractéristiques communes qui sont, dans notre cas, des caractéristiques relatives à l'expérience sensorielle (FP). A contrario, les concepts FP- sont plus distinctifs car ils présentent des caractéristiques (presque) exclusivement liées au domaine visuel. Celles-ci sont peu partagées avec celles des concepts FP+ en raison de leur faible nombre de traits perceptuels communs (en dehors de la sphère visuelle), ce qui les rendrait plus vulnérables. Nous suggérons également que cette distinction en termes d'accessibilité/vulnérabilité de FP se manifeste spécifiquement aux stades précoces de la maladie (et non chez les sujets âgés sains) car elle reflète la dégradation sémantique. L'absence d'effet observé au stade modéré de la MA suggère alors une atteinte complète des concepts ou, à minima, de leurs propriétés perceptuelles.

Bien que l'évolution de l'atteinte sémantique dans la MA, étudiée dans les effets d'amorçage, soit généralement abordée dans le contexte des théories amodales (e.g., Simoes Loureiro & Lefebvre, 2016), nos résultats montrent que l'accessibilité/vulnérabilité des concepts peut également s'interpréter dans le cadre des théories modales, où les caractéristiques constitutives des concepts (ici perceptuelles) jouent un rôle essentiel dans le construit représentationnel. Le stade débutant de la MA serait un moment charnière où l'ancrage des concepts décline tout en permettant l'accès à certaines connaissances qui possèdent des caractéristiques perceptuelles fortes (i.e., multimodales). Cet accès privilégié via les systèmes de représentations modales disparaîtrait toutefois dès le stade modéré de la MA, en raison de la dégradation sémantique progressive.

Ces éléments de discussion soulèvent un point crucial concernant les perspectives de prise en charge dans la MA. En effet, les méthodes d'intervention qui cibleraient davantage les aspects perceptuels pourraient s'avérer prometteuses. Par ailleurs, il semble que la phase initiale de la MA offre une opportunité propice pour tester l'efficacité des interventions axées sur la dimension perceptuelle des connaissances.

3.3 Un effet modulé par l'atteinte cognitive exécutive et lexicale

De manière particulièrement intéressante, nous avons montré que le traitement différencié de la FP (calculé à partir de l'index) chez les MA1 et les sujets contrôles était significativement corrélé avec les évaluations cognitives, indiquant que le niveau de détérioration cognitive influence les effets de la FP. En effet, une différence de traitement entre les deux conditions de FP apparaît spécifiquement lorsque les scores aux questionnaires cognitifs chutent. Nos analyses ont permis de montrer que, parmi l'ensemble des évaluations cognitives, ce sont les aspects exécutifs (évalués via la BREF) et lexicaux (évalués via le TCD-MA) qui déterminent plus précisément cet effet¹⁸. Notamment, le traitement différencié en faveur d'une facilitation pour les FP+ était significativement plus important lorsque les participants présentaient des scores inférieurs aux seuils pathologiques de ces questionnaires. Ces résultats suggèrent donc que l'effet de la FP résulte d'une altération exécutive et lexicale.

Alors que nous avons discuté de considérations méthodologiques relatives à notre tâche et/ou de l'existence d'un effet plafond dans le traitement de la FP chez les adultes âgés sains dans la TDL (cf. étude 3), nous observons qu'un effet apparaît précisément lorsque les performances cognitives chutent en stade débutant de la MA. Nous proposons que ces résultats puissent s'expliquer selon l'accès aux différentes représentations dans la maladie et selon les exigences de la tâche, mettant l'accent sur les représentations linguistiques. En effet, la TDL propose un traitement linguistique en activant prioritairement les unités orthographiques (e.g., Harm & Seidenberg, 2004). Alors que nous avons suggéré qu'un traitement superficiel était probablement suffisant pour prendre la décision mot/non-mot chez les sujets âgés sains (cf. section 2.2.1), nous supposons que ce ne serait pas le cas chez les MA au stade débutant. Nous postulons que la présence de perturbations au niveau des représentations linguistiques chez les MA (e.g., De Lira et al., 2011; Forbes-McKay & Venneri, 2005; Garrard, Maloney, et al., 2005) entraverait ce traitement superficiel, rendant ainsi impératif l'accès à la signification. Par conséquent, les sujets MA1 nécessiteraient un traitement plus approfondi afin de répondre aux exigences de cette tâche. Celui-ci impliquerait l'utilisation du système de représentations modales et expliquerait les effets observés pour la FP.

¹⁸ Les aspects sémantiques (évalués via le Mini-QCS) se sont également montrés déterminants, lorsque les analyses prenaient uniquement en compte les évaluations lexico-sémantiques.

Cette hypothèse d'une perturbation des représentations du système linguistique semble notamment pouvoir être corroborée par l'importance de troubles lexicaux (évalués par le TCD-MA) dans la modulation des effets de la FP. L'implication du fonctionnement exécutif dans les effets de FP reste, quant à elle, plus opaque et nécessite davantage d'investigations. Ce constat renforce d'ailleurs nos questionnements concernant l'implication du contrôle cognitif dans l'ancrage des connaissances conceptuelles.

3.4 Quid de l'hypothèse de déconnexion cérébrale dans la MA ?

Comme nous l'avons démontré dans le quatrième chapitre théorique, des modifications du traitement sensoriel sont observées dans la MA (e.g., Albers et al., 2015; Kirby, 2010; Swords et al., 2018). Des déficits d'intégration multisensorielle (IMS) ont notamment été démontrés (e.g., Delbeuck et al., 2007; Festa et al., 2005, 2017; Lakmache et al., 1998) et ont été attribués à une réduction de la connectivité fonctionnelle entre les différentes aires corticales (Delbeuck et al., 2003). Bien que nous n'ayons pas conçu spécifiquement une tâche d'IMS, il semble pertinent de se demander si les résultats de notre étude pourraient être expliqués par cette hypothèse de déconnexion cérébrale.

A partir du moment où nous supposons que les items FP+ impliquent une co-activation des systèmes de représentations multimodaux perceptuels (i.e., visuel, auditif, olfactif,...), il serait logique de penser que leur traitement, dans le cadre de la MA, puisse être ralenti en raison des défauts de connectivité entre les aires corticales sensorielles. Au contraire, les items FP- seraient facilités car ils n'impliqueraient l'activation que d'une seule aire cérébrale en particulier (i.e., visuelle ; concepts unimodaux visuels) et ne requerraient donc pas (ou peu) d'activations inter-modales. Toutefois, nous avons mis en évidence l'effet inverse.

Loin de l'idée de remettre en question l'hypothèse de déconnexion cérébrale, nous constatons simplement que le type de traitement sensoriel présumé dans notre étude peut impliquer des activations distinctes de celles des études ayant mis en évidence une déconnexion cérébrale dans la MA. En effet, un traitement à partir d'une stimulation « sensorielle directe » vs « linguistique » implique potentiellement des activations distinctes du système modal. Dans une tâche d'IMS, un stimulus sensoriel est présenté. Celui-ci est, par exemple, visuel (e.g., images, flashes lumineux), auditif (e.g., divers sons) ou bimodal. Il s'agit d'une stimulation sensorielle « externe » qui active directement les systèmes de traitement sensoriels spécifiques

(Stein & Stanford, 2008). Par contre, dans notre TDL, nos résultats sont interprétés, non pas en fonction d'un traitement qui serait visuel vs auditif ou bimodal, mais en fonction d'un concept dont la force du traitement serait modulée par ses propriétés constitutives (i.e., FP+ ou FP-). C'est cette différence qui laisse supposer que notre tâche ait impliqué des mécanismes d'activation bien distincts. Ceux-ci seraient notamment liés à l'emphase portée sur la représentation linguistique qui active le système modal indirectement, à partir d'une activation orthographique initiale (voir Barsalou et al., 2008; Hino & Lupker, 1996), plutôt qu'une stimulation sensorielle qui active directement le système de traitement perceptuel. En d'autres termes, la TDL impliquerait les systèmes de représentations linguistiques et modaux tels que définis par Paivio ou Barsalou alors que les tâches d'IMS impliqueraient directement les systèmes perceptuels adjacents. Cette constatation semble alors être en accord avec les suggestions selon lesquelles le système perceptuel et la mémoire partagent des ressources communes, mais ne sont pas analogues (e.g., Damasio, 1989; Damasio & Damasio, 1994; Vigliocco et al., 2004; Simmons & Barsalou, 2003). Nous suggérons donc que le système conceptuel partagerait des ressources (i.e., les mêmes substrats neuronaux) avec le système perceptuel, ils seraient réciproquement liés tout en étant distincts.

4. Limites et perspectives

4.1 Aspects méthodologiques

Une des premières limites qui peut être mise en évidence dans nos expérimentations est que les tâches de décision lexicale et sémantique ont uniquement ciblé cinq dimensions perceptuelles, les autres dimensions représentationnelles n'ayant été prises en compte que de manière contrôlée (i.e., appariement entre les deux groupes de mots d'intérêt) à partir de quelques variables à notre disposition. Les dimensions motrices (via l'ICO) et émotionnelles (via la FP intéroceptive) auraient également pu être incluses dans les scores totaux utilisés pour créer nos deux catégories de stimuli d'intérêt. En effet, l'importance de ces dimensions dans le traitement lexical a été récemment démontrée (Lynott et al., 2019). La mise en évidence de cette limite méthodologique ouvre toutefois de vastes horizons de recherches à partir de l'utilisation de protocoles ciblant diverses dimensions. En effet, un protocole similaire pourrait être créé en ciblant l'ensemble des dimensions perceptuelles et motrices. A contrario, des protocoles

expérimentaux pourraient être créés afin de cibler uniquement les aspects moteurs ou émotionnels en reproduisant un design expérimental contrastant des items présentant des propriétés fortes vs faibles. Par exemple, la conception d'un protocole contrastant des concepts ICO élevée vs ICO faible pourrait permettre de questionner plus finement l'impact des représentations motrices dans le traitement conceptuel dans le processus de vieillissement. En outre, la mise à disposition auprès de la communauté scientifique des normes recueillies (étude 1 et 2) offre aux chercheurs la possibilité de concevoir des expérimentations diverses ciblant spécifiquement les dimensions perceptuelles d'intérêt. Néanmoins, étant donné que ces normes ne sont disponibles que pour un nombre restreint d'items, des perspectives de recherche s'étendent également à la récolte de données pour un plus grand nombre de concepts, permettant notamment de cibler différentes catégories de mots. Bien que nos études aient principalement ciblé des concepts concrets, il est également pertinent d'investiguer les concepts abstraits ainsi que les dimensions représentationnelles importantes à leur constitution (e.g., la FP intéroceptive).

Par ailleurs, le protocole de décision lexicale et sémantique utilisé dans nos études devrait être reproduit en utilisant d'autres concepts que ceux employés afin de tester la réplicabilité des résultats et s'assurer que ceux-ci soient généralisables en utilisant d'autres mots. Bien que nous ayons pris en considération un grand nombre de variables pour contrôler l'appariement des deux catégories d'intérêt, un contrôle plus rigoureux de la dimension linguistique semblerait pertinent en incluant, par exemple, des variables telles que le nombre d'associés¹⁹ (Nelson et al., 2004) ou la co-occurrence des mots dans les phrases (Recchia & Louwerse, 2015). La réplicabilité des résultats devrait également impliquer la prise en compte de l'appartenance des mots à la catégorie des objets naturels et fabriqués, en raison des études montrant un certain degré de spécialisation cérébrale pour le traitement de ces deux catégories qui impliqueraient différentes formes de connaissances (e.g., Gerlach et al., 2000, 2009; Moore & Price, 1999).

Dans la discussion, nous avons suggéré que la TDL et la TDS mettaient l'emphasis sur des représentations distinctes (linguistiques vs. modales) et que les différences entre sujets jeunes et âgés pouvaient s'expliquer par des modulations du traitement représentationnel dans le cadre

¹⁹ Le nombre d'associé peut être recueilli en utilisant des normes d'association libre qui investiguent la probabilité qu'un mot indice un autre mot qui viendrait à l'esprit du sujet, avec un minimum de contrainte contextuelle (Nelson et al., 2004).

du vieillissement. Des investigations complémentaires pourraient être réalisées afin d'investiguer plus en profondeur cette proposition. Par exemple, il serait possible de développer de nouveaux protocoles de reconnaissance visuelle de mots intégrant un plus grand nombre de concepts (sans distinction particulière de catégorie dans la conception du design expérimental). Ensuite, des analyses de régression pourraient être utilisées sur les temps de réponses afin d'identifier quelles sont les variables explicatives des résultats. Ainsi, nous pourrions observer quelles sont les variables explicatives les plus pertinentes selon le groupe étudié et selon la tâche afin de corroborer nos propositions.

Enfin, nos recherches se sont centrées sur la question des connaissances sémantiques, ce qui a orienté la conception de nos protocoles. Une perspective complémentaire à notre étude émerge : il serait possible d'établir un lien avec le domaine de la mémoire épisodique en adaptant notre protocole. Par exemple, l'intégration d'un rappel épisodique pourrait enrichir nos investigations et nous permettre d'explorer de manière plus approfondie les mécanismes cognitifs associés à l'émergence des souvenirs. De même, à partir des données de FP (récoltées dans nos études 1 et 2) des paradigmes épisodiques spécifiques pourraient être créés en ciblant des conditions d'intérêts particulières.

4.2 Processus de simulation et activations neuronales

Bien que nous ayons supposé l'implication de patterns d'activation neuronaux distincts entre les concepts FP+ et FP-, une grande limite de nos études réside dans notre incapacité à établir la nature neurophysiologique de ces activations. En réponse à cette limite, des études de neuroimageries telles que l'IRMf permettraient d'identifier et localiser les changements d'activités cérébrales lors du traitement des concepts. De même, l'EEG et la MEG permettraient, quant à elles, de renseigner la dynamique temporelle des processus impliqués dans le traitement des mots. Des comparaisons permettraient également de confronter nos hypothèses d'un accès aux représentations distinct selon le type de tâche. Par exemple, un plus grand effet de la N400 serait attendu dans la TDS, en comparaison à la TDL étant donné que nous supposons que la TDS active plus directement la signification des mots.

Ces investigations nous permettraient également d'examiner si les différences observées entre participants jeunes et âgés dans la TDS sont dues à des modifications du contrôle sémantique et/ou des changements fonctionnels liés à l'âge. Elles pourraient notamment observer si les

résultats peuvent être mis en lien avec des déclin neurophysiologiques dans l'intégrité fonctionnelle des régions sensorielles. De plus, elles offriraient une occasion d'explorer si les résultats peuvent être mis en relation avec la vulnérabilité du cortex périrhinal, que ce soit dans le groupe sain ou chez les individus atteints de MA.

De manière plus générale, l'une des limites de notre étude concerne l'implication des processus de simulation perceptuelle dans le vieillissement. La proposition selon laquelle ces processus sont impliqués dans l'émergence des connaissances a été soutenue par de nombreuses études menées auprès de la population adulte jeune (e.g., Pecher et al., 2003; Solomon & Barsalou, 2004; Van Danzig et al., 2008). Cependant, il est important de rappeler que l'intérêt pour l'étude du vieillissement dans une perspective incarnée de la cognition est relativement récent et que peu de données existent encore concernant le vieillissement sain et pathologique (Vallet, 2015). Une des limites principales de notre étude réside dans son caractère exploratoire, car nous disposons encore de peu d'informations sur l'impact du vieillissement sur les mécanismes de simulation perceptuelle. Il sera donc nécessaire de mener d'autres études afin d'investiguer cette question dans le contexte du vieillissement (normal et pathologique). À cet égard, l'utilisation de tâches permettant d'inférer les processus de simulation perceptuelle, telles que la vérification de propriétés, semble particulièrement pertinente et intéressante pour initier de nouvelles expérimentations.

4.3 Impact du déclin sensorimoteur dans le vieillissement normal et dans la maladie d'Alzheimer

Nos investigations menées dans une perspective incarnée et située de la cognition ont reposé sur la conviction fondamentale que les déficits sensorimoteurs liés à l'âge auraient des répercussions sur l'ancrage des concepts (cf. revue de littérature du chapitre 3). Ainsi, la littérature mettant en évidence les relations entre la cognition et la perception dans le vieillissement souligne l'importance de prendre en compte les déficits perceptuels dans les études sur le vieillissement cognitif (Roberts & Allen, 2016; Scialfa, 2002). Cependant, une limite qui peut être soulignée dans nos études est que nous n'avons pas de mesures réellement objectives du déclin sensorimoteur des participants. En effet, seul un auto-questionnaire a permis de recueillir des informations subjectives sur les capacités sensorimotrices des sujets âgés. Par conséquent, les futures investigations devraient s'efforcer d'obtenir des mesures

objectives, à minima pour évaluer le traitement sensoriel de bas niveaux des participants. Cette approche permettrait d'apprécier l'impact potentiel des altérations sensorimotrices (de bas niveau) survenant dans le processus de vieillissement sur les résultats.

Cette limite relative à l'absence de mesures objectives permettant de considérer les déficits perceptuels dans l'interprétation des résultats s'étend évidemment à nos investigations dans la MA. En effet, bien que nous ayons suggéré que l'absence d'effet de FP chez les MA au stade modéré pouvait être due à une dégradation lexico-sémantique, nous n'avons pas contrôlé les capacités sensorielles de bas niveau pouvant influencer les résultats. Des difficultés de lecture sont, en fait, mises en évidence dès le stade modéré de la MA (e.g., Lueck et al., 2000; Patterson et al., 1994) et pourraient être attribuées à des perturbations visuelles de bas niveau (voir également Glosser et al., 2002). Bien que certaines données montrent que les perturbations de lecture dans la MA résultent d'un déficit linguistique plutôt que d'altérations visuo-perceptives (Cummings et al., 1986), la littérature dans ce domaine reste relativement pauvre. Pour combler cette limite, nous suggérons de contrôler, a minima, les capacités visuelles des participants.

4.4 Implication de mécanismes exécutifs

Dans la TDS (étude 3), nous avons supposé l'intervention de mécanismes inhibiteurs pouvant expliquer la modulation du traitement de la FP dans le cadre du vieillissement. Néanmoins, une limite majeure réside en l'absence d'évaluations fines du fonctionnement exécutif permettant de soutenir nos hypothèses. En effet, seule l'utilisation de la BREF nous a permis d'obtenir une mesure du fonctionnement exécutif, celle-ci étant peu détaillée. Cette limite conduit naturellement à la proposition d'enrichir l'évaluation cognitive préliminaire par des évaluations du contrôle exécutif. Celles-ci pourraient cibler plus précisément les mécanismes exécutifs du « domaine général », étant donné leur importance démontrée dans le traitement sémantique (Hoffman, 2018; Hoffman & Morcom, 2018). Des analyses spécifiques permettraient, dès alors, d'observer si les résultats sont associés à une implication (ou à un déclin) du contrôle exécutif dans le processus de vieillissement. Concernant l'implication potentielle de l'inhibition dans la sélection des représentations perceptuelles concurrentes, des investigations plus fines permettraient notamment d'identifier quels processus d'inhibition spécifiques seraient impliqués (e.g., inhibition de la réponse dominante vs contrôle de l'interférence, voir par exemple Friedman & Miyake, 2004 et Nigg, 2000).

Ces analyses complémentaires seraient également judicieuses dans les expérimentations ciblant la MA, permettant d'élargir le panel des mesures cognitives et de tester lesquelles sont les plus pertinentes pour expliquer l'effet de la FP.

D'un point de vue plus global, nous avons soulevé la question de l'implication potentielle de processus exécutifs comme étant soit le résultat de gains (i.e., d'une sémantisation de la cognition) ou de pertes (i.e., un déclin des processus cognitifs) dans le vieillissement. D'autres investigations seront nécessaires afin de répondre à cette question. Par exemple, il serait important de déterminer si le traitement de la multimodalité impliquerait également des mécanismes exécutifs (e.g., inhibiteurs) chez les individus jeunes et, si oui, dans quelle mesure. Cette proposition nous amène à des perspectives de réflexion plus larges. En effet, alors que les différences entre jeunes et âgés sont souvent interprétées dans le contexte d'un déclin, des données de la littérature démontrent que les différences de performances entre ces deux groupes reflètent également des avantages en faveur des personnes âgées (voir Spreng & Turner, 2019). Par conséquent, affirmer que le vieillissement entraîne un déficit dans le traitement des représentations modales ou qu'il engendre des modifications qui résultent d'une compensation ou d'une « sémantisation » pourrait, en réalité, être une question de point de vue. Les nombreuses preuves en faveur de changements cérébraux compensatoires dans le vieillissement nous invitent à réfléchir à la manière dont le vieillissement module le traitement cognitif plutôt qu'à la façon dont il décline. Ce regard pourrait, par ailleurs, orienter des perspectives d'approches davantage positives dans la compréhension des changements cognitifs dans le vieillissement.

4.5 Perspectives spécifiques à la MA

Dans notre étude 4, nous avons suggéré qu'au plus un concept présente des informations perceptuelles, au plus il serait préservé et facilement accessible dans les stades précoces de la MA. En revanche, cet accès privilégié se dissipe dès le stade modéré de la maladie. Ces résultats ouvrent, dès lors, la voie à des perspectives de prise en charge intéressantes. En effet, les méthodes de prise en charge visant un maintien des connaissances sémantiques dans la MA pourraient cibler la dimension perceptuelle des concepts. Des investigations récentes proche de cette proposition existent dans la littérature. Elles ont pour objectif d'améliorer les capacités d'évocation lexicales de personnes atteintes de la MA en utilisant la *Semantic Features Analysis* (Mo et al., 2015; Sémédard, 2020; Semiz et al., 2023). Il s'agit d'une méthode qui vise

l'entraînement de traits sémantiques, dont certains concernent les aspects perceptuels (i.e., actions et propriétés). Ces études montrent que les performances en dénomination s'améliorent pour les items ciblés, ce qui se révèle particulièrement pertinent dans les stades débutants de la MA. Etant donné la mise en évidence d'un accès privilégié des représentations perceptuelles fortes (i.e., multimodales) dans les phases initiales de la MA, ce type d'approche novatrice pourrait s'élargir en ciblant davantage la dimension perceptuelle (e.g., visuelle, auditive, haptique, olfactive, gustative) des concepts. Des méthodes de prise en charge sollicitant directement les différents sens pourraient également être envisagées. Celles-ci permettraient de renforcer les connexions entre le système perceptuel et conceptuel et favoriseraient un maintien des connaissances en mémoire.

Outre les méthodes d'intervention clinique, l'importance de l'implication perceptuelle dans le système conceptuel souligne la nécessité de prendre en compte la dimension perceptuelle des concepts dans l'évaluation sémantique. Cela encourage le développement et l'utilisation d'outils tels que l'EMCS²⁰ (Evaluation multimodale des connaissances sémantiques, Basaglia-Pappas et al., 2021), permettant de personnaliser davantage les interventions et d'optimiser les résultats chez les personnes présentant la MA.

²⁰ L'EMCS intègre des épreuves visuelles, auditives, tactiles, gustatives et olfactives. L'utilisation de cet outil permettrait, par exemple, de cibler les modalités sensorielles qui nécessitent d'être renforcées dans le cadre d'une prise en charge. De même, cet outil permettrait d'identifier les modalités sensorielles les mieux préservées qui serviraient de voie d'accès privilégiée pour faciliter, par exemple, l'évocation lexicale (Basaglia-Pappas et al., 2021).

Conclusion générale

L'objectif de cette dissertation doctorale était d'étudier les propositions de l'approche incarnée de la cognition au regard du vieillissement en questionnant l'ancrage des connaissances conceptuelles dans le système sensorimoteur. Nos investigations ont porté spécifiquement sur la FP en tant que variable sémantique pertinente pour capturer la dimension perceptuelle essentielle à la représentation conceptuelle. La mise en évidence d'une augmentation des scores de FP avec l'âge, pour certaines modalités perceptuelles, a renforcé l'idée selon laquelle l'expérience façonne nos représentations sensorimotrices (e.g., Connell & Lynott, 2014b; Vigliocco et al., 2009). Nos expérimentations en reconnaissance visuelle de mots ont, par ailleurs, confirmé que la nature des connaissances chez la personne âgée était bien dépendante des modalités sensorielles (Vallet, Simard, & Versace, 2011) en démontrant l'impact de la dimension perceptuelle dans le traitement lexico-sémantique.

Nous avons également suggéré que les tâches de décision lexicale et sémantique employées mettaient l'emphasis sur des représentations distinctes (i.e., linguistiques vs modales) et que le processus de vieillissement modulait le traitement de ces représentations. Plus particulièrement, des différences de performance entre sujets adultes jeunes et âgés ont été mises en évidence lorsque l'attention était dirigée vers le système modal. Pour expliquer ces résultats, nous avons postulé l'implication de processus de contrôle exécutif, qui pourraient résulter soit d'un déclin cognitif avec l'âge, soit d'une « sémantisation » de la cognition. L'hypothèse d'un déficit dans le traitement du système modal a également été envisagée et de futures investigations seront nécessaires afin de comprendre quels sont les processus réellement en jeu dans la modulation du traitement perceptuel dans le vieillissement.

En ce qui concerne la MA, nous avons mis en évidence que les concepts présentant un poids perceptuel fort (i.e., multimodaux) seraient les plus facilement accessibles et donc les mieux préservés. Cet effet est influencé par la dégradation cognitive et, particulièrement, par l'atteinte exécutive et lexico-sémantique. De plus, il disparaît dès le stade modéré de la MA, suggérant une atteinte des représentations perceptuelles avec l'avancée de la maladie. À la lumière de ces résultats, des perspectives spécifiques à la MA ont été proposées, tant concernant les méthodes de prises en charge que les évaluations ciblant l'atteinte sémantique.

En conclusion, nos explorations amènent des éclairages quant à l'évolution des relations existantes entre le système perceptuel et conceptuel dans le cadre du vieillissement sain et pathologique et ouvrent de nombreuses perspectives de recherche dans ce domaine d'étude passionnant.

Bibliographie générale

- Abbruzzese, G., Reni, L., Cocito, L., Ratto, S., Abbruzzese, M., & Favale, E. (1984). Short-latency somatosensory evoked potentials in degenerative and vascular dementia. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 47(9), 1034-1037.
- Adam, S., Joubert, S., & Missotten, P. (2013). L'âgisme et le jeunisme: conséquences trop méconnues par les cliniciens et chercheurs! *Revue de neuropsychologie*, 5(1), 4-8.
- Agarwal, S., Driscoll, J.C., Gabaix, X., & Laibson, D. (2009). What is the age of reason? *Dementia*, 80, 100.
- Aggleton, J.P., Baddeley, A.D., & Conway, M.A. (2001). *Episodic memory: New directions in research*: Oxford University Press.
- Agrawal, Y., Platz, E.A., & Niparko, J.K. (2008). Prevalence of hearing loss and differences by demographic characteristics among US adults: data from the National Health and Nutrition Examination Survey, 1999-2004. *Archives of internal medicine*, 168(14), 1522-1530.
- Aizawa, K. (2015). What is this cognition that is supposed to be embodied? *Philosophical Psychology*, 28(6), 755-775.
- Al-Azary, H., Yu, T., & McRae, K. (2022). Can you touch the N400? The interactive effects of body-object interaction and task demands on N400 amplitudes and decision latencies. *Brain and language*, 231, 105147.
- Albanese, E. (2007). The “hidden” semantic category dissociation in mild-moderate Alzheimer's disease patients. *Neuropsychologia*, 45(4), 639-643.
- Albers, M.W., Gilmore, G.C., Kaye, J., Murphy, C., Wingfield, A., Bennett, D.A., Boxer, A.L., et al. (2015). At the interface of sensory and motor dysfunctions and Alzheimer's disease. *Alzheimer's & dementia*, 11(1), 70-98.
- Allen, E.A., Erhardt, E.B., Damaraju, E., Gruner, W., Segall, J.M., Silva, R.F., Havlicek, M., et al. (2011). A baseline for the multivariate comparison of resting-state networks. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 5, 2.
- Allen, P.A., Madden, D.J., & Crozier, L.C. (1991). Adult age differences in letter-level and word-level processing. *Psychology and aging*, 6(2), 261.
- Allison, T., McCarthy, G., Nobre, A., Puce, A., & Belger, A. (1994). Human extrastriate visual cortex and the perception of faces, words, numbers, and colors. *Cerebral cortex*, 4(5), 544-554.

- Altmann, L.J., & McClung, J.S. (2008). *Effects of semantic impairment on language use in Alzheimer's disease*. Paper presented at the Seminars in speech and language.
- Alzheimer's Association (2010). Alzheimer's disease facts and figures. *Alzheimer's & dementia*, 6(2), 158-194.
- Alzheimer's Association. (2015). Alzheimer's disease facts and figures. *Alzheimer's & dementia*, 11(3), 332-384.
- Alzheimer's Association. (2016). Alzheimer's disease facts and figures. *Alzheimer's & dementia*, 12(4), 459-509.
- Amieva, H., Ouvrard, C., Giulioli, C., Meillon, C., Rullier, L., & Dartigues, J.F. (2015). Self-reported hearing loss, hearing aids, and cognitive decline in elderly adults: A 25-year study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 63(10), 2099-2104.
- Amsel, B.D. (2011). Tracking real-time neural activation of conceptual knowledge using single-trial event-related potentials. *Neuropsychologia*, 49(5), 970-983.
- Amsel, B.D., & Cree, G.S. (2013). Semantic richness, concreteness, and object domain: an electrophysiological study. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 67(2), 117.
- Amsel, B.D., Urbach, T.P., & Kutas, M. (2012). Perceptual and motor attribute ratings for 559 object concepts. *Behavior research methods*, 44(4), 1028-1041.
- Anderson, J.R. (1983). A spreading activation theory of memory. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 22(3), 261-295.
- Anderson, R.C., & Ortony, A. (1975). On putting apples into bottles—A problem of polysemy. *Cognitive psychology*, 7(2), 167-180.
- Andrews-Hanna, J.R., Smallwood, J., & Spreng, R.N. (2014). The default network and self-generated thought: Component processes, dynamic control, and clinical relevance. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1316(1), 29-52.
- Andrews, S. (1982). Phonological recoding: Is the regularity effect consistent? *Memory & Cognition*, 10(6), 565-575.
- Anstey, K.J., Lord, S.R., & Williams, P. (1997). Strength in the lower limbs, visual contrast sensitivity, and simple reaction time predict cognition in older women. *Psychology and aging*, 12(1), 137.
- Anstey, K.J., Luszcz, M.A., & Sanchez, L. (2001a). A reevaluation of the common factor theory of shared variance among age, sensory function, and cognitive function in older adults. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 56(1), P3-P11.

- Anstey, K.J., Luszcz, M.A., & Sanchez, L. (2001b). Two-year decline in vision but not hearing is associated with memory decline in very old adults in a population-based sample. *Gerontology*, 47(5), 289-293.
- Arbuckle, T.Y., Cooney, R., Milne, J., & Melchior, A. (1994). Memory for spatial layouts in relation to age and schema typicality. *Psychology and aging*, 9(3), 467.
- Arnold, S.E., Hyman, B.T., Flory, J., Damasio, A.R., & Van Hoesen, G.W. (1991). The topographical and neuroanatomical distribution of neurofibrillary tangles and neuritic plaques in the cerebral cortex of patients with Alzheimer's disease. *Cerebral cortex*, 1(1), 103-116.
- Arnsten, A.F., Wang, M.J., & Paspalas, C.D. (2012). Neuromodulation of thought: flexibilities and vulnerabilities in prefrontal cortical network synapses. *Neuron*, 76(1), 223-239.
- Assadollahi, R., & Pulvermüller, F. (2003). Early influences of word length and frequency: a group study using MEG. *Neuroreport*, 14(8), 1183-1187.
- Attems, J., Lintner, F., & Jellinger, K. (2005). Olfactory involvement in aging and Alzheimer's disease: an autopsy study. *Journal of Alzheimer's disease*, 7(2), 149-157.
- Aziz-Zadeh, L., & Damasio, A. (2008). Embodied semantics for actions: Findings from functional brain imaging. *Journal of Physiology-Paris*, 102(1-3), 35-39.
- Baayen, R.H., Davidson, D.J., & Bates, D.M. (2008). Mixed-effects modeling with crossed random effects for subjects and items. *Journal of Memory and Language*, 59(4), 390-412.
- Bäckman, L., Lindenberger, U., Li, S.-C., & Nyberg, L. (2010). Linking cognitive aging to alterations in dopamine neurotransmitter functioning: recent data and future avenues. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(5), 670-677.
- Baddeley, A.D. (1993). La mémoire humaine: théorie et pratique/Alan Baddeley; traduit de l'anglais sous la direction de Solange Hollard.
- Badre, D., Poldrack, R.A., Paré-Blagoev, E.J., Insler, R.Z., & Wagner, A.D. (2005). Dissociable controlled retrieval and generalized selection mechanisms in ventrolateral prefrontal cortex. *Neuron*, 47(6), 907-918.
- Badre, D., & Wagner, A.D. (2002). Semantic retrieval, mnemonic control, and prefrontal cortex. *Behavioral and cognitive neuroscience reviews*, 1(3), 206-218.
- Badre, D., & Wagner, A.D. (2007). Left ventrolateral prefrontal cortex and the cognitive control of memory. *Neuropsychologia*, 45(13), 2883-2901.
- Bahrack, H.P. (1984). Semantic memory content in permastore: fifty years of memory for Spanish learned in school. *Journal of experimental psychology: General*, 113(1), 1.

- Ballesteros, S., & Reales, J.M. (2004). Intact haptic priming in normal aging and Alzheimer's disease: evidence for dissociable memory systems. *Neuropsychologia*, 42(8), 1063-1070.
- Ballot, C., Mathey, S., & Robert, C. (2022). Age-related evaluations of imageability and subjective frequency for 1286 neutral and emotional French words: Ratings by young, middle-aged, and older adults. *Behavior research methods*, 1-20.
- Balota, D.A., Cortese, M.J., Sergent-Marshall, S.D., Spieler, D.H., & Yap, M.J. (2004). Visual word recognition of single-syllable words. *Journal of experimental psychology: General*, 133(2), 283.
- Balota, D.A., Dolan, P.O., & Duchek, J.M. (2000). Memory changes in healthy young and older adults. *The Oxford handbook of memory*, 395-410.
- Balota, D.A., & Ferraro, F.R. (1993). A dissociation of frequency and regularity effects in pronunciation performance across young-adults, older adults, and individuals with senile dementia of the Alzheimer-type. *Journal of Memory and Language*, 32(5), 573-592.
- Balota, D.A., & Ferraro, F.R. (1996). Lexical, sublexical, and implicit memory processes in healthy young and healthy older adults and in individuals with dementia of the Alzheimer type. *Neuropsychology*, 10(1), 82.
- Balota, D.A., Ferraro, F.R., & Connor, L.T. (1991). On the early influence of meaning in word recognition: A review of the literature. *The psychology of word meanings*, 187-222.
- Balota, D.A., Paul, S.T., & Spieler, D.H. (1999). Attentional control of lexical processing pathways during word recognition and reading. *Language processing*, 15-57.
- Balota, D.A., Pilotti, M., & Cortese, M.J. (2001). Subjective frequency estimates for 2,938 monosyllabic words. *Memory & Cognition*, 29, 639-647.
- Balota, D.A., Watson, J.M., Duchek, J.M., & Ferraro, F.R. (1999). Cross-modal semantic and homograph priming in healthy young, healthy old, and in Alzheimer's disease individuals. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 5(7), 626-640.
- Balota, D.A., & Yap, M.J. (2006). Attentional control and the flexible lexical processor: Explorations of the magic moment of word recognition. *From inkmarks to ideas: Current issues in lexical processing*, 229.
- Balota, D.A., Yap, M.J., & Cortese, M.J. (2006). Visual word recognition: The journey from features to meaning (a travel update) *Handbook of psycholinguistics* (pp. 285-375): Elsevier.

- Baltes, P.B., & Lindenberger, U. (1997). Emergence of a powerful connection between sensory and cognitive functions across the adult life span: a new window to the study of cognitive aging? *Psychology and aging*, 12(1), 12.
- Barclay, J.R., Bransford, J.D., Franks, J.J., McCarrell, N.S., & Nitsch, K. (1974). Comprehension and semantic flexibility. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 13(4), 471-481.
- Barrós-Loscertales, A., González, J., Pulvermüller, F., Ventura-Campos, N., Bustamante, J.C., Costumero, V., Parcet, M.A., et al. (2012). Reading salt activates gustatory brain regions: fMRI evidence for semantic grounding in a novel sensory modality. *Cerebral cortex*, 22(11), 2554-2563.
- Barsalou, L. (2003). Situated simulation in the human conceptual system. *Language and cognitive processes*, 18(5-6), 513-562.
- Barsalou, L.W. (1982). Context-independent and context-dependent information in concepts. *Memory & Cognition*, 10(1), 82-93.
- Barsalou, L.W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and brain sciences*, 22(4), 577-660.
- Barsalou, L.W. (2005). Continuity of the conceptual system across species. *Trends in cognitive sciences*, 9(7), 309-311.
- Barsalou, L.W. (2008). Grounded cognition. *Annu. Rev. Psychol.*, 59, 617-645.
- Barsalou, L.W. (2010). Grounded cognition: Past, present, and future. *Topics in Cognitive Science*, 2(4), 716-724.
- Barsalou, L.W., Niedenthal, P.M., Barbey, A.K., & Ruppert, J.A. (2003). Social embodiment. *Psychology of learning and motivation*, 43, 43-92.
- Barsalou, L.W., Santos, A., Simmons, W.K., & Wilson, C.D. (2008). Language and simulation in conceptual processing. *Symbols, embodiment, and meaning*, 245-283.
- 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.
- Bault, N., Chambon, V., Maïonchi-Pino, N., Pénicaud, F.-X., Putois, B., & Roy, J.-M. (Eds) (2011). *Peut-on se passer de représentations en sciences cognitives ?* Bruxelles, Belgique : Neurosciences et cognition.
- Beach, T.G., Monsell, S.E., Phillips, L.E., & Kukull, W. (2012). Accuracy of the clinical diagnosis of Alzheimer disease at National Institute on Aging Alzheimer Disease Centers, 2005–2010. *Journal of neuropathology and experimental neurology*, 71(4), 266-273.

- Bechtold, L., Ghio, M., Antoch, G., Turowski, B., Wittsack, H.-J., Tettamanti, M., & Bellebaum, C. (2019). How words get meaning: The neural processing of novel object names after sensorimotor training. *NeuroImage*, 197, 284-294.
- Beck, A.T., Steer, R.A., & Brown, G. (1996). Beck depression inventory–II. *Psychological Assessment*.
- Beilock, S.L., Lyons, I.M., Mattarella-Micke, A., Nusbaum, H.C., & Small, S.L. (2008). Sports experience changes the neural processing of action language. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(36), 13269-13273.
- Belleville, S. (2009). La maladie d'Alzheimer: une maladie de la mémoire de travail? *Revue de neuropsychologie*(1), 51-58.
- Belleville, S., Peretz, I., & Malenfant, D. (1996). Examination of the working memory components in normal aging and in dementia of the Alzheimer type. *Neuropsychologia*, 34(3), 195-207.
- Belleville, S., Rouleau, N., Van der Linden, M., & Collette, F. (2003). Effect of manipulation and irrelevant noise on working memory capacity of patients with Alzheimer's dementia. *Neuropsychology*, 17(1), 69.
- Bennett, S.D., Burnett, A.N., Siakaluk, P.D., & Pexman, P.M. (2011). Imageability and body–object interaction ratings for 599 multisyllabic nouns. *Behavior research methods*, 43(4), 1100-1109.
- Bherer, L., Belleville, S., & Hudon, C. (2004). Le déclin des fonctions exécutives au cours du vieillissement normal, dans la maladie d'Alzheimer et dans la démence frontotemporale. *Psychologie & NeuroPsychiatrie du vieillissement*, 2(3), 181-189.
- Binder, J.R., Westbury, C.F., McKiernan, K.A., Possing, E.T., & Medler, D.A. (2005). Distinct brain systems for processing concrete and abstract concepts. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(6), 905-917.
- Bombois, S., Dubois, B., & Pasquier, F. (2015). Approche clinique de la maladie d'Alzheimer. *Démences. Rueil-Malmaison: Doin*, 148-156.
- Bonin, P., Méot, A., Aubert, L.-F., Malardier, N., Niedenthal, P., & Capelle-Toczek, M.-C. (2003). Normes de concrétude, de valeur d'imagerie, de fréquence subjective et de valence émotionnelle pour 866 mots. *L'Année psychologique*, 103(4), 655-694.
- Bonin, P., Méot, A., Ferrand, L., & Bugaïska, A. (2015). Sensory experience ratings (SERs) for 1,659 French words: Relationships with other psycholinguistic variables and visual word recognition. *Behavior research methods*, 47(3), 813-825.

- Bonin, P., Méot, A., Ferrand, L., & Roux, S. (2011). L'imageabilité: normes et relations avec d'autres variables psycholinguistiques. *L'Année psychologique*, 111(2), 327-357.
- Bonin, P., Peereman, R., Malardier, N., Méot, A., & Chalard, M. (2003). A new set of 299 pictures for psycholinguistic studies: French norms for name agreement, image agreement, conceptual familiarity, visual complexity, image variability, age of acquisition, and naming latencies. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 35(1), 158-167.
- Bonner, M.F., & Grossman, M. (2012). Gray matter density of auditory association cortex relates to knowledge of sound concepts in primary progressive aphasia. *Journal of Neuroscience*, 32(23), 7986-7991.
- Bonnet, C., Cambois, E., & Fontaine, R. (2021). Dynamiques, enjeux démographiques et socioéconomiques du vieillissement dans les pays à longévité élevée. *Population*, 76(2), 225-325.
- Borghi, A.M. (2005). Object concepts and action. *Grounding cognition: The role of perception and action in memory, language, and thinking*, 8-34.
- Borghi, A.M., Barca, L., Binkofski, F., Castelfranchi, C., Pezzulo, G., & Tummolini, L. (2019). Words as social tools: Language, sociality and inner grounding in abstract concepts. *Physics of life reviews*, 29, 120-153.
- Borghi, A.M., & Binkofski, F. (2014). *Words as social tools: An embodied view on abstract concepts* (Vol. 2): Springer.
- Borghi, A.M., & Cimatti, F. (2012). Words are not just words: the social acquisition of abstract words. *Rivista Italiana di Filosofia del Linguaggio*, 5, 22-37.
- Borowsky, R., & Masson, M.E. (1996). Semantic ambiguity effects in word identification. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22(1), 63.
- Boulenger, V., Hauk, O., & Pulvermüller, F. (2009). Grasping ideas with the motor system: semantic somatotopy in idiom comprehension. *Cerebral cortex*, 19(8), 1905-1914.
- Boulenger, V., Roy, A.C., Paulignan, Y., Deprez, V., Jeannerod, M., & Nazir, T.A. (2006). Cross-talk between language processes and overt motor behavior in the first 200 msec of processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(10), 1607-1615.
- 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.
- Bowl, M.R., & Dawson, S.J. (2019). Age-related hearing loss. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*, 9(8), a033217.

- Bowles, N.L., & Poon, L.W. (1985). Aging and retrieval of words in semantic memory. *Journal of gerontology*, 40(1), 71-77.
- Braak, H., & Braak, E. (1991). Demonstration of amyloid deposits and neurofibrillary changes in whole brain sections. *Brain pathology*, 1(3), 213-216.
- Brayne, C. (2007). The elephant in the room—healthy brains in later life, epidemiology and public health. *Nature reviews neuroscience*, 8(3), 233-239.
- Brodoehl, S., Klingner, C., Stieglitz, K., & Witte, O.W. (2015). The impact of eye closure on somatosensory perception in the elderly. *Behavioural brain research*, 293, 89-95.
- Broggio, E., Pluchon, C., Ingrand, P., & Gil, R. (2001). Taste impairment in Alzheimer's disease. *Revue neurologique*, 157(4), 409-413.
- Brown, V.A. (2021). An introduction to linear mixed-effects modeling in R. *Advances in Methods and Practices in Psychological Science*, 4(1), 2515245920960351.
- Brun, A., & Englund, E. (1981). Regional pattern of degeneration in Alzheimer's disease: neuronal loss and histopathological grading. *Histopathology*, 5(5), 549-564.
- Brunel, L., Goldstone, R.L., Vallet, G., Riou, B., & Versace, R. (2013). When seeing a dog activates the bark. *Experimental Psychology*.
- Brunel, L., Labeye, E., Lesourd, M., & Versace, R. (2009). The sensory nature of episodic memory: sensory priming effects due to memory trace activation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35(4), 1081.
- 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*, 63(5), 955-964.
- Brunel, L., Oker, A., Riou, B., & Versace, R. (2010). Memory and consciousness: Trace distinctiveness in memory retrievals. *Consciousness and cognition*, 19(4), 926-937.
- Brunel, L., Vallet, G.T., Riou, B., Rey, A., & Versace, R. (2015). Grounded conceptual knowledge: Emergence from sensorimotor interactions *Conceptual and Interactive Embodiment* (pp. 120-136): Routledge.
- Brysbaert, M., & Stevens, M. (2018). Power analysis and effect size in mixed effects models: A tutorial. *Journal of cognition*, 1(1).
- Brysbaert, M., Stevens, M., Mandera, P., & Keuleers, E. (2016). How many words do we know? Practical estimates of vocabulary size dependent on word definition, the degree of language input and the participant's age. *Frontiers in psychology*, 7, 1116.

- Buccino, G., Riggio, L., Melli, G., Binkofski, F., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2005). Listening to action-related sentences modulates the activity of the motor system: a combined TMS and behavioral study. *Cognitive Brain Research*, 24(3), 355-363.
- Buchanan, L., Westbury, C., & Burgess, C. (2001). Characterizing semantic space: Neighborhood effects in word recognition. *Psychonomic bulletin & review*, 8(3), 531-544.
- Buck, B.H., Black, S.E., Behrmann, M., Caldwell, C., & Bronskill, M.J. (1997). Spatial-and object-based attentional deficits in Alzheimer's disease. Relationship to HMPAO-SPECT measures of parietal perfusion. *Brain: a journal of neurology*, 120(7), 1229-1244.
- Buckner, R.L., Andrews-Hanna, J.R., & Schacter, D.L. (2008). The brain's default network: anatomy, function, and relevance to disease. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124(1), 1-38.
- Burke, D.M. (2002). Language production and aging *Constraints on language: Aging, grammar, and memory* (pp. 3-27): Springer.
- Burke, D.M., & Peters, L. (1986). Word associations in old age: evidence for consistency in semantic encoding during adulthood. *Psychology and aging*, 1(4), 283.
- Burke, D.M., White, H., & Diaz, D.L. (1987). Semantic priming in young and older adults: evidence for age constancy in automatic and attentional processes. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 13(1), 79.
- Burke, D.M., & Yee, P.L. (1984). Semantic priming during sentence processing by young and older adults. *Developmental psychology*, 20(5), 903.
- Burke, S.N., Gaynor, L.S., Barnes, C.A., Bauer, R.M., Bizon, J.L., Roberson, E.D., & Ryan, L. (2018). Shared functions of perirhinal and parahippocampal cortices: implications for cognitive aging. *Trends in Neurosciences*, 41(6), 349-359.
- Burke, S.N., Maurer, A.P., Nematollahi, S., Uprety, A., Wallace, J.L., & Barnes, C.A. (2014). Advanced age dissociates dual functions of the perirhinal cortex. *Journal of Neuroscience*, 34(2), 467-480.
- Buschke, H., Kuslansky, G., Katz, M., Stewart, W.F., Sliwinski, M.J., Eckholdt, H.M., & Lipton, R.B. (1999). Screening for dementia with the memory impairment screen. *Neurology*, 52(2), 231-231.
- Butterfield, D.A., Di Domenico, F., & Barone, E. (2014). Elevated risk of type 2 diabetes for development of Alzheimer disease: a key role for oxidative stress in brain. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease*, 1842(9), 1693-1706.

- Cabeza, R. (2002). Hemispheric asymmetry reduction in older adults: the HAROLD model. *Psychology and aging*, 17(1), 85.
- Cabeza, R., Daselaar, S.M., Dolcos, F., Prince, S.E., Budde, M., & Nyberg, L. (2004). Task-independent and task-specific age effects on brain activity during working memory, visual attention and episodic retrieval. *Cerebral cortex*, 14(4), 364-375.
- Cabeza, R., Grady, C.L., Nyberg, L., McIntosh, A.R., Tulving, E., Kapur, S., Jennings, J.M., et al. (1997). Age-related differences in neural activity during memory encoding and retrieval: a positron emission tomography study. *Journal of Neuroscience*, 17(1), 391-400.
- Campanella, F., & Shallice, T. (2011). Manipulability and object recognition: is manipulability a semantic feature? *Experimental Brain Research*, 208(3), 369-383.
- Caramazza, A. (1998). The interpretation of semantic category-specific deficits: What do they reveal about the organization of conceptual knowledge in the brain? *Neurocase*, 4(4-5), 265-272.
- Caramazza, A., Hillis, A.E., Rapp, B.C., & Romani, C. (1990). The multiple semantics hypothesis: Multiple confusions? *Cognitive neuropsychology*, 7(3), 161-189.
- Caramazza, A., & Shelton, J.R. (1998). Domain-specific knowledge systems in the brain: The animate-inanimate distinction. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10(1), 1-34.
- Carbonnel, S., Charnallet, A., & Moreaud, O. (2010). Organisation des connaissances sémantiques: des modèles classiques aux modèles non abstraits. *Revue de neuropsychologie*, 2(1), 22-30.
- Cardebat, D., Aithamon, B., & Puel, M. (1995). Les troubles du langage dans les démences de type Alzheimer. *Neuropsychologie*, 213-223.
- Cardebat, D., Doyon, B., Puel, M., Goulet, P., & Joanette, Y. (1990). Evocation lexicale formelle et sémantique chez des sujets normaux. Performances et dynamiques de production en fonction du sexe, de l'âge et du niveau d'étude. *Acta neurologica belgica*, 90(4), 207-217.
- Carreiras, M., Armstrong, B.C., Perea, M., & Frost, R. (2014). The what, when, where, and how of visual word recognition. *Trends in cognitive sciences*, 18(2), 90-98.
- Carreiras, M., Duñabeitia, J.A., & Molinaro, N. (2009). Consonants and vowels contribute differently to visual word recognition: ERPs of relative position priming. *Cerebral cortex*, 19(11), 2659-2670.

- Carreiras, M., Vergara, M., & Barber, H. (2005). Early event-related potential effects of syllabic processing during visual word recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(11), 1803-1817.
- Carstensen, L.L., Fung, H.H., & Charles, S.T. (2003). Socioemotional selectivity theory and the regulation of emotion in the second half of life. *Motivation and emotion*, 27, 103-123.
- Chan, M.Y., Park, D.C., Savalia, N.K., Petersen, S.E., & Wig, G.S. (2014). Decreased segregation of brain systems across the healthy adult lifespan. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(46), E4997-E5006.
- Chao, L.L., Haxby, J.V., & Martin, A. (1999). Attribute-based neural substrates in temporal cortex for perceiving and knowing about objects. *Nature neuroscience*, 2(10), 913-919.
- Chao, L.L., & Martin, A. (2000). Representation of manipulable man-made objects in the dorsal stream. *NeuroImage*, 12(4), 478-484.
- Chatterjee, A. (2010). Disembodying cognition. *Language and Cognition*, 2(1), 79-116.
- Chauncey, K., Holcomb, P.J., & Grainger, J. (2008). Effects of stimulus font and size on masked repetition priming: An event-related potentials (ERP) investigation. *Language and cognitive processes*, 23(1), 183-200.
- Chedid, G., Brambati, S.M., Bedetti, C., Rey, A.E., Wilson, M.A., & Vallet, G.T. (2019). Visual and auditory perceptual strength norms for 3,596 French nouns and their relationship with other psycholinguistic variables. *Behavior research methods*, 51(5), 2094-2105.
- Chemero, A. (2011). *Radical embodied cognitive science*: MIT press.
- Chen, I.-H., Zhao, Q., Long, Y., Lu, Q., & Huang, C.-R. (2019). Mandarin Chinese modality exclusivity norms. *PloS one*, 14(2), e0211336.
- Chen, Y.-C., & Spence, C. (2010). When hearing the bark helps to identify the dog: Semantically-congruent sounds modulate the identification of masked pictures. *Cognition*, 114(3), 389-404.
- Cheng, G., Huang, C., Deng, H., & Wang, H. (2012). Diabetes as a risk factor for dementia and mild cognitive impairment: a meta-analysis of longitudinal studies. *Internal medicine journal*, 42(5), 484-491.
- Chertkow, H., & Bub, D. (1990). Semantic Memory Loss in Alzheimer-Type. *Modular deficits in Alzheimer-type dementia*, 207.
- Chertkow, H., Bub, D., & Caplan, D. (1992). Constraining theories of semantic memory processing: Evidence from dementia. *Cognitive neuropsychology*, 9(4), 327-365.

- Chertkow, H., Bub, D., Cosgrove, R., & Dixon, R. (1993). Des troubles sémantiques dans la maladie d'Alzheimer à la description de l'architecture fonctionnelle de la mémoire sémantique. *Revue de neuropsychologie*.
- Christensen, H., Mackinnon, A.J., Korten, A., & Jorm, A.F. (2001). The "common cause hypothesis" of cognitive aging: evidence for not only a common factor but also specific associations of age with vision and grip strength in a cross-sectional analysis. *Psychology and aging*, 16(4), 588.
- Chrysikou, E.G., Casasanto, D., & Thompson-Schill, S.L. (2017). Motor experience influences object knowledge. *Journal of experimental psychology: General*, 146(3), 395.
- Clément, J., Nassif, R., Léger, J., & Marchan, F. (1997). Development and contribution to the validation of a brief French version of the Yesavage Geriatric Depression Scale. *L'encephale*, 23(2), 91-99.
- Cliff, M., Joyce, D.W., Lamar, M., Dannhauser, T., Tracy, D.K., & Shergill, S.S. (2013). Aging effects on functional auditory and visual processing using fMRI with variable sensory loading. *Cortex*, 49(5), 1304-1313.
- Cohen-Shikora, E.R., & Balota, D.A. (2016). Visual word recognition across the adult lifespan. *Psychology and aging*, 31(5), 488.
- Cohen, L., Dehaene, S., Naccache, L., Lehéricy, S., Dehaene-Lambertz, G., Hénaff, M.-A., & Michel, F. (2000). The visual word form area: spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split-brain patients. *Brain*, 123(2), 291-307.
- Cohen, L., Lehéricy, S., Chochon, F., Lemer, C., Rivaud, S., & Dehaene, S. (2002). Language-specific tuning of visual cortex? Functional properties of the Visual Word Form Area. *Brain*, 125(5), 1054-1069.
- Coley, N., Andrieu, S., Gardette, V., Gillette-Guyonnet, S., Sanz, C., Vellas, B., & Grand, A. (2008). Dementia prevention: methodological explanations for inconsistent results. *Epidemiologic reviews*, 30(1), 35-66.
- Collins, J., Pecher, D., Zeelenberg, R., & Coulson, S. (2011). Modality switching in a property verification task: an ERP study of what happens when candles flicker after high heels click. *Frontiers in psychology*, 2, 10.
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001). DRC: a dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological review*, 108(1), 204.

- Coltheart, M., Tree, J.J., & Saunders, S.J. (2010). Computational modeling of reading in semantic dementia: comment on Woollams, Lambon Ralph, Plaut, and Patterson (2007).
- Connell, L. (2007). Representing object colour in language comprehension. *Cognition*, 102(3), 476-485.
- Connell, L., & Lynott, D. (2010). Look but don't touch: Tactile disadvantage in processing modality-specific words. *Cognition*, 115(1), 1-9.
- Connell, L., & Lynott, D. (2011). Modality switching costs emerge in concept creation as well as retrieval. *Cognitive Science*, 35(4), 763-778.
- Connell, L., & Lynott, D. (2012). Strength of perceptual experience predicts word processing performance better than concreteness or imageability. *Cognition*, 125(3), 452-465.
- Connell, L., & Lynott, D. (2013). Flexible and fast: Linguistic shortcut affects both shallow and deep conceptual processing. *Psychonomic bulletin & review*, 20(3), 542-550.
- Connell, L., & Lynott, D. (2014a). I see/hear what you mean: semantic activation in visual word recognition depends on perceptual attention. *Journal of experimental psychology: General*, 143(2), 527.
- Connell, L., & Lynott, D. (2014b). Principles of representation: Why you can't represent the same concept twice. *Topics in Cognitive Science*, 6(3), 390-406.
- Connell, L., & Lynott, D. (2015). Embodied semantic effects in visual word recognition *Conceptual and interactive embodiment* (pp. 83-104): Routledge.
- Connell, L., & Lynott, D. (2016). Do we know what we're simulating? Information loss on transferring unconscious perceptual simulation to conscious imagery. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 42(8), 1218.
- Connell, L., Lynott, D., & Banks, B. (2018). Interoception: the forgotten modality in perceptual grounding of abstract and concrete concepts. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 373(1752), 20170143.
- Cook, I., & Leuchter, A. (1996). Synaptic dysfunction in Alzheimer's disease: clinical assessment using quantitative EEG. *Behavioural brain research*, 78(1), 15-23.
- Cordier, F. (1993). *Les représentations cognitives privilégiés: typicalité et niveau de base*: Presses universitaires de Lille.
- Cornier, M.-A., Dabelea, D., Hernandez, T.L., Lindstrom, R.C., Steig, A.J., Stob, N.R., Van Pelt, R.E., et al. (2008). The metabolic syndrome. *Endocrine reviews*, 29(7), 777-822.
- Cortese, M.J., & Fugett, A. (2004). Imageability ratings for 3,000 monosyllabic words. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 36(3), 384-387.

- Cortese, M.J., & Khanna, M.M. (2007). Age of acquisition predicts naming and lexical-decision performance above and beyond 22 other predictor variables: An analysis of 2,342 words. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 60(8), 1072-1082.
- Cortese, M.J., & Schock, J. (2013). Imageability and age of acquisition effects in disyllabic word recognition. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 66(5), 946-972.
- Costello, M.C., & Bloesch, E.K. (2017). Are older adults less embodied? A review of age effects through the lens of embodied cognition. *Frontiers in psychology*, 8, 267.
- Craig, A.D. (2002). How do you feel? Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Nature reviews neuroscience*, 3(8), 655-666.
- Craig, A.D., & Craig, A. (2009). How do you feel--now? The anterior insula and human awareness. *Nature reviews neuroscience*, 10(1).
- Craik, F., & Jennings, J. (1992). Human memory. In F. IM Craik & TA Salthouse. *Handbook of aging and cognition*, 209-222.
- Craik, F.I. (2002). Levels of processing: Past, present... and future? *Memory*, 10(5-6), 305-318.
- Craik, F.I., & Byrd, M. (1982). Aging and cognitive deficits: The role of attentional resources. *Aging and cognitive processes*, 191-211.
- Craik, F.I., & Lockhart, R.S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 11(6), 671-684.
- Critchley, H.D., & Harrison, N.A. (2013). Visceral influences on brain and behavior. *Neuron*, 77(4), 624-638.
- Cronin-Golomb, A., Gilmore, G.C., Neargarder, S., Morrison, S.R., & Laudate, T.M. (2007). Enhanced stimulus strength improves visual cognition in aging and Alzheimer's disease. *Cortex*, 43(7), 952-966.
- Cronin-Golomb, A., Rizzo, J.F., Corkin, S., & Growdon, J.H. (1991). Visual function in Alzheimer's disease and normal aging. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 640, 28-35.
- Cuetos, F., Arce, N., Martínez, C., & Ellis, A.W. (2017). Word recognition in Alzheimer's disease: Effects of semantic degeneration. *Journal of neuropsychology*, 11(1), 26-39.
- Cuetos, F., Gonzalez-Nosti, M., & Martínez, C. (2005). The picture-naming task in the analysis of cognitive deterioration in Alzheimer's disease. *Aphasiology*, 19(6), 545-557.
- Cuetos, F., Herrera, E., & Ellis, A.W. (2010). Impaired word recognition in Alzheimer's disease: The role of age of acquisition. *Neuropsychologia*, 48(11), 3329-3334.

- Cuetos, F., Martinez, T., Martinez, C., Izura, C., & Ellis, A.W. (2003). Lexical processing in Spanish patients with probable Alzheimer's disease. *Cognitive Brain Research*, 17(3), 549-561.
- Cuetos, F., Rodríguez-Ferreiro, J., Sage, K., & Ellis, A.W. (2012). A fresh look at the predictors of naming accuracy and errors in Alzheimer's disease. *Journal of neuropsychology*, 6(2), 242-256.
- Cuetos, F., Rosci, C., Laiacona, M., & Capitani, E. (2008). Different variables predict anomia in different subjects: A longitudinal study of two Alzheimer's patients. *Neuropsychologia*, 46(1), 249-260.
- Cummings, J.L., Houlihan, J.P., & Hill, M.A. (1986). The pattern of reading deterioration in dementia of the Alzheimer type: Observations and implications. *Brain and language*, 29(2), 315-323.
- Damasio, A. (1985). Disorders of complex visual processing: agnosias, achromatopsias, Balint's syndrome and related difficulties of orientation and construction. *Principles of Behavioral Neurology, Contemporary Neurology Series*, 26, 259-288.
- Damasio, A.R. (1989). The brain binds entities and events by multiregional activation from convergence zones. *Neural computation*, 1(1), 123-132.
- Damasio, A.R., & Damasio, H. (1994). Cortical systems for retrieval of concrete knowledge: The convergence zone framework. *Large-scale neuronal theories of the brain*, 6174.
- Damoiseaux, J.S. (2017). Effects of aging on functional and structural brain connectivity. *NeuroImage*, 160, 32-40.
- Dannenbaum, R.M., & Jones, L.A. (1993). The assessment and treatment of patients who have sensory loss following cortical lesions. *Journal of hand therapy*, 6(2), 130-138.
- Dartinet, V., & Martinaud, O. (2005). La BREF, une batterie rapide d'évaluation frontale. *NPG Neurologie-Psychiatrie-Gériatrie*, 5(29), 43-46.
- Daselaar, S.M., Veltman, D.J., Rombouts, S.A., Raaijmakers, J.G., & Jonker, C. (2003). Deep processing activates the medial temporal lobe in young but not in old adults. *Neurobiology of aging*, 24(7), 1005-1011.
- Daum, I., Riesch, G., Sartori, G., & Birbaumer, N. (1996). Semantic memory impairment in Alzheimer's disease. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 18(5), 648-665.
- Davis, S.W., Dennis, N.A., Daselaar, S.M., Fleck, M.S., & Cabeza, R. (2008). Que PASA? The posterior–anterior shift in aging. *Cerebral cortex*, 18(5), 1201-1209.

- De Dieuleveult, A.L., Siemonsma, P.C., Van Erp, J.B., & Brouwer, A.-M. (2017). Effects of aging in multisensory integration: a systematic review. *Frontiers in aging neuroscience*, 80.
- de Groot, A.M. (1989). Representational aspects of word imageability and word frequency as assessed through word association. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15(5), 824.
- de LaCoste, M.-C., & White III, C.L. (1993). The role of cortical connectivity in Alzheimer's disease pathogenesis: a review and model system. *Neurobiology of aging*, 14(1), 1-16.
- De Lira, J.O., Ortiz, K.Z., Campanha, A.C., Bertolucci, P.H.F., & Minett, T.S.C. (2011). Microlinguistic aspects of the oral narrative in patients with Alzheimer's disease. *International psychogeriatrics*, 23(3), 404-412.
- De Scalzi, M., Rusted, J., & Oakhill, J. (2015). Embodiment effects and language comprehension in Alzheimer's disease. *Cognitive Science*, 39(5), 890-917.
- Dehaene, S., & Cohen, L. (2011). The unique role of the visual word form area in reading. *Trends in cognitive sciences*, 15(6), 254-262.
- Delacourte, A., David, J.-P., Sergeant, N., Buee, L., Wattez, A., Vermersch, P., Ghazali, F., et al. (1999). The biochemical pathway of neurofibrillary degeneration in aging and Alzheimer's disease. *Neurology*, 52(6), 1158-1158.
- Delbeuck, X., Collette, F., & Van der Linden, M. (2007). Is Alzheimer's disease a disconnection syndrome?: Evidence from a crossmodal audio-visual illusory experiment. *Neuropsychologia*, 45(14), 3315-3323.
- Delbeuck, X., Van der Linden, M., & Collette, F. (2003). Alzheimer's disease as a disconnection syndrome? *Neuropsychology review*, 13, 79-92.
- Dempster, F.N., & Corkill, A.J. (1999). Interference and inhibition in cognition and behavior: Unifying themes for educational psychology. *Educational Psychology Review*, 11, 1-88.
- Derouesné, C. (2006). *Maladie d'Alzheimer. Données épidémiologiques-neuropathologiques et cliniques*. Paper presented at the Actualités sur les démences: aspects cliniques et neuropsychologiques.
- Derouesne, C., Poitreneau, J., Hugonot, L., Kalafat, M., Dubois, B., & Laurent, B. (1999). Mini-Mental State Examination: a useful method for the evaluation of the cognitive status of patients by the clinician. Consensual French version. *Presse medicale (Paris, France: 1983)*, 28(21), 1141-1148.

- Devanand, D., Lee, S., Manly, J., Andrews, H., Schupf, N., Doty, R.L., Stern, Y., et al. (2015). Olfactory deficits predict cognitive decline and Alzheimer dementia in an urban community. *Neurology*, 84(2), 182-189.
- Devanand, D., Michaels-Marston, K.S., Liu, X., Pelton, G.H., Padilla, M., Marder, K., Bell, K., et al. (2000). Olfactory deficits in patients with mild cognitive impairment predict Alzheimer's disease at follow-up. *American Journal of Psychiatry*, 157(9), 1399-1405.
- Devlin, J.T., Gonnerman, L.M., Andersen, E.S., & Seidenberg, M.S. (1998). Category-specific semantic deficits in focal and widespread brain damage: A computational account. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10(1), 77-94.
- Devlin, J.T., & Watkins, K.E. (2007). Stimulating language: insights from TMS. *Brain*, 130(3), 610-622.
- Diaconescu, A.O., Hasher, L., & McIntosh, A.R. (2013). Visual dominance and multisensory integration changes with age. *NeuroImage*, 65, 152-166.
- Diederich, A., Colonius, H., & Schomburg, A. (2008). Assessing age-related multisensory enhancement with the time-window-of-integration model. *Neuropsychologia*, 46(10), 2556-2562.
- Diersch, N., Mueller, K., Cross, E.S., Stadler, W., Rieger, M., & Schütz-Bosbach, S. (2013). Action prediction in younger versus older adults: neural correlates of motor familiarity. *PloS one*, 8(5), e64195.
- Dijkstra, K., Kaschak, M.P., & Zwaan, R.A. (2007). Body posture facilitates retrieval of autobiographical memories. *Cognition*, 102(1), 139-149.
- Dijkstra, K., Yaxley, R.H., Madden, C.J., & Zwaan, R.A. (2004). The role of age and perceptual symbols in language comprehension. *Psychology and aging*, 19(2), 352.
- Dilkina, K., & Lambon Ralph, M.A. (2013). Conceptual structure within and between modalities. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 333.
- DiPietro, L. (2001). Physical activity in aging: changes in patterns and their relationship to health and function. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 56(suppl_2), 13-22.
- Dirkx, E., & Craik, F.I. (1992). Age-related differences in memory as a function of imagery processing. *Psychology and aging*, 7(3), 352.
- Djordjevic, J., Jones-Gotman, M., De Sousa, K., & Chertkow, H. (2008). Olfaction in patients with mild cognitive impairment and Alzheimer's disease. *Neurobiology of aging*, 29(5), 693-706.

- Done, J., & Tim M. Gale, D. (1997). Attribute verification in dementia of Alzheimer type: Evidence for the preservation of distributed concept knowledge. *Cognitive neuropsychology*, 14(4), 547-571.
- Dorot, D., & Mathey, S. (2010). Visual word recognition in young and older adults: A study of cohort effects for lexical variables. *European review of applied psychology*, 60(3), 163-172.
- Doty, R., Perl, D., Steele, J., Chen, K., Pierce Jr, J., Reyes, P., & Kurland, L. (1991). Olfactory dysfunction in three neurodegenerative diseases. *Geriatrics (Basel, Switzerland)*, 46, 47-51.
- Doty, R.L. (2003). Odor perception in neurodegenerative diseases *Handbook of olfaction and gustation* (pp. 850-890): CRC Press.
- Dove, G. (2009). Beyond perceptual symbols: A call for representational pluralism. *Cognition*, 110(3), 412-431.
- Dove, G. (2011). On the need for embodied and dis-embodied cognition. *Frontiers in psychology*, 1, 242.
- Dove, G. (2016). Three symbol ungrounding problems: Abstract concepts and the future of embodied cognition. *Psychonomic bulletin & review*, 23(4), 1109-1121.
- Drayer, B.P. (1988). Imaging of the aging brain. Part I. Normal findings. *Radiology*, 166(3), 785-796.
- Duarte, L.R., & Robert, C. (2014). Semantic richness influences naming pictures in old age and in Alzheimer's disease. *Journal of Neurolinguistics*, 31, 55-68.
- Dubois, B., Epelbaum, S., Santos, A., Di Stefano, F., Julian, A., Michon, A., Sarazin, M., et al. (2013). Alzheimer disease: from biomarkers to diagnosis. *Revue neurologique*, 169(10), 744-751.
- Dubois, B., Touchon, J., Portet, F., Ousset, P.-J., Vellas, B., & Michel, B. (2002). Les 5 mots, épreuve simple et sensible pour le diagnostic de la maladie d'Alzheimer. *La Presse médicale (1983)*, 31(36), 1696-1699.
- Duñabeitia, J.A., Avilés, A., & Carreiras, M. (2008). NoA's ark: Influence of the number of associates in visual word recognition. *Psychonomic bulletin & review*, 15(6), 1072-1077.
- Duñabeitia, J.A., Dimitropoulou, M., Grainger, J., Hernández, J.A., & Carreiras, M. (2012). Differential sensitivity of letters, numbers, and symbols to character transpositions. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24(7), 1610-1624.

- Dunabeitia, J.A., Marín, A., & Carreiras, M. (2009). Associative and orthographic neighborhood density effects in normal aging and Alzheimer's disease. *Neuropsychology*, 23(6), 759.
- Duncan, J. (2010). The multiple-demand (MD) system of the primate brain: mental programs for intelligent behaviour. *Trends in cognitive sciences*, 14(4), 172-179.
- Dunkin, J.J., Osato, S., & Leuchter, A.F. (1995). Relationships between EEG coherence and neuropsychological tests in dementia. *Clinical Electroencephalography*, 26(1), 47-59.
- Dunne, T.E., Nearing, S.A., Cipolloni, P., & Cronin-Golomb, A. (2004). Visual contrast enhances food and liquid intake in advanced Alzheimer's disease. *Clinical nutrition*, 23(4), 533-538.
- Đurđević, D.F., Popović Stijačić, M., & Karapandžić, J. (2016). A quest for sources of perceptual richness: Several candidates. *Studies in language and mind*, 187-238.
- Dutriaux, L., & Gyselinck, V. (2016). Learning is better with the hands free: The role of posture in the memory of manipulable objects. *PloS one*, 11(7), e0159108.
- Dutriaux, L., Nicolas, S., & Gyselinck, V. (2021). Aging and posture in the memory of manipulable objects. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 28(1), 26-36.
- Duyck, W., Desmet, T., Verbeke, L.P., & Brysbaert, M. (2004). WordGen: A tool for word selection and nonword generation in Dutch, English, German, and French. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 36(3), 488-499.
- Ergis, A.-M., & Eusop-Roussel, E. (2008). Les troubles précoces de la mémoire épisodique dans la maladie d'Alzheimer. *Revue neurologique*, 164, S96-S101.
- Estes, Z., & Adelman, J.S. (2008). Automatic vigilance for negative words is categorical and general.
- Eustache, F., Agniel, A., Dary, M., Viallard, G., Puel, M., Demonet, J., Rascol, A., et al. (1993). Sériation chronologique des symptômes comportementaux et instrumentaux dans les démences de type Alzheimer. *Revue de neuropsychologie*, 3, 37-61.
- Eustache, F., Faure, S., & Desgranges, B. (2018). *Manuel de neuropsychologie-5e éd*: Dunod.
- Ewers, M., Sperling, R.A., Klunk, W.E., Weiner, M.W., & Hampel, H. (2011). Neuroimaging markers for the prediction and early diagnosis of Alzheimer's disease dementia. *Trends in Neurosciences*, 34(8), 430-442.
- Farah, M.J., & McClelland, J.L. (1991). A computational model of semantic memory impairment: Modality specificity and emergent category specificity. *Journal of experimental psychology: General*, 120(4), 339.

- Fedorenko, E., Duncan, J., & Kanwisher, N. (2013). Broad domain generality in focal regions of frontal and parietal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(41), 16616-16621.
- Fernandino, L., Binder, J.R., Desai, R.H., Pendl, S.L., Humphries, C.J., Gross, W.L., Conant, L.L., et al. (2016). Concept representation reflects multimodal abstraction: A framework for embodied semantics. *Cerebral cortex*, 26(5), 2018-2034.
- Fernandino, L., Conant, L.L., Binder, J.R., Blindauer, K., Hiner, B., Spangler, K., & Desai, R.H. (2013a). Parkinson's disease disrupts both automatic and controlled processing of action verbs. *Brain and language*, 127(1), 65-74.
- Fernandino, L., Conant, L.L., Binder, J.R., Blindauer, K., Hiner, B., Spangler, K., & Desai, R.H. (2013b). Where is the action? Action sentence processing in Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, 51(8), 1510-1517.
- Fernandino, L., Humphries, C.J., Conant, L.L., Seidenberg, M.S., & Binder, J.R. (2016). Heteromodal cortical areas encode sensory-motor features of word meaning. *Journal of Neuroscience*, 36(38), 9763-9769.
- Ferrand, L. (2001). Normes d'associations verbales pour 260 mots «abstraits». *L'Année psychologique*, 101(4), 683-721.
- Ferrand, L., Méot, A., Spinelli, E., New, B., Pallier, C., Bonin, P., Dufau, S., et al. (2018). MEGALEX: A megastudy of visual and auditory word recognition. *Behavior research methods*, 50(3), 1285-1307.
- Ferreira, R.A., Göbel, S.M., Hymers, M., & Ellis, A.W. (2015). The neural correlates of semantic richness: Evidence from an fMRI study of word learning. *Brain and language*, 143, 69-80.
- Festa, E.K., Insler, R.Z., Salmon, D.P., Paxton, J., Hamilton, J.M., & Heindel, W.C. (2005). Neocortical disconnectivity disrupts sensory integration in Alzheimer's disease. *Neuropsychology*, 19(6), 728.
- Festa, E.K., Katz, A.P., Ott, B.R., Tremont, G., & Heindel, W.C. (2017). Dissociable effects of aging and mild cognitive impairment on bottom-up audiovisual integration. *Journal of Alzheimer's disease*, 59(1), 155-167.
- Fischer, M.H., & Zwaan, R.A. (2008). Embodied language: A review of the role of the motor system in language comprehension. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(6), 825-850.

- Flanagan, K.J., Copland, D.A., Chenery, H.J., Byrne, G.J., & Angwin, A.J. (2013). Alzheimer's disease is associated with distinctive semantic feature loss. *Neuropsychologia*, 51(10), 2016-2025.
- Fleischman, D.A., Wilson, R.S., Gabrieli, J.D., Schneider, J.A., Bienias, J.L., & Bennett, D.A. (2005). Implicit memory and Alzheimer's disease neuropathology. *Brain*, 128(9), 2006-2015.
- Fliessbach, K., Weis, S., Klaver, P., Elger, C.E., & Weber, B. (2006). The effect of word concreteness on recognition memory. *NeuroImage*, 32(3), 1413-1421.
- Flinker, A., Korzeniewska, A., Shestyuk, A.Y., Franaszczuk, P.J., Dronkers, N.F., Knight, R.T., & Crone, N.E. (2015). Redefining the role of Broca's area in speech. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(9), 2871-2875.
- Fodor, J.A. (1985). Fodor's guide to mental representation: The intelligent auntie's vademecum. *Mind*, 94(373), 76-100.
- Fodor, J.A., & Fodor, J.A. (1987). *Psychosemantics: The problem of meaning in the philosophy of mind* (Vol. 2): MIT press.
- Fodor, J.A., & Pylyshyn, Z.W. (1988). Connectionism and cognitive architecture: A critical analysis. *Cognition*, 28(1-2), 3-71.
- Folstein, M.F., Folstein, S.E., & McHugh, P.R. (1975). "Mini-mental state": a practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of psychiatric research*, 12(3), 189-198.
- Forbes-McKay, K.E., Ellis, A.W., Shanks, M.F., & Venneri, A. (2005). The age of acquisition of words produced in a semantic fluency task can reliably differentiate normal from pathological age related cognitive decline. *Neuropsychologia*, 43(11), 1625-1632.
- Forbes-McKay, K.E., & Venneri, A. (2005). Detecting subtle spontaneous language decline in early Alzheimer's disease with a picture description task. *Neurological sciences*, 26, 243-254.
- Förster, J. (2011). Local and global cross-modal influences between vision and hearing, tasting, smelling, or touching. *Journal of experimental psychology: General*, 140(3), 364.
- Forster, K.I. (2004). Category size effects revisited: Frequency and masked priming effects in semantic categorization. *Brain and language*, 90(1-3), 276-286.
- Foster, J., Behrmann, M., & Stuss, D. (1999). Visual attention deficits in Alzheimer's disease: simple versus conjoined feature search. *Neuropsychology*, 13(2), 223.

- Fourkas, A.D., Bonavolontà, V., Avenanti, A., & Aglioti, S.M. (2008). Kinesthetic imagery and tool-specific modulation of corticospinal representations in expert tennis players. *Cerebral cortex*, 18(10), 2382-2390.
- Foxe, J.J., Simpson, G.V., Ahlfors, S.P., & Saron, C.D. (2005). Biasing the brain's attentional set: I. Cue driven deployments of intersensory selective attention. *Experimental Brain Research*, 166(3), 370-392.
- Fozard, J.L., & Gordon-Salant, S. (2001). Changes in vision and hearing with aging.
- Freiherr, J., Lundström, J.N., Habel, U., & Reetz, K. (2013). Multisensory integration mechanisms during aging. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 863.
- Freiss, M. (2017). Platon, le monde des Idées et des représentations mentales, à l'ère de l'imagerie cérébrale.
- Friedman, N.P., & Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: a latent-variable analysis. *Journal of experimental psychology: General*, 133(1), 101.
- Frisoni, G.B., Fox, N.C., Jack Jr, C.R., Scheltens, P., & Thompson, P.M. (2010). The clinical use of structural MRI in Alzheimer disease. *Nature Reviews Neurology*, 6(2), 67-77.
- Froehlich, E., & Jacobs, A.M. (2016). Verändert sich Lesen im Alter? Alterseffekte in der visuellen Worterkennung. *Lernen und Lernstörungen*, 5(2).
- Froehlich, E., Liebig, J., Morawetz, C., Ziegler, J.C., Braun, M., Heekeren, H.R., & Jacobs, A.M. (2018). Same same but different: processing words in the aging brain. *Neuroscience*, 371, 75-95.
- Froehlich, E., Liebig, J., Ziegler, J.C., Braun, M., Lindenberger, U., Heekeren, H.R., & Jacobs, A.M. (2016). Drifting through basic subprocesses of reading: A hierarchical diffusion model analysis of age effects on visual word recognition. *Frontiers in psychology*, 7, 1863.
- Fu, Y., Wang, H., Guo, H., Bermúdez-Margaretto, B., & Dominguez Martinez, A. (2021). What, Where, When and How of Visual Word Recognition: A Bibliometrics Review. *Language and Speech*, 64(4), 900-929.
- Fung, T.D., Chertkow, H., Murtha, S., Whatmough, C., Péloquin, L., Whitehead, V., & Templeman, F.D. (2001). The spectrum of category effects in object and action knowledge in dementia of the Alzheimer's type. *Neuropsychology*, 15(3), 371.
- Gabbard, C., Caçola, P., & Cordova, A. (2011). Is there an advanced aging effect on the ability to mentally represent action? *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 53(2), 206-209.
- Gagnon, E. (2019). Âgisme. *Anthropen*.

- Gainotti, G. (2012). The format of conceptual representations disrupted in semantic dementia: a position paper. *Cortex*, 48(5), 521-529.
- Gainotti, G., Di Betta, A.M., & Silveri, M.C. (1996). The production of specific and generic associates of living and nonliving, high-and low-familiarity stimuli in Alzheimer's disease. *Brain and language*, 54(2), 262-274.
- Gallese, V., & Lakoff, G. (2005). The brain's concepts: The role of the sensory-motor system in conceptual knowledge. *Cognitive neuropsychology*, 22(3-4), 455-479.
- Gallina, J.-M. (2011). Les représentations: un enjeu pour les sciences cognitives. *Peut-on se passer de représentations en sciences cognitives*, 13-31.
- Galvin, J.E., & Sadowsky, C.H. (2012). Practical guidelines for the recognition and diagnosis of dementia. *The Journal of the American Board of Family Medicine*, 25(3), 367-382.
- Gandevia, S.C., Refshauge, K.M., & Collins, D.F. (2002). Proprioception: peripheral inputs and perceptual interactions. *Sensorimotor control of movement and posture*, 61-68.
- Garcia-Marques, L., Nunes, L.D., Marques, P., Carneiro, P., & Weinstein, Y. (2015). Adapting to test structure: Letting testing teach what to learn. *Memory*, 23(3), 365-380.
- Gardner, H. (1987). *The mind's new science: A history of the cognitive revolution*: Basic books.
- Garrard, P., Lambon Ralph, M.A., Hodges, J.R., & Patterson, K. (2001). Prototypicality, distinctiveness, and intercorrelation: Analyses of the semantic attributes of living and nonliving concepts. *Cognitive neuropsychology*, 18(2), 125-174.
- Garrard, P., Maloney, L.M., Hodges, J.R., & Patterson, K. (2005). The effects of very early Alzheimer's disease on the characteristics of writing by a renowned author. *Brain*, 128(2), 250-260.
- Garrard, P., Ralph, M.A.L., Patterson, K., Pratt, K.H., & Hodges, J.R. (2005). Semantic feature knowledge and picture naming in dementia of Alzheimer's type: a new approach. *Brain and language*, 93(1), 79-94.
- Gates, G.A., Anderson, M.L., McCurry, S.M., Feeney, M.P., & Larson, E.B. (2011). Central auditory dysfunction as a harbinger of Alzheimer dementia. *Archives of Otolaryngology-Head & Neck Surgery*, 137(4), 390-395.
- Gates, G.A., & Mills, J.H. (2005). Presbycusis. *The lancet*, 366(9491), 1111-1120.
- Gennis, V., Garry, P.J., Haaland, K.Y., Yeo, R.A., & Goodwin, J.S. (1991). Hearing and cognition in the elderly: new findings and a review of the literature. *Archives of internal medicine*, 151(11), 2259-2264.

- 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.
- Gerlach, C. (2009). Category-specificity in visual object recognition. *Cognition*, 111(3), 281-301.
- Gerlach, C., Law, I., Gade, A., & Paulson, O. (2000). Categorization and category effects in normal object recognition: A PET study. *Neuropsychologia*, 38(13), 1693-1703.
- Giffard, B., Desgranges, B., & Eustache, F. (2001). Le vieillissement de la mémoire: vieillissement normal et pathologique. *Gérontologie et société*, 2497(2), 33-47.
- Giffard, B., Desgranges, B., Nore-Mary, F., Lalevée, C., de la Sayette, V., Pasquier, F., & Eustache, F. (2001). The nature of semantic memory deficits in Alzheimer's disease: new insights from hyperpriming effects. *Brain*, 124(8), 1522-1532.
- Giffard, B., Desgranges, B., Nore-Mary, F., Lalevée, C., Beaunieux, H., de La Sayette, V., Pasquier, F., et al. (2002). The dynamic time course of semantic memory impairment in Alzheimer's disease: clues from hyperpriming and hypoprimering effects. *Brain*, 125(9), 2044-2057.
- Giffard, B., Laisney, M., Desgranges, B., & Eustache, F. (2015). An exploration of the semantic network in Alzheimer's disease: Influence of emotion and concreteness of concepts. *Cortex*, 69, 201-211.
- Gilet, A.-L., Grün, D., Studer, J., & Labouvie-Vief, G. (2012). Valence, arousal, and imagery ratings for 835 French attributes by young, middle-aged, and older adults: The French Emotional Evaluation List (FEEL). *European review of applied psychology*, 62(3), 173-181.
- Gilmore, G.C., Cronin-Golomb, A., Nearing, S.A., & Morrison, S.R. (2005). Enhanced stimulus contrast normalizes visual processing of rapidly presented letters in Alzheimer's disease. *Vision research*, 45(8), 1013-1020.
- Glenberg, A.M. (1997). What memory is for. *Behavioral and brain sciences*, 20(1), 1-19.
- Glenberg, A.M., & Gallese, V. (2012). Action-based language: A theory of language acquisition, comprehension, and production. *Cortex*, 48(7), 905-922.
- Glenberg, A.M., & Kaschak, M.P. (2002). Grounding language in action. *Psychonomic bulletin & review*, 9(3), 558-565.
- Glenberg, A.M., & Robertson, D.A. (2000). Symbol grounding and meaning: A comparison of high-dimensional and embodied theories of meaning. *Journal of Memory and Language*, 43(3), 379-401.

- Glenner, G.G., & Wong, C.W. (1984). Alzheimer's disease: initial report of the purification and characterization of a novel cerebrovascular amyloid protein. *Biochemical and biophysical research communications*, 120(3), 885-890.
- Glisky, E.L. (2007). Changes in cognitive function in human aging. *Brain aging*, 3-20.
- Glosser, G., Baker, K.M., de Vries, J.J., Alavi, A., Grossman, M., & Clark, C.M. (2002). Disturbed visual processing contributes to impaired reading in Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, 40(7), 902-909.
- Goble, D.J., Coxon, J.P., Wenderoth, N., Van Impe, A., & Swinnen, S.P. (2009). Proprioceptive sensibility in the elderly: degeneration, functional consequences and plastic-adaptive processes. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 33(3), 271-278.
- Godefroy, O., & GREFEX, O. (2008). Fonctions exécutives et pathologies neurologiques et psychiatriques. *Évaluation en pratique clinique*.
- Goldberg, R.F., Perfetti, C.A., & Schneider, W. (2006). Perceptual knowledge retrieval activates sensory brain regions. *Journal of Neuroscience*, 26(18), 4917-4921.
- Goldinger, S.D., Pappas, M.H., Barnhart, A.S., Hansen, W.A., & Hout, M.C. (2016). The poverty of embodied cognition. *Psychonomic bulletin & review*, 23(4), 959-978.
- Golob, E.J., Miranda, G.G., Johnson, J.K., & Starr, A. (2001). Sensory cortical interactions in aging, mild cognitive impairment, and Alzheimer's disease. *Neurobiology of aging*, 22(5), 755-763.
- Golub, J.S., Luchsinger, J.A., Manly, J.J., Stern, Y., Mayeux, R., & Schupf, N. (2017). Observed hearing loss and incident dementia in a multiethnic cohort. *Journal of the American Geriatrics Society*, 65(8), 1691-1697.
- Gomez, R.G., & White, D.A. (2006). Using verbal fluency to detect very mild dementia of the Alzheimer type. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 21(8), 771-775.
- Gonneaud, J., Kalpouzos, G., Bon, L., Viader, F., Eustache, F., & Desgranges, B. (2011). Distinct and shared cognitive functions mediate event-and time-based prospective memory impairment in normal ageing. *Memory*, 19(4), 360-377.
- Gonnerman, L.M., Andersen, E.S., Devlin, J.T., Kempler, D., & Seidenberg, M.S. (1997). Double dissociation of semantic categories in Alzheimer's disease. *Brain and language*, 57(2), 254-279.
- González, J., Barros-Loscertales, A., Pulvermüller, F., Meseguer, V., Sanjuán, A., Belloch, V., & Ávila, C. (2006). Reading cinnamon activates olfactory brain regions. *NeuroImage*, 32(2), 906-912.

- Gopinath, B., Rochtchina, E., Wang, J.J., Schneider, J., Leeder, S.R., & Mitchell, P. (2009). Prevalence of age-related hearing loss in older adults: Blue Mountains Study. *Archives of internal medicine*, 169(4), 415-418.
- Grady, C. (2012). The cognitive neuroscience of ageing. *Nature reviews neuroscience*, 13(7), 491-505.
- Grady, C., Sarraf, S., Saverino, C., & Campbell, K. (2016). Age differences in the functional interactions among the default, frontoparietal control, and dorsal attention networks. *Neurobiology of aging*, 41, 159-172.
- Grady, C.L., Furey, M.L., Pietrini, P., Horwitz, B., & Rapoport, S.I. (2001). Altered brain functional connectivity and impaired short-term memory in Alzheimer's disease. *Brain*, 124(4), 739-756.
- Grady, C.L., Haxby, J.V., Horwitz, B., Schapiro, M.B., Rapoport, S.I., Ungerleider, L.G., Mishkin, M., et al. (1992). Dissociation of object and spatial vision in human extrastriate cortex: Age-related changes in activation of regional cerebral blood flow measured with [15 O] water and positron emission tomography. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4(1), 23-34.
- Grady, C.L., Maisog, J.M., Horwitz, B., Ungerleider, L.G., Mentis, M.J., Salerno, J.A., Pietrini, P., et al. (1994). Age-related changes in cortical blood flow activation during visual processing of faces and location. *Journal of Neuroscience*, 14(3), 1450-1462.
- Grady, C.L., McIntosh, A.R., Horwitz, B., Maisog, J.M., Ungerleider, L.G., Mentis, M.J., Pietrini, P., et al. (1995). Age-related reductions in human recognition memory due to impaired encoding. *Science*, 269(5221), 218-221.
- Grainger, J., & Holcomb, P.J. (2009). Watching the word go by: On the time-course of component processes in visual word recognition. *Language and linguistics compass*, 3(1), 128-156.
- Grandy, T.H., Lindenberger, U., & Schmiedek, F. (2020). Vampires and nurses are rated differently by younger and older adults—Age-comparative norms of imageability and emotionality for about 2500 German nouns. *Behavior research methods*, 52, 980-989.
- Greene, N.R., & Naveh-Benjamin, M. (2020). A specificity principle of memory: Evidence from aging and associative memory. *Psychological Science*, 31(3), 316-331.
- Grégoire, C., & Majerus, S. (2023). Resisting Visual, Phonological, and Semantic Interference—Same or Different Processes? A Focused Mini-Review. *Psychologica Belgica*, 62(1), 44.

- Grondin, R., Lupker, S.J., & McRae, K. (2006). *Shared features dominate the number-of-features effect*. Paper presented at the Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society.
- Grossman, M. (2010). Primary progressive aphasia: clinicopathological correlations. *Nature Reviews Neurology*, 6(2), 88-97.
- Grossman, M., Koenig, P., Glosser, G., DeVita, C., Moore, P., Rhee, J., Detre, J., et al. (2003). Neural basis for semantic memory difficulty in Alzheimer's disease: an fMRI study. *Brain*, 126(2), 292-311.
- Grühn, D., & Smith, J. (2008). Characteristics for 200 words rated by young and older adults: Age-dependent evaluations of German adjectives (AGE). *Behavior research methods*, 40, 1088-1097.
- Grundke-Iqbal, I., Iqbal, K., Tung, Y.-C., Quinlan, M., Wisniewski, H.M., & Binder, L.I. (1986). Abnormal phosphorylation of the microtubule-associated protein tau (tau) in Alzheimer cytoskeletal pathology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 83(13), 4913-4917.
- Gussekloo, J., de Craen, A.J., Oduber, C., van Boxtel, M.P., & Westendorp, R.G. (2005). Sensory impairment and cognitive functioning in oldest-old subjects: the Leiden 85+ Study. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, 13(9), 781-786.
- Guttentag, R.E., & Madden, D.J. (1987). Adult age differences in the attentional capacity demands of letter matching. *Experimental aging research*, 13(2), 93-99.
- Hachinski, V. (2008). Shifts in thinking about dementia. *Jama*, 300(18), 2172-2173.
- Hairston, W.D., Laurienti, P.J., Mishra, G., Burdette, J.H., & Wallace, M.T. (2003). Multisensory enhancement of localization under conditions of induced myopia. *Experimental Brain Research*, 152(3), 404-408.
- Hald, L.A., Marshall, J.-A., Janssen, D.P., & Garnham, A. (2011). Switching modalities in a sentence verification task: ERP evidence for embodied language processing. *Frontiers in psychology*, 2, 45.
- Hale, S., & Myerson, J. (1996). Experimental evidence for differential slowing in the lexical and nonlexical domains. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 3(2), 154-165.
- Hansen, D., Siakaluk, P.D., & Pexman, P.M. (2012). The influence of print exposure on the body-object interaction effect in visual word recognition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 113.

- Hardy, C.J., Marshall, C.R., Golden, H.L., Clark, C.N., Mummery, C.J., Griffiths, T.D., Bamiou, D.-E., et al. (2016). Hearing and dementia. *Journal of neurology*, 263, 2339-2354.
- Hargreaves, I.S., Leonard, G., Pexman, P.M., Pittman, D., Siakaluk, P.D., & Goodyear, B. (2012). The neural correlates of the body-object interaction effect in semantic processing. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 22.
- Hargreaves, I.S., & Pexman, P.M. (2012). Does richness lose its luster? Effects of extensive practice on semantic richness in visual word recognition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 234.
- Hargreaves, I.S., & Pexman, P.M. (2014). Get rich quick: The signal to respond procedure reveals the time course of semantic richness effects during visual word recognition. *Cognition*, 131(2), 216-242.
- Hargreaves, I.S., Pexman, P.M., Johnson, J.S., & Zdrazilova, L. (2012). Richer concepts are better remembered: number of features effects in free recall. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 73.
- Hargreaves, I.S., Pexman, P.M., Pittman, D.J., & Goodyear, B.G. (2011). Tolerating ambiguity: ambiguous words recruit the left inferior frontal gyrus in absence of a behavioral effect. *Experimental Psychology*, 58(1), 19.
- Hargreaves, I.S., Pexman, P.M., Zdrazilova, L., & Sargious, P. (2012). How a hobby can shape cognition: Visual word recognition in competitive Scrabble players. *Memory & Cognition*, 40(1), 1-7.
- Hargreaves, I.S., White, M., Pexman, P.M., Pittman, D., & Goodyear, B.G. (2012). The question shapes the answer: The neural correlates of task differences reveal dynamic semantic processing. *Brain and language*, 120(1), 73-78.
- Harm, M.W., & Seidenberg, M.S. (1999). Phonology, reading acquisition, and dyslexia: insights from connectionist models. *Psychological review*, 106(3), 491.
- Harm, M.W., & Seidenberg, M.S. (2004). Computing the meanings of words in reading: cooperative division of labor between visual and phonological processes. *Psychological review*, 111(3), 662.
- Harnishfeger, K.K. (1995). The development of cognitive inhibition: Theories, definitions, and research evidence *Interference and inhibition in cognition* (pp. 175-204): Elsevier.
- Hartman, M. (1991). The use of semantic knowledge in Alzheimer's disease: Evidence for impairments of attention. *Neuropsychologia*, 29(3), 213-228.

- Harvey, P.D. (2011). Mood symptoms, cognition, and everyday functioning: in major depression, bipolar disorder, and schizophrenia. *Innovations in clinical neuroscience*, 8(10), 14.
- Hasher, L., Stoltzfus, E.R., Zacks, R.T., & Rypma, B. (1991). Age and inhibition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 17(1), 163.
- Hasher, L., & Zacks, R.T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. *Psychology of learning and motivation*, 22, 193-225.
- Hauk, O., Davis, M.H., Ford, M., Pulvermüller, F., & Marslen-Wilson, W.D. (2006). The time course of visual word recognition as revealed by linear regression analysis of ERP data. *NeuroImage*, 30(4), 1383-1400.
- Hauk, O., Johnsrude, I., & Pulvermüller, F. (2004). Somatotopic representation of action words in human motor and premotor cortex. *Neuron*, 41(2), 301-307.
- Hauk, O., Patterson, K., Woollams, A., Watling, L., Pulvermüller, F., & Rogers, T.T. (2006). [Q:] When would you prefer a SOSSAGE to a SAUSAGE?[A:] At about 100 msec. ERP correlates of orthographic typicality and lexicality in written word recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(5), 818-832.
- Hauk, O., & Pulvermüller, F. (2004). Neurophysiological distinction of action words in the fronto-central cortex. *Human brain mapping*, 21(3), 191-201.
- Hauk, O., Shtyrov, Y., & Pulvermüller, F. (2008). The time course of action and action-word comprehension in the human brain as revealed by neurophysiology. *Journal of Physiology-Paris*, 102(1-3), 50-58.
- Hauw, J.-J., Colle, M.-A., & Duyckaerts, C. (2000). *Neuropathologie de la maladie d'Alzheimer*. Paper presented at the Annales de l'Institut Pasteur/Actualites.
- Haxby, J.V., Duara, R., Grady, C.L., Cutler, N.R., & Rapoport, S.I. (1985). Relations between neuropsychological and cerebral metabolic asymmetries in early Alzheimer's disease. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 5(2), 193-200.
- Henrard, J.-C. (2002). Les multiples facettes du vieillissement. *Santé, société et solidarité*, 1(2), 13-19.
- Henry, J.D., Crawford, J.R., & Phillips, L.H. (2004). Verbal fluency performance in dementia of the Alzheimer's type: a meta-analysis. *Neuropsychologia*, 42(9), 1212-1222.
- Herholz, K., Salmon, E., Perani, D., Baron, J.-C., Holthoff, V., Frölich, L., Schönknecht, P., et al. (2002). Discrimination between Alzheimer dementia and controls by automated analysis of multicenter FDG PET. *NeuroImage*, 17(1), 302-316.

- Hino, Y., & Lupker, S.J. (1996). Effects of polysemy in lexical decision and naming: An alternative to lexical access accounts. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 22(6), 1331.
- Hino, Y., Lupker, S.J., & Pexman, P.M. (2002). Ambiguity and synonymy effects in lexical decision, naming, and semantic categorization tasks: interactions between orthography, phonology, and semantics. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 28(4), 686.
- Hino, Y., Pexman, P.M., & Lupker, S.J. (2006). Ambiguity and relatedness effects in semantic tasks: Are they due to semantic coding? *Journal of Memory and Language*, 55(2), 247-273.
- Hintzman, D.L. (1986). " Schema abstraction" in a multiple-trace memory model. *Psychological review*, 93(4), 411.
- Hodges, J.R., & Patterson, K. (1995). Is semantic memory consistently impaired early in the course of Alzheimer's disease? Neuroanatomical and diagnostic implications. *Neuropsychologia*, 33(4), 441-459.
- Hodges, J.R., Patterson, K., Graham, N., & Dawson, K. (1996). Naming and knowing in dementia of Alzheimer's type. *Brain and language*, 54(2), 302-325.
- Hodges, J.R., Patterson, K., Oxbury, S., & Funnell, E. (1992). Semantic dementia: Progressive fluent aphasia with temporal lobe atrophy. *Brain*, 115(6), 1783-1806.
- Hodges, J.R., Salmon, D.P., & Butters, N. (1992). Semantic memory impairment in Alzheimer's disease: failure of access or degraded knowledge? *Neuropsychologia*, 30(4), 301-314.
- Hoenig, K., Müller, C., Herrnberger, B., Sim, E.-J., Spitzer, M., Ehret, G., & Kiefer, M. (2011). Neuroplasticity of semantic representations for musical instruments in professional musicians. *NeuroImage*, 56(3), 1714-1725.
- Hoenig, K., Sim, E.-J., Bochev, V., Herrnberger, B., & Kiefer, M. (2008). Conceptual flexibility in the human brain: dynamic recruitment of semantic maps from visual, motor, and motion-related areas. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(10), 1799-1814.
- Hof, P.R., & Morrison, J.H. (1990). Quantitative analysis of a vulnerable subset of pyramidal neurons in Alzheimer's disease: II. Primary and secondary visual cortex. *Journal of Comparative Neurology*, 301(1), 55-64.
- Hof, P.R., Morrison, J.H., & Cox, K. (1990). Quantitative analysis of a vulnerable subset of pyramidal neurons in Alzheimer's disease: I. Superior frontal and inferior temporal cortex. *Journal of Comparative Neurology*, 301(1), 44-54.

- Hofer, S.M., Berg, S., & Era, P. (2003). Evaluating the interdependence of aging-related changes in visual and auditory acuity, balance, and cognitive functioning. *Psychology and aging, 18*(2), 285.
- Hoffman, P. (2018). An individual differences approach to semantic cognition: Divergent effects of age on representation, retrieval and selection. *Scientific reports, 8*(1), 8145.
- Hoffman, P., Cox, S.R., Dykiert, D., Maniega, S.M., Hernández, M.C.V., Bastin, M.E., Wardlaw, J.M., et al. (2017). Brain grey and white matter predictors of verbal ability traits in older age: The Lothian Birth Cohort 1936. *NeuroImage, 156*, 394-402.
- Hoffman, P., & Morcom, A.M. (2018). Age-related changes in the neural networks supporting semantic cognition: A meta-analysis of 47 functional neuroimaging studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 84*, 134-150.
- Hogan, M.J., Swanwick, G.R., Kaiser, J., Rowan, M., & Lawlor, B. (2003). Memory-related EEG power and coherence reductions in mild Alzheimer's disease. *International Journal of Psychophysiology, 49*(2), 147-163.
- Holcomb, P.J., & Grainger, J. (2007). Exploring the temporal dynamics of visual word recognition in the masked repetition priming paradigm using event-related potentials. *Brain research, 1180*, 39-58.
- Holmes, S.J., & Ellis, A.W. (2006). Age of acquisition and typicality effects in three object processing tasks. *Visual Cognition, 13*(7-8), 884-910.
- Holmes, S.J., Jane Fitch, F., & Ellis, A.W. (2006). Age of acquisition affects object recognition and naming in patients with Alzheimer's disease. *Journal of clinical and experimental neuropsychology, 28*(6), 1010-1022.
- Holt, L.E., & Beilock, S.L. (2006). Expertise and its embodiment: Examining the impact of sensorimotor skill expertise on the representation of action-related text. *Psychonomic bulletin & review, 13*(4), 694-701.
- Houston, J.R., Bennett, I.J., Allen, P.A., & Madden, D.J. (2016). Visual acuity does not moderate effect sizes of higher-level cognitive tasks. *Experimental aging research, 42*(3), 221-263.
- Howell, J., & Bryden, M. (1987). The effects of word orientation and imageability on visual half-field presentations with a lexical decision task. *Neuropsychologia, 25*(3), 527-538.
- Howell, S.R., Jankowicz, D., & Becker, S. (2005). A model of grounded language acquisition: Sensorimotor features improve lexical and grammatical learning. *Journal of Memory and Language, 53*(2), 258-276.

- Hsieh, S., Foxe, D., Leslie, F., Savage, S., Piguet, O., & Hodges, J.R. (2012). Grief and joy: emotion word comprehension in the dementias. *Neuropsychology*, 26(5), 624.
- Hsu, N.S., Kraemer, D.J., Oliver, R.T., Schlichting, M.L., & Thompson-Schill, S.L. (2011). Color, context, and cognitive style: Variations in color knowledge retrieval as a function of task and subject variables. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(9), 2544-2557.
- Huang, C.C., Hsieh, W.J., Lee, P.L., Peng, L.N., Liu, L.K., Lee, W.J., Huang, J.K., et al. (2015). Age-related changes in resting-state networks of a large sample size of healthy elderly. *CNS Neuroscience & Therapeutics*, 21(10), 817-825.
- Huettel, S.A., Singerman, J.D., & McCarthy, G. (2001). The effects of aging upon the hemodynamic response measured by functional MRI. *NeuroImage*, 13(1), 161-175.
- Humes, L.E., Dubno, J.R., Gordon-Salant, S., Lister, J.J., Cacace, A.T., Cruickshanks, K.J., Gates, G.A., et al. (2012). Central presbycusis: a review and evaluation of the evidence. *Journal of the American Academy of Audiology*, 23(08), 635-666.
- Humes, L.E., & Young, L.A. (2016). Sensory-cognitive interactions in older adults. *Ear and hearing*, 37(Suppl 1), 52S.
- Humphreys, G.F., Hoffman, P., Visser, M., Binney, R.J., & Lambon Ralph, M.A. (2015). Establishing task-and modality-dependent dissociations between the semantic and default mode networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(25), 7857-7862.
- Huppert, F.A., Johnson, T., & Nickson, J. (2000). High prevalence of prospective memory impairment in the elderly and in early-stage dementia: Findings from a population-based study. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, 14(7), S63-S81.
- Hyman, B.T., Arriagada, P.V., & Hoesen, G.W.V. (1991). Pathologic Changes in the Olfactory System in Aging and Alzheimer's Disease a. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 640(1), 14-19.
- Iidaka, T., Sadato, N., Yamada, H., Murata, T., Omori, M., & Yonekura, Y. (2001). An fMRI study of the functional neuroanatomy of picture encoding in younger and older adults. *Cognitive Brain Research*, 11(1), 1-11.
- Inkster, M., Wellsby, M., Lloyd, E., & Pexman, P.M. (2016). Development of embodied word meanings: Sensorimotor effects in children's lexical processing. *Frontiers in psychology*, 7, 317.
- Jackendoff, R. (2002). What's in the Lexicon? *Storage and computation in the language faculty* (pp. 23-58): Springer.

- Jagust, W., Haan, M., Eberling, J., Wolfe, N., & Reed, B. (1996). Functional imaging predicts cognitive decline in Alzheimer's disease. *Journal of Neuroimaging*, 6(3), 156-160.
- James, C.T. (1975). The role of semantic information in lexical decisions. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 1(2), 130.
- James, T.W., & Gauthier, I. (2003). Auditory and action semantic features activate sensory-specific perceptual brain regions. *Current Biology*, 13(20), 1792-1796.
- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *NeuroImage*, 14(1), S103-S109.
- Jeannerod, M. (2007). Being oneself. *Journal of Physiology-Paris*, 101(4-6), 161-168.
- Jeannerod, M., & Decety, J. (1995). Mental motor imagery: a window into the representational stages of action. *Current opinion in neurobiology*, 5(6), 727-732.
- Jefferies, E. (2013). The neural basis of semantic cognition: converging evidence from neuropsychology, neuroimaging and TMS. *Cortex*, 49(3), 611-625.
- Jefferies, E., & Lambon Ralph, M.A. (2006). Semantic impairment in stroke aphasia versus semantic dementia: a case-series comparison. *Brain*, 129(8), 2132-2147.
- Jerger, J., Chmiel, R., Wilson, N., & Luchi, R. (1995). Hearing impairment in older adults: new concepts. *Journal of the American Geriatrics Society*, 43(8), 928-935.
- Johns, B.T., Jones, M.N., & Mewhort, D. (2019). Using experiential optimization to build lexical representations. *Psychonomic bulletin & review*, 26(1), 103-126.
- Joordens, S., & Becker, S. (1997). The long and short of semantic priming effects in lexical decision. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 23(5), 1083.
- Joubert, S., Vallet, G.T., Montembeault, M., Boukadi, M., Wilson, M.A., Rouleau, I., & Brambati, S.M. (2017). Comprehension of concrete and abstract words in semantic variant primary progressive aphasia and Alzheimer's disease: A behavioral and neuroimaging study. *Brain and language*, 170, 93-102.
- Juhasz, B.J., & Yap, M.J. (2013). Sensory experience ratings for over 5,000 mono-and disyllabic words. *Behavior research methods*, 45(1), 160-168.
- Juhasz, B.J., Yap, M.J., Dicke, J., Taylor, S.C., & Gullick, M.M. (2011). Tangible words are recognized faster: The grounding of meaning in sensory and perceptual systems. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 64(9), 1683-1691.
- Kalafat, M., Hugonot-Diener, L., & Poitrenaud, J. (2003). Standardisation et étalonnage français du "Mini Mental State"(MMS) version GRECO. *Revue de neuropsychologie*, 13(2), 209-236.

- Kalina, R.E. (1997). Seeing into the future. Vision and aging. *Western journal of medicine*, 167(4), 253.
- Kalisch, T., Ragert, P., Schwenkreis, P., Dinse, H.R., & Tegenthoff, M. (2009). Impaired tactile acuity in old age is accompanied by enlarged hand representations in somatosensory cortex. *Cerebral cortex*, 19(7), 1530-1538.
- Kan, I.P., Barsalou, L.W., Olseth Solomon, K., Minor, J.K., & Thompson-Schill, S.L. (2003). Role of mental imagery in a property verification task: fMRI evidence for perceptual representations of conceptual knowledge. *Cognitive neuropsychology*, 20(3-6), 525-540.
- Kavé, G., & Halamish, V. (2015). Doubly blessed: older adults know more vocabulary and know better what they know. *Psychology and aging*, 30(1), 68.
- Kemmerer, D. (2010). 14 HOW WORDS CAPTURE VISUAL EXPERIENCE. *Words and the mind: How words capture human experience*.
- Kemmerer, D. (2015). Are the motor features of verb meanings represented in the precentral motor cortices? Yes, but within the context of a flexible, multilevel architecture for conceptual knowledge. *Psychonomic bulletin & review*, 22(4), 1068-1075.
- Kempler, D. (1995). Language changes in dementia of the Alzheimer type. *Dementia and communication*, 1, 98-114.
- Kenshalo Sr, D.R. (1986). Somesthetic sensitivity in young and elderly humans. *Journal of gerontology*, 41(6), 732-742.
- Khalsa, S.S., & Lapidus, R.C. (2016). Can interoception improve the pragmatic search for biomarkers in psychiatry? *Frontiers in psychiatry*, 7, 121.
- Kiefer, M. (2001). Perceptual and semantic sources of category-specific effects: Event-related potentials during picture and word categorization. *Memory & Cognition*, 29(1), 100-116.
- Kiefer, M. (2005). Repetition-priming modulates category-related effects on event-related potentials: further evidence for multiple cortical semantic systems. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(2), 199-211.
- Kiefer, M., & Martens, U. (2010). Attentional sensitization of unconscious cognition: task sets modulate subsequent masked semantic priming. *Journal of experimental psychology: General*, 139(3), 464.
- Kiefer, M., & Pulvermüller, F. (2012). Conceptual representations in mind and brain: theoretical developments, current evidence and future directions. *Cortex*, 48(7), 805-825.

- Kiefer, M., Sim, E.-J., Herrnberger, B., Grothe, J., & Hoenig, K. (2008). The sound of concepts: Four markers for a link between auditory and conceptual brain systems. *Journal of Neuroscience*, 28(47), 12224-12230.
- Kiefer, M., Sim, E.-J., Liebich, S., Hauk, O., & Tanaka, J. (2007). Experience-dependent plasticity of conceptual representations in human sensory-motor areas. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(3), 525-542.
- Kirby, E., Bandelow, S., & Hogervorst, E. (2010). Visual impairment in Alzheimer's disease: a critical review. *Journal of Alzheimer's disease*, 21(1), 15-34.
- Kirshner, H.S., Webb, W.G., & Kelly, M.P. (1984). The naming disorder of dementia. *Neuropsychologia*, 22(1), 23-30.
- Kliegel, M., & Jäger, T. (2006). Delayed-execute prospective memory performance: The effects of age and working memory. *Developmental neuropsychology*, 30(3), 819-843.
- Kliegel, M., Martin, M., & Moor, C. (2003). Prospective memory and ageing: Is task importance relevant? *International Journal of Psychology*, 38(4), 207-214.
- Klunk, W.E., Engler, H., Nordberg, A., Wang, Y., Blomqvist, G., Holt, D.P., Bergström, M., et al. (2004). Imaging brain amyloid in Alzheimer's disease with Pittsburgh Compound-B. *Annals of Neurology: Official Journal of the American Neurological Association and the Child Neurology Society*, 55(3), 306-319.
- Knott, V., Mohr, E., Mahoney, C., & Ilivitsky, V. (2000). Electroencephalographic coherence in Alzheimer's disease: comparisons with a control group and population norms. *Journal of geriatric psychiatry and neurology*, 13(1), 1-8.
- 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.
- Koss, E., & Gilmore, G.C. (1998). Environmental interventions and functional ability of AD patients. *Research and practice in Alzheimer's disease*, 185-191.
- Kosslyn, S.M. (1987). Seeing and imagining in the cerebral hemispheres: a computational approach. *Psychological review*, 94(2), 148.
- Kounios, J., Green, D.L., Payne, L., Fleck, J.I., Grondin, R., & McRae, K. (2009). Semantic richness and the activation of concepts in semantic memory: Evidence from event-related potentials. *Brain research*, 1282, 95-102.
- Kousta, S.-T., Vinson, D.P., & Vigliocco, G. (2009). Emotion words, regardless of polarity, have a processing advantage over neutral words. *Cognition*, 112(3), 473-481.

- Kovacs, T., Cairns, N., & Lantos, P. (1999). Beta-amyloid deposition and neurofibrillary tangle formation in the olfactory bulb in ageing and Alzheimer's disease. *Neuropathology and applied neurobiology*, 25(6), 481-491.
- Kremin, H., Perrier, D., De Wilde, M., Dordain, M., Le Bayon, A., Gatignol, P., Rabine, C., et al. (2001). Factors predicting success in picture naming in Alzheimer's disease and primary progressive aphasia. *Brain and cognition*, 46(1-2), 180-183.
- Kronbichler, M., Hutzler, F., Wimmer, H., Mair, A., Staffen, W., & Ladurner, G. (2004). The visual word form area and the frequency with which words are encountered: evidence from a parametric fMRI study. *NeuroImage*, 21(3), 946-953.
- Kusne, Y., Wolf, A.B., Townley, K., Conway, M., & Peyman, G.A. (2017). Visual system manifestations of Alzheimer's disease. *Acta Ophthalmologica*, 95(8), e668-e676.
- Kutas, M., & Federmeier, K.D. (2011). Thirty years and counting: Finding meaning in the N400 component of the event related brain potential (ERP). *Annual review of psychology*, 62, 621.
- Kutas, M., Van Petten, C.K., & Kluender, R. (2006). Psycholinguistics electrified II (1994–2005) *Handbook of psycholinguistics* (pp. 659-724): Elsevier.
- La Fleur, C.G., & Salthouse, T.A. (2014). Out of sight, out of mind? Relations between visual acuity and cognition. *Psychonomic bulletin & review*, 21, 1202-1208.
- Lagacé, M., Medouar, F., Loock, J., & Davignon, A. (2011). À mots couverts: le regard des aînés et des soignants sur la communication quotidienne et ses manifestations d'agisme implicite. *Canadian Journal on Aging/La Revue canadienne du vieillissement*, 30(2), 185-196.
- Laisney, M. (2011). L'évaluation et l'organisation de la mémoire sémantique. *Revue de neuropsychologie*, 3(3), 176-180.
- Laisney, M., Desgranges, B., Eustache, F., & Giffard, B. (2010). L'altération du réseau lexico-sémantique dans la maladie d'Alzheimer et la démence sémantique à travers le prisme des effets d'amorçage sémantique. *Revue de neuropsychologie*(1), 46-54.
- Laisney, M., Giffard, B., Belliard, S., de La Sayette, V., Desgranges, B., & Eustache, F. (2011). When the zebra loses its stripes: Semantic priming in early Alzheimer's disease and semantic dementia. *Cortex*, 47(1), 35-46.
- Laisney, M., Giffard, B., & Eustache, F. (2004). La mémoire sémantique dans la maladie d'Alzheimer: apports de l'étude des effets d'amorçage. *Psychologie & NeuroPsychiatrie du vieillissement*, 2(2), 107-115.

- Lakmache, Y., Lassonde, M., Gauthier, S., Frigon, J.-Y., & Lepore, F. (1998). Interhemispheric disconnection syndrome in Alzheimer's disease. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(15), 9042-9046.
- Lambon Ralph, M.A. (2014). Neurocognitive insights on conceptual knowledge and its breakdown. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1634), 20120392.
- Lambon Ralph, M.A., & Patterson, K. (2008). Generalization and differentiation in semantic memory: insights from semantic dementia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124(1), 61-76.
- Lambon Ralph, M.A., Sage, K., Jones, R.W., & Mayberry, E.J. (2010). Coherent concepts are computed in the anterior temporal lobes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(6), 2717-2722.
- Laszlo, S., & Federmeier, K.D. (2011). The N400 as a snapshot of interactive processing: Evidence from regression analyses of orthographic neighbor and lexical associate effects. *Psychophysiology*, 48(2), 176-186.
- Laudate, T.M., Nearing, S., Dunne, T.E., Sullivan, K.D., Joshi, P., Gilmore, G.C., Riedel, T.M., et al. (2012). Bingo! Externally supported performance intervention for deficient visual search in normal aging, Parkinson's disease, and Alzheimer's disease. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 19(1-2), 102-121.
- Laurienti, P.J., Burdette, J.H., Maldjian, J.A., & Wallace, M.T. (2006). Enhanced multisensory integration in older adults. *Neurobiology of aging*, 27(8), 1155-1163.
- Laver, G.D., & Burke, D.M. (1993). Why do semantic priming effects increase in old age? A meta-analysis. *Psychology and aging*, 8(1), 34.
- Le Cun, Y. (1986). *Learning process in an asymmetric threshold network*. Paper presented at the Disordered systems and biological organization.
- Lee, A.G., & Martin, C.O. (2004). Neuro-ophthalmic findings in the visual variant of Alzheimer's disease. *Ophthalmology*, 111(2), 376-380.
- Lehmann, S., & Murray, M.M. (2005). The role of multisensory memories in unisensory object discrimination. *Cognitive Brain Research*, 24(2), 326-334.
- Lenz, M., Tegenthoff, M., Kohlhaas, K., Stude, P., Höffken, O., Tossi, M.A.G., Kalisch, T., et al. (2012). Increased excitability of somatosensory cortex in aged humans is associated with impaired tactile acuity. *Journal of Neuroscience*, 32(5), 1811-1816.
- Levelt, W. (1999). Producing spoken language. *The neurocognition of language*, 83-122.
- Levelt, W.J. (1993). *Speaking: From intention to articulation*: MIT press.

- Levine, B., Beason-Held, L., Purpura, K., Aronchick, D., Optican, L., Alexander, G., Horwitz, B., et al. (2000). Age-related differences in visual perception: a PET study. *Neurobiology of aging*, 21(4), 577-584.
- Lewis, J.W., Wightman, F.L., Brefczynski, J.A., Phinney, R.E., Binder, J.R., & DeYoe, E.A. (2004). Human brain regions involved in recognizing environmental sounds. *Cerebral cortex*, 14(9), 1008-1021.
- Li, H.-J., Hou, X.-H., Liu, H.-H., Yue, C.-L., Lu, G.-M., & Zuo, X.-N. (2015). Putting age-related task activation into large-scale brain networks: a meta-analysis of 114 fMRI studies on healthy aging. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 57, 156-174.
- Li, K.Z., Lindenberger, U., Freund, A.M., & Baltes, P.B. (2001). Walking while memorizing: Age-related differences in compensatory behavior. *Psychological Science*, 12(3), 230-237.
- Li, S.-C., Lindenberger, U., & Sikström, S. (2001). Aging cognition: from neuromodulation to representation. *Trends in cognitive sciences*, 5(11), 479-486.
- Li, S.-C., & Rieckmann, A. (2014). Neuromodulation and aging: implications of aging neuronal gain control on cognition. *Current opinion in neurobiology*, 29, 148-158.
- Li, Y., Baldassi, M., Johnson, E.J., & Weber, E.U. (2013). Complementary cognitive capabilities, economic decision making, and aging. *Psychology and aging*, 28(3), 595.
- Lichtenstein, M.J., Shields, S.L., Shiavi, R.G., & Burger, M.C. (1988). Clinical determinants of biomechanics platform measures of balance in aged women. *Journal of the American Geriatrics Society*, 36(11), 996-1002.
- Light, K.E. (1990). Information processing for motor performance in aging adults. *Physical therapy*, 70(12), 820-826.
- Light, L.L. (1991). Memory and aging: Four hypotheses in search of data. *Annual review of psychology*, 42(1), 333-376.
- Light, L.L. (1992). The organization of memory in old age. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (pp. 111–165). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Ligue Alzheimer ASBL (2023). *La maladie d'Alzheimer : en chiffres*. <https://alzheimer.be/la-maladie-dalzheimer/en-chiffres/>, consulté le 11/04/23.
- Lima, S.D., Hale, S., & Myerson, J. (1991). How general is general slowing? Evidence from the lexical domain. *Psychology and aging*, 6(3), 416.
- Lin, F.R., & Albert, M. (2014). Hearing loss and dementia—who is listening? (Vol. 18, pp. 671-673): Taylor & Francis.

- Lin, F.R., Ferrucci, L., Metter, E.J., An, Y., Zonderman, A.B., & Resnick, S.M. (2011). Hearing loss and cognition in the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *Neuropsychology*, 25(6), 763.
- Lindenberger, U. (2014). Human cognitive aging: corriger la fortune? *Science*, 346(6209), 572-578.
- Lindenberger, U., & Baltes, P.B. (1994). Sensory functioning and intelligence in old age: a strong connection. *Psychology and aging*, 9(3), 339.
- Lindenberger, U., Marsiske, M., & Baltes, P.B. (2000). Memorizing while walking: increase in dual-task costs from young adulthood to old age. *Psychology and aging*, 15(3), 417.
- Lindenberger, U., Scherer, H., & Baltes, P.B. (2001). The strong connection between sensory and cognitive performance in old age: not due to sensory acuity reductions operating during cognitive assessment. *Psychology and aging*, 16(2), 196.
- Liu, X., & Yan, D. (2007). Ageing and hearing loss. *The Journal of Pathology: A Journal of the Pathological Society of Great Britain and Ireland*, 211(2), 188-197.
- Lockhart, R.S. (2002). Levels of processing, transfer-appropriate processing, and the concept of robust encoding. *Memory*, 10(5-6), 397-403.
- Loeffler, J., Raab, M., & Cañal-Bruland, R. (2016). A lifespan perspective on embodied cognition. *Frontiers in psychology*, 7, 845.
- Logan, J.M., Sanders, A.L., Snyder, A.Z., Morris, J.C., & Buckner, R.L. (2002). Under-recruitment and nonselective recruitment: dissociable neural mechanisms associated with aging. *Neuron*, 33(5), 827-840.
- Loughrey, D.G., Kelly, M.E., Kelley, G.A., Brennan, S., & Lawlor, B.A. (2018). Association of age-related hearing loss with cognitive function, cognitive impairment, and dementia: a systematic review and meta-analysis. *JAMA otolaryngology-head & neck surgery*, 144(2), 115-126.
- Louwerse, M., & Connell, L. (2011). A taste of words: Linguistic context and perceptual simulation predict the modality of words. *Cognitive Science*, 35(2), 381-398.
- Louwerse, M.M. (2008). Embodied relations are encoded in language. *Psychonomic bulletin & review*, 15(4), 838-844.
- Louwerse, M.M. (2011). Symbol interdependency in symbolic and embodied cognition. *Topics in Cognitive Science*, 3(2), 273-302.
- Louwerse, M.M., & Jeuniaux, P. (2008). Language comprehension is both embodied and symbolic. *Symbols and embodiment: Debates on meaning and cognition*, 309-326.

- Louwerse, M.M., & Jeuniaux, P. (2010). The linguistic and embodied nature of conceptual processing. *Cognition*, 114(1), 96-104.
- Lowry, K.A., Vallejo, A.N., & Studenski, S.A. (2012). Successful aging as a continuum of functional independence: lessons from physical disability models of aging. *Aging and disease*, 3(1), 5.
- Lueck, K.L., Mendez, M.F., & Perryman, K.M. (2000). Eye movement abnormalities during reading in patients with Alzheimer disease. *Neuropsychiatry, Neuropsychology, & Behavioral Neurology*.
- Lux, V., Non, A.L., Pexman, P.M., Stadler, W., Weber, L.A., & Krüger, M. (2021). A developmental framework for embodiment research: The next step toward integrating concepts and methods. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 70.
- Lynott, D., & Connell, L. (2009). Modality exclusivity norms for 423 object properties. *Behavior research methods*, 41(2), 558-564.
- Lynott, D., & Connell, L. (2010). Embodied conceptual combination. *Frontiers in psychology*, 1, 212.
- Lynott, D., & Connell, L. (2013). Modality exclusivity norms for 400 nouns: The relationship between perceptual experience and surface word form. *Behavior research methods*, 45(2), 516-526.
- Lynott, D., Connell, L., Brysbaert, M., Brand, J., & Carney, J. (2019). The Lancaster Sensorimotor Norms: multidimensional measures of perceptual and action strength for 40,000 English words. *Behavior research methods*, 1-21.
- Lyons, I.M., Mattarella-Micke, A., Cieslak, M., Nusbaum, H.C., Small, S.L., & Beilock, S.L. (2010). The role of personal experience in the neural processing of action-related language. *Brain and language*, 112(3), 214-222.
- Macdonald, G. (2013). *Aging and semantic processing [Thèse de doctorat]. Electronic Theses and Dissertations* (4738). <https://scholar.uwindsor.ca/etd/4738>.
- MacKay, D.G., & Abrams, L. (1996). Language, memory, and aging: Distributed deficits and the structure of new-versus-old connections.
- MacKay, D.G., & Burke, D.M. (1990). Chapter five cognition and aging: a theory of new learning and the use of old connections *Advances in psychology* (Vol. 71, pp. 213-263): Elsevier.
- Madden, C.J., & Dijkstra, K. (2009). Contextual constraints in situation model construction: An investigation of age and reading span. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 17(1), 19-34.

- Madden, D.J. (2007). Aging and visual attention. *Current directions in psychological science*, 16(2), 70-74.
- Madden, D.J., Pierce, T.W., & Allen, P.A. (1993). Age-related slowing and the time course of semantic priming in visual word identification. *Psychology and aging*, 8(4), 490.
- Madden, D.J., Turkington, T.G., Provenzale, J.M., Denny, L.L., Langley, L.K., Hawk, T.C., & Coleman, R.E. (2002). Aging and attentional guidance during visual search: functional neuroanatomy by positron emission tomography. *Psychology and aging*, 17(1), 24.
- Maeder, P.P., Meuli, R.A., Adriani, M., Bellmann, A., Fornari, E., Thiran, J.-P., Pittet, A., et al. (2001). Distinct pathways involved in sound recognition and localization: a human fMRI study. *NeuroImage*, 14(4), 802-816.
- Magnié, M., Besson, M., Poncet, M., & Dolisi, C. (2003). The Snodgrass and Vanderwart set revisited: Norms for object manipulability and for pictorial ambiguity of objects, chimeric objects, and nonobjects. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 25(4), 521-560.
- Maguinness, C., Setti, A., Roudaia, E., & Kenny, R.A. (2013). Does that look heavy to you? Perceived weight judgment in lifting actions in younger and older adults. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 795.
- Mahon, B.Z. (2015). The burden of embodied cognition. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 69(2), 172.
- Mahon, B.Z., & Caramazza, A. (2009). Concepts and categories: a cognitive neuropsychological perspective. *Annual review of psychology*, 60, 27.
- Mahoney, J.R., Li, P.C.C., Oh-Park, M., Verghese, J., & Holtzer, R. (2011). Multisensory integration across the senses in young and old adults. *Brain research*, 1426, 43-53.
- Mahoney, J.R., Verghese, J., Dumas, K., Wang, C., & Holtzer, R. (2012). The effect of multisensory cues on attention in aging. *Brain research*, 1472, 63-73.
- Maloney, E., Risko, E.F., O'Malley, S., & Besner, D. (2009). Short article: Tracking the transition from sublexical to lexical processing: On the creation of orthographic and phonological lexical representations. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(5), 858-867.
- Maloney, E.A., Sattizahn, J.R., & Beilock, S.L. (2014). Anxiety and cognition. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 5(4), 403-411.
- Manchester, D., Woollacott, M., Zederbauer-Hylton, N., & Marin, O. (1989). Visual, vestibular and somatosensory contributions to balance control in the older adult. *Journal of gerontology*, 44(4), M118-M127.

- Markman, A.B., & Dietrich, E. (2000). In defense of representation. *Cognitive psychology*, 40(2), 138-171.
- Marques, J.F. (2006). Specialization and semantic organization: Evidence for multiple semantics linked to sensory modalities. *Memory & Cognition*, 34(1), 60-67.
- Marques, J.F., Cappa, S.F., & Sartori, G. (2011). Naming from definition, semantic relevance and feature type: The effects of aging and Alzheimer's disease. *Neuropsychology*, 25(1), 105.
- Marra, C., Ferraccioli, M., & Gainotti, G. (2007). Gender-related dissociations of categorical fluency in normal subjects and in subjects with Alzheimer's disease. *Neuropsychology*, 21(2), 207.
- Martin, A. (1992). Degraded knowledge representations in patients with Alzheimer's disease: Implications for models of semantic and repetition priming.
- Martin, A. (2007). The representation of object concepts in the brain. *Annu. Rev. Psychol.*, 58, 25-45.
- Martin, A. (2016). GRAPES—Grounding representations in action, perception, and emotion systems: How object properties and categories are represented in the human brain. *Psychonomic bulletin & review*, 23(4), 979-990.
- Martin, A., & Fedio, P. (1983). Word production and comprehension in Alzheimer's disease: The breakdown of semantic knowledge. *Brain and language*, 19(1), 124-141.
- Martin, A., Haxby, J.V., Lalonde, F.M., Wiggs, C.L., & Ungerleider, L.G. (1995). Discrete cortical regions associated with knowledge of color and knowledge of action. *Science*, 270(5233), 102-105.
- Masters, C.L., Simms, G., Weinman, N.A., Multhaup, G., McDonald, B.L., & Beyreuther, K. (1985). Amyloid plaque core protein in Alzheimer disease and Down syndrome. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 82(12), 4245-4249.
- Matzen, L.E., & Benjamin, A.S. (2013). Older and wiser: Older adults' episodic word memory benefits from sentence study contexts. *Psychology and aging*, 28(3), 754.
- Maurer, U., Brandeis, D., & McCandliss, B.D. (2005). Fast, visual specialization for reading in English revealed by the topography of the N170 ERP response. *Behavioral and brain functions*, 1(1), 1-12.
- McCarthy, R.A., & Warrington, E.K. (1988). Evidence for modality-specific meaning systems in the brain. *Nature*, 334(6181), 428-430.
- McClelland, J., Rumelhart, D., & Hinton, G. (1987). Une nouvelle approche de la cognition: le connexionnisme. *Le débat*(5), 45-64.

- McClelland, J.L., & Rumelhart, D.E. (1981). An interactive activation model of context effects in letter perception: I. An account of basic findings. *Psychological review*, 88(5), 375.
- McClelland, J.L., Rumelhart, D.E., & Hinton, G.E. (1986). The appeal of parallel distributed processing. *MIT Press, Cambridge MA*, 3, 44.
- McFarlane, J., Welch, J., & Rodgers, J. (2006). Severity of Alzheimer's disease and effect on premorbid measures of intelligence. *British Journal of Clinical Psychology*, 45(4), 453-464.
- McKhann, G.M., Knopman, D.S., Chertkow, H., Hyman, B.T., Jack Jr, C.R., Kawas, C.H., Klunk, W.E., et al. (2011). The diagnosis of dementia due to Alzheimer's disease: Recommendations from the National Institute on Aging-Alzheimer's Association workgroups on diagnostic guidelines for Alzheimer's disease. *Alzheimer's & dementia*, 7(3), 263-269.
- McRae, K., De Sa, V.R., & Seidenberg, M.S. (1997). On the nature and scope of featural representations of word meaning. *Journal of experimental psychology: General*, 126(2), 99.
- Meshulam, R.I., Moberg, P.J., Mahr, R.N., & Doty, R.L. (1998). Olfaction in neurodegenerative disease: a meta-analysis of olfactory functioning in Alzheimer's and Parkinson's diseases. *Archives of neurology*, 55(1), 84-90.
- Messer, R.H. (2017). Heather Harris Wright (Ed.), *Cognition, Language, and Aging*. Amsterdam/Philadelphia: John Benjamins Publishing, 2016. Pp. 258 ISBN 978-9-027-21232-0. *Language and Cognition*, 9(4), 741-746.
- Meteyard, L., Cuadrado, S.R., Bahrami, B., & Vigliocco, G. (2012). Coming of age: A review of embodiment and the neuroscience of semantics. *Cortex*, 48(7), 788-804.
- Meteyard, L., & Vigliocco, G. (2008). The role of sensory and motor information in semantic representation: A review. *Handbook of Cognitive Science*, 291-312.
- Meteyard, L., Zokaei, N., Bahrami, B., & Vigliocco, G. (2008). Visual motion interferes with lexical decision on motion words. *Current Biology*, 18(17), R732-R733.
- Meyer, K., & Damasio, A. (2009). Convergence and divergence in a neural architecture for recognition and memory. *Trends in Neurosciences*, 32(7), 376-382.
- Miceli, A., Wauthia, E., Lefebvre, L., Ris, L., & Simoes Loureiro, I. (2021). Perceptual and Interoceptive Strength Norms for 270 French Words. *Frontiers in psychology*, 12, 2018.
- Miceli, A., Wauthia, E., Lefebvre, L., Vallet, G., Ris, L., & Simoes Loureiro, I. (2022). Differences related to aging in sensorimotor knowledge: Investigation of perceptual

- strength and body object interaction. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 102, 104715.
- Michel, C. (2021). Overcoming the modal/amodal dichotomy of concepts. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 20(4), 655-677.
- Miklashevsky, A. (2018). Perceptual experience norms for 506 Russian nouns: Modality rating, spatial localization, manipulability, imageability and other variables. *Journal of psycholinguistic research*, 47(3), 641-661.
- Mille, J., Brambati, S.M., Izaute, M., & Vallet, G.T. (2021). Low-resolution neurocognitive aging and cognition: An embodied perspective. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 15.
- Mille, J., Izaute, M., & Vallet, G.T. (2022). Liens entre le déclin sensoriel et cognitif dans le vieillissement normal: revue critique de la littérature et apports de l'approche incarnée et située de la cognition. *Psychologie Française*.
- Mirman, D., & Magnuson, J.S. (2008). Attractor dynamics and semantic neighborhood density: processing is slowed by near neighbors and speeded by distant neighbors. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 34(1), 65.
- Mo, K.O., Sung, J.E., Jeong, J.H., Mo, K.O., Sung, J.E., & Jeong, J.H. (2015). The effects of semantic feature analysis treatment on naming performance in Korean individuals with early dementia of the Alzheimer's type: using a familiarity of nouns scale. *Communication Sciences & Disorders*, 20(1), 34-47.
- Molitor, R.J., Ko, P.C., & Ally, B.A. (2015). Eye movements in Alzheimer's disease. *Journal of Alzheimer's disease*, 44(1), 1-12.
- Monge, Z.A., & Madden, D.J. (2016). Linking cognitive and visual perceptual decline in healthy aging: The information degradation hypothesis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 69, 166-173.
- Montanes, P., Goldblum, M., & Boller, F. (1996). Classification deficits in Alzheimer's disease with special reference to living and nonliving things. *Brain and language*, 54(2), 335-358.
- Moore, C.J., & Price, C.J. (1999). A functional neuroimaging study of the variables that generate category-specific object processing differences. *Brain*, 122(5), 943-962.
- Morgan, C.D., Nordin, S., & Murphy, C. (1995). Odor identification as an early marker for Alzheimer's disease: impact of lexical functioning and detection sensitivity. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 17(5), 793-803.
- Morris, C.D., Bransford, J.D., & Franks, J.J. (1977). Levels of processing versus transfer appropriate processing. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 16(5), 519-533.

- Morrison, J., Scherr, S., Lewis, D.A., Campbell, M., Bloom, F., Rogers, J., & Benoit, R. (1986). The laminar and regional distribution of neocortical somatostatin and neuritic plaques: Implications for Alzheimer's disease as a global neocortical disconnection syndrome. *The biological substrates of Alzheimer's disease*, 115-131.
- Morrison, J.H., & Hof, P.R. (2002). Selective vulnerability of corticocortical and hippocampal circuits in aging and Alzheimer's disease. *Progress in brain research*, 136, 467-486.
- Morrison, J.H., Hof, P.R., & Bouras, C. (1991). An anatomic substrate for visual disconnection in Alzheimer's disease.
- Morucci, P., Bottini, R., & Crepaldi, D. (2019). Augmented modality exclusivity norms for concrete and abstract Italian property words. *Journal of cognition*, 2(1).
- Mounoud, P., Duscherer, K., Moy, G., & Perraudin, S. (2007). The influence of action perception on object recognition: a developmental study. *Developmental Science*, 10(6), 836-852.
- Mozolic, J.L., Hugenschmidt, C.E., Peiffer, A.M., & Laurienti, P.J. (2012). Multisensory integration and aging.
- Mudar, R.A., & Husain, F.T. (2016). Neural alterations in acquired age-related hearing loss. *Frontiers in psychology*, 7, 828.
- Mulder, T., Hochstenbach, J., Van Heuvelen, M., & Den Otter, A. (2007). Motor imagery: the relation between age and imagery capacity. *Human movement science*, 26(2), 203-211.
- Müller, O., Duñabeitia, J.A., & Carreiras, M. (2010). Orthographic and associative neighborhood density effects: What is shared, what is different? *Psychophysiology*, 47(3), 455-466.
- Munzert, J., Lorey, B., & Zentgraf, K. (2009). Cognitive motor processes: the role of motor imagery in the study of motor representations. *Brain research reviews*, 60(2), 306-326.
- Murphy, C. (2002). Olfactory functional testing: sensitivity and specificity for Alzheimer's disease. *Drug Development Research*, 56(2), 123-131.
- Murphy, G.L. (2002). *The big book of concepts*. A Bradford Book: MIT Press.
- Murphy, C., Jernigan, T.L., Fennema-Notestine, C. (2003). Left hippocampal volume loss in Alzheimer's disease is reflected in performance on odor identification: a structural MRI study. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 9(3), 459-471.
- Murray, M.M., Lewkowicz, D.J., Amedi, A., & Wallace, M.T. (2016). Multisensory processes: a balancing act across the lifespan. *Trends in Neurosciences*, 39(8), 567-579.
- Myerson, J., Ferraro, F.R., Hale, S., & Lima, S.D. (1992). General slowing in semantic priming and word recognition. *Psychology and aging*, 7(2), 257.

- Myung, J.-y., Blumstein, S.E., & Sedivy, J.C. (2006). Playing on the typewriter, typing on the piano: Manipulation knowledge of objects. *Cognition*, 98(3), 223-243.
- Näätänen, R., & Picton, T. (1987). The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: a review and an analysis of the component structure. *Psychophysiology*, 24(4), 375-425.
- Nagel, I.E., Schumacher, E.H., Goebel, R., & D'Esposito, M. (2008). Functional MRI investigation of verbal selection mechanisms in lateral prefrontal cortex. *NeuroImage*, 43(4), 801-807.
- Naudin, M., Mondon, K., El-Hage, W., Perriot, E., Boudjarane, M., Desmidt, T., Lorette, A., et al. (2015). Taste identification used as a potential discriminative test among depression and Alzheimer's disease in elderly: A pilot study. *Psychiatry Research*, 228(2), 228-232.
- Neergardner, S.A., Stone, E.R., Cronin-Golomb, A., & Oross III, S. (2003). The impact of acuity on performance of four clinical measures of contrast sensitivity in Alzheimer's disease. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 58(1), P54-P62.
- Nebes, R.D. (1989). Semantic memory in Alzheimer's disease. *Psychological bulletin*, 106(3), 377.
- Nebes, R.D., & Brady, C.B. (1991). The effect of contextual constraint on semantic judgments by Alzheimer patients. *Cortex*, 27(2), 237-246.
- Nebes, R.D., Brady, C.B., & Huff, F.J. (1989). Automatic and attentional mechanisms of semantic priming in Alzheimer's disease. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 11(2), 219-230.
- Nebes, R.D., Martin, D.C., & Horn, L.C. (1984). Sparing of semantic memory in Alzheimer's disease. *Journal of Abnormal Psychology*, 93(3), 321.
- Nelson, D.L., McEvoy, C.L., & Schreiber, T.A. (2004). The University of South Florida free association, rhyme, and word fragment norms. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 36(3), 402-407.
- New, B., Brysbaert, M., Veronis, J., & Pallier, C. (2007). The use of film subtitles to estimate word frequencies. *Applied psycholinguistics*, 28(4), 661-677.
- Newcombe, P.I., Campbell, C., Siakaluk, P.D., & Pexman, P.M. (2012). Effects of emotional and sensorimotor knowledge in semantic processing of concrete and abstract nouns. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 275.

- Nigg, J.T. (2000). On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology: views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychological bulletin*, 126(2), 220.
- Nilsson, L.G. (2003). Memory function in normal aging. *Acta Neurologica Scandinavica*, 107, 7-13.
- Nobre, A.C., Allison, T., & McCarthy, G. (1994). Word recognition in the human inferior temporal lobe. *Nature*, 372(6503), 260-263.
- Noonan, K.A., Jefferies, E., Visser, M., & Lambon Ralph, M.A. (2013). Going beyond inferior prefrontal involvement in semantic control: evidence for the additional contribution of dorsal angular gyrus and posterior middle temporal cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 25(11), 1824-1850.
- Noppeney, U. (2009). The sensory-motor theory of semantics: Evidence from functional imaging. *Language and Cognition*, 1(2), 249-276.
- Nyberg, L., Bäckman, L., Erngrund, K., Olofsson, U., & Nilsson, L.-G. (1996). Age differences in episodic memory, semantic memory, and priming: Relationships to demographic, intellectual, and biological factors. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 51(4), P234-P240.
- Ober, B.A., & Shenaut, G.K. (1988). Lexical decision and priming in Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, 26(2), 273-286.
- Oberauer, K., Lewandowsky, S., Farrell, S., Jarrold, C., & Greaves, M. (2012). Modeling working memory: An interference model of complex span. *Psychonomic bulletin & review*, 19, 779-819.
- Oliver, R.T., Geiger, E.J., Lewandowski, B.C., & Thompson-Schill, S.L. (2009). Remembrance of things touched: How sensorimotor experience affects the neural instantiation of object form. *Neuropsychologia*, 47(1), 239-247.
- Oliver, R.T., & Thompson-Schill, S.L. (2003). Dorsal stream activation during retrieval of object size and shape. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 3(4), 309-322.
- Onoda, K., Ishihara, M., & Yamaguchi, S. (2012). Decreased functional connectivity by aging is associated with cognitive decline. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24(11), 2186-2198.
- Organisation des Nations Unies. (2019). *Perspectives de la population dans le monde 2019 : Principaux résultats*. <https://www.un.org/annualreport/2019/fr/>

- Organisation mondiale de la Santé. (2016). *Rapport mondial sur le vieillissement et la santé*. Organisation mondiale de la Santé. En ligne <https://apps.who.int/iris/handle/10665/206556>.
- Organisation Mondiale de la Santé. (2017). *Santé mentale et vieillissement*. En ligne <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/mental-health-of-older-adults>, consulté le 10/02/2023.
- Organisation Mondiale de la Santé. (2022). *Vieillesse et santé*. En ligne <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>, consulté le 10/02/2023.
- Organisation Mondiale de la Santé. (2023). *Démence*. En ligne <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/dementia>, consulté le 16/03/2023.
- Pachana, N.A., Byrne, G.J., Siddle, H., Koloski, N., Harley, E., & Arnold, E. (2007). Development and validation of the Geriatric Anxiety Inventory. *International psychogeriatrics*, 19(1), 103-114.
- Paivio, A. (1971). Imagery and language *Imagery* (pp. 7-32): Elsevier.
- Paivio, A. (1990). *Mental representations: A dual coding approach*: Oxford University Press.
- Paivio, A. (2010). Dual coding theory and the mental lexicon. *The Mental Lexicon*, 5(2), 205-230.
- Paivio, A. (2013). Dual coding theory, word abstractness, and emotion: a critical review of Kousta et al.(2011).
- Paivio, A., Yuille, J.C., & Madigan, S.A. (1968). Concreteness, imagery, and meaningfulness values for 925 nouns. *Journal of experimental psychology*, 76(1p2), 1.
- Paivio, A., Yuille, J.C., & Smythe, P.C. (1966). Stimulus and response abstractness, imagery, and meaningfulness, and reported mediators in paired-associate learning. *Canadian Journal of Psychology/Revue canadienne de psychologie*, 20(4), 362.
- Pappas, S.B., Bourgey, R., Boulangé, A., Getenet, J.-C., Simoes Loureiro, I., & Lefebvre, L. (2021). Évaluation multimodale courte des connaissances sémantiques dans le cadre de l'aphasie primaire progressive variant sémantique et la maladie d'Alzheimer. *Revue neurologique*, 177, S157.
- Paquet, C., Boissonnot, M., Roger, F., Dighiero, P., Gil, R., & Hugon, J. (2007). Abnormal retinal thickness in patients with mild cognitive impairment and Alzheimer's disease. *Neuroscience letters*, 420(2), 97-99.
- Park, D.C. (2000). The basic mechanisms accounting for age-related decline in cognitive function. *Cognitive aging: A primer*, 11(1), 3-19.

- Park, D.C., Polk, T.A., Mikels, J.A., Taylor, S.F., & Marshuetz, C. (2001). Cerebral aging: integration of brain and behavioral models of cognitive function. *Dialogues in clinical neuroscience*, 3(3), 151.
- Park, D.C., Polk, T.A., Park, R., Minear, M., Savage, A., & Smith, M.R. (2004). Aging reduces neural specialization in ventral visual cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(35), 13091-13095.
- Park, D.C., & Reuter-Lorenz, P. (2009). The adaptive brain: aging and neurocognitive scaffolding. *Annual review of psychology*, 60, 173-196.
- Park, H.L., O'Connell, J.E., & Thomson, R.G. (2003). A systematic review of cognitive decline in the general elderly population. *International journal of geriatric psychiatry*, 18(12), 1121-1134.
- Parra, M.A., Abrahams, S., Logie, R.H., & Della Sala, S. (2010). Visual short-term memory binding in Alzheimer's disease and depression. *Journal of neurology*, 257, 1160-1169.
- Patterson, K., Nestor, P.J., & Rogers, T.T. (2007). Where do you know what you know? The representation of semantic knowledge in the human brain. *Nature reviews neuroscience*, 8(12), 976-987.
- Patterson, K., & Ralph, M.A.L. (2016). The hub-and-spoke hypothesis of semantic memory *Neurobiology of language* (pp. 765-775): Elsevier.
- Patterson, K.E., Graham, N., & Hodges, J.R. (1994). Reading in dementia of the Alzheimer type: A preserved ability? *Neuropsychology*, 8(3), 395.
- Pauli, P., Bourne Jr, L.E., Diekmann, H., & Birbaumer, N. (1999). Cross-modality priming between odors and odor-congruent words. *The American Journal of Psychology*, 112(2), 175.
- Payer, D., Marshuetz, C., Sutton, B., Hebrank, A., Welsh, R.C., & Park, D.C. (2006). Decreased neural specialization in old adults on a working memory task. *Neuroreport*, 17(5), 487-491.
- Pecher, D. (2001). Perception is a two-way junction: Feedback semantics in word recognition. *Psychonomic bulletin & review*, 8(3), 545-551.
- Pecher, D., Boot, I., & Van Dantzig, S. (2011). Abstract concepts: Sensory-motor grounding, metaphors, and beyond *Psychology of learning and motivation* (Vol. 54, pp. 217-248): Elsevier.
- Pecher, D., Zeelenberg, R., & Barsalou, L.W. (2003). Verifying different-modality properties for concepts produces switching costs. *Psychological Science*, 14(2), 119-124.

- Pecher, D., & Zwaan, R.A. (2005). *Grounding cognition: The role of perception and action in memory, language, and thinking*: Cambridge University Press.
- Peiffer, A.M., Hugenschmidt, C.E., Maldjian, J.A., Casanova, R., Srikanth, R., Hayasaka, S., Burdette, J.H., et al. (2009). Aging and the interaction of sensory cortical function and structure. *Human brain mapping*, 30(1), 228-240.
- Peiffer, A.M., Mozolic, J.L., Hugenschmidt, C.E., & Laurienti, P.J. (2007). Age-related multisensory enhancement in a simple audiovisual detection task. *Neuroreport*, 18(10), 1077-1081.
- Perlmutter, M. (1978). What is memory aging the aging of? *Developmental psychology*, 14(4), 330.
- Perri, R., Carlesimo, G.A., Monaco, M., Caltagirone, C., & Zannino, G.D. (2019). The attribute priming effect in patients with Alzheimer's disease. *Journal of neuropsychology*, 13(3), 485-502.
- Perri, R., Carlesimo, G.A., Zannino, G.D., Mauri, M., Muolo, B., Pettenati, C., & Caltagirone, C. (2003). Intentional and automatic measures of specific-category effect in the semantic impairment of patients with Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, 41(11), 1509-1522.
- Perri, R., Zannino, G., Caltagirone, C., & Carlesimo, G. (2011). Semantic priming for coordinate distant concepts in Alzheimer's disease patients. *Neuropsychologia*, 49(5), 839-847.
- Perri, R., Zannino, G., Caltagirone, C., & Carlesimo, G.A. (2012). Alzheimer's disease and semantic deficits: A feature-listing study. *Neuropsychology*, 26(5), 652.
- Perry, C., Ziegler, J.C., & Zorzi, M. (2007). Nested incremental modeling in the development of computational theories: the CDP+ model of reading aloud. *Psychological review*, 114(2), 273.
- Perry, C., Ziegler, J.C., & Zorzi, M. (2010). Beyond single syllables: Large-scale modeling of reading aloud with the Connectionist Dual Process (CDP++) model. *Cognitive psychology*, 61(2), 106-151.
- Personnier, P., Ballay, Y., & Papaxanthis, C. (2010). Mentally represented motor actions in normal aging: III. Electromyographic features of imagined arm movements. *Behavioural brain research*, 206(2), 184-191.
- Persson, J., Lustig, C., Nelson, J.K., & Reuter-Lorenz, P.A. (2007). Age differences in deactivation: a link to cognitive control? *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(6), 1021-1032.

- Peters, F., Majerus, S., De Baerdemaeker, J., Salmon, E., & Collette, F. (2009). Impaired semantic knowledge underlies the reduced verbal short-term storage capacity in Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, 47(14), 3067-3073.
- Pexman, P.M. (2012). Meaning-based influences on visual word recognition. *Visual word recognition*, 2, 24-43.
- Pexman, P.M. (2019). The role of embodiment in conceptual development. *Language, Cognition and Neuroscience*, 34(10), 1274-1283.
- Pexman, P.M. (2020). How does meaning come to mind? Four broad principles of semantic processing. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 74(4), 275.
- Pexman, P.M., Diveica, V., & Binney, R.J. (2023). Social semantics: the organization and grounding of abstract concepts. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 378(1870), 20210363.
- Pexman, P.M., Hargreaves, I.S., Edwards, J.D., Henry, L.C., & Goodyear, B.G. (2007). The neural consequences of semantic richness. *Psychological Science*, 18(5), 401-406.
- Pexman, P.M., Hargreaves, I.S., Siakaluk, P.D., Bodner, G.E., & Pope, J. (2008). There are many ways to be rich: Effects of three measures of semantic richness on visual word recognition. *Psychonomic bulletin & review*, 15(1), 161-167.
- Pexman, P.M., Hino, Y., & Lupker, S.J. (2004). Semantic ambiguity and the process of generating meaning from print. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 30(6), 1252.
- Pexman, P.M., Holyk, G.G., & Monfils, M.-H. (2003). Number-of-features effects and semantic processing. *Memory & Cognition*, 31(6), 842-855.
- Pexman, P.M., & Lupker, S.J. (1999). Ambiguity and visual word recognition: Can feedback explain both homophone and polysemy effects? *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 53(4), 323.
- Pexman, P.M., Lupker, S.J., & Hino, Y. (2002). The impact of feedback semantics in visual word recognition: Number-of-features effects in lexical decision and naming tasks. *Psychonomic bulletin & review*, 9(3), 542-549.
- Pexman, P.M., Lupker, S.J., & Jared, D. (2001). Homophone effects in lexical decision. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 27(1), 139.
- Pexman, P.M., Lupker, S.J., & Reggin, L.D. (2002). Phonological effects in visual word recognition: investigating the impact of feedback activation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 28(3), 572.

- Pexman, P.M., Muraki, E., Sidhu, D.M., Siakaluk, P.D., & Yap, M.J. (2019). Quantifying sensorimotor experience: Body–object interaction ratings for more than 9,000 English words. *Behavior research methods*, 51(2), 453-466.
- Pexman, P.M., Siakaluk, P.D., & Yap, M.J. (2013a). Introduction to the research topic meaning in mind: semantic richness effects in language processing. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 723.
- Pexman, P.M., Siakaluk, P.D., & Yap, M.J. (2013b). Introduction to the research topic meaning in mind: semantic richness effects in language processing (Vol. 7, pp. 723): Frontiers Media SA.
- Phénix, T., Diard, J., & Valdois, S. (2016). Les modèles computationnels de lecture.
- Phillips, C.I., Sears, C.R., & Pexman, P.M. (2012). An embodied semantic processing effect on eye gaze during sentence reading. *Language and Cognition*, 4(2), 99-114.
- Piercey, C.D., & Joordens, S. (2000). Turning an advantage into a disadvantage: Ambiguity effects in lexical decision versus reading tasks. *Memory & Cognition*, 28(4), 657-666.
- Pillon, A., & Samson, D. (2014). L'évaluation des troubles sémantiques.
- Pistono, A., Guerrier, L., Péran, P., Rafiq, M., Giméno, M., Bézy, C., Pariente, J., et al. (2020). Increased functional connectivity supports language performance in healthy aging despite gray matter loss. *Neurobiology of aging*, 98, 52-62.
- Plaut, D. C., McClelland, J. L., Seidenberg, M. S., & Patterson, K. (1996). Understanding normal and impaired word reading: Computational principles in quasi-regular domains. *Psychological Review*, 103, 56–115.
- Plaut, D.C. (2002). Graded modality-specific specialisation in semantics: A computational account of optic aphasia. *Cognitive neuropsychology*, 19(7), 603-639.
- Pobric, G., Jefferies, E., & Ralph, M.A.L. (2007). Anterior temporal lobes mediate semantic representation: mimicking semantic dementia by using rTMS in normal participants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50), 20137-20141.
- Polis, B., & Samson, A.O. (2019). A new perspective on Alzheimer's disease as a brain expression of a complex metabolic disorder. *Alzheimer's Disease [Internet]*.
- Posner, M. (1986). Chronometric explorations of mind. NY. Oxford: Oxford University Press, 271, 9.
- Potter, L.M., Greal, M.A., & O'Connor, R.C. (2009). Healthy ageing, perceived motor-efficacy, and performance on cognitively demanding action tasks. *British Journal of Psychology*, 100(1), 49-70.

- Price, C.J. (2012). A review and synthesis of the first 20 years of PET and fMRI studies of heard speech, spoken language and reading. *NeuroImage*, 62(2), 816-847.
- Price, C.J., & Devlin, J.T. (2011). The interactive account of ventral occipitotemporal contributions to reading. *Trends in cognitive sciences*, 15(6), 246-253.
- Prince, M.J., Wimo, A., Guerchet, M.M., Ali, G.C., Wu, Y.-T., & Prina, M. (2015). World Alzheimer Report 2015-The Global Impact of Dementia: An analysis of prevalence, incidence, cost and trends.
- Pulvermüller, F., & Fadiga, L. (2010). Active perception: sensorimotor circuits as a cortical basis for language. *Nature reviews neuroscience*, 11(5), 351-360.
- Pulvermüller, F., & Garagnani, M. (2014). From sensorimotor learning to memory cells in prefrontal and temporal association cortex: a neurocomputational study of disembodiment. *Cortex*, 57, 1-21.
- Pulvermüller, F., Härle, M., & Hummel, F. (2001). Walking or talking?: Behavioral and neurophysiological correlates of action verb processing. *Brain and language*, 78(2), 143-168.
- Pulvermüller, F., Hauk, O., Nikulin, V.V., & Ilmoniemi, R.J. (2005). Functional links between motor and language systems. *European journal of Neuroscience*, 21(3), 793-797.
- Pulvermüller, F., Lutzenberger, W., & Preissl, H. (1999). Nouns and verbs in the intact brain: Evidence from event-related potentials and high-frequency cortical responses. *Cerebral cortex*, 9(5), 497-506.
- Pulvermüller, F., Shtyrov, Y., & Ilmoniemi, R. (2005). Brain signatures of meaning access in action word recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(6), 884-892.
- Pylyshyn, Z.W. (1973). What the mind's eye tells the mind's brain: A critique of mental imagery. *Psychological bulletin*, 80(1), 1.
- Quaranta, N., Coppola, F., Casulli, M., Barulli, O., Lanza, F., Tortelli, R., Capozzo, R., et al. (2014). The prevalence of peripheral and central hearing impairment and its relation to cognition in older adults. *Audiology and Neurotology*, 19(Suppl. 1), 10-14.
- Quillan, M.R. (1966). *Semantic memory*. Retrieved from
- Rabovsky, M., Schad, D.J., & Abdel Rahman, R. (2021). Semantic richness and density effects on language production: Electrophysiological and behavioral evidence. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 47(3), 508.
- Radvansky, G.A., & Dijkstra, K. (2007). Aging and situation model processing. *Psychonomic bulletin & review*, 14(6), 1027-1042.

- Raichle, M.E., MacLeod, A.M., Snyder, A.Z., Powers, W.J., Gusnard, D.A., & Shulman, G.L. (2001). A default mode of brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(2), 676-682.
- Räling, R., Hanne, S., Schröder, A., Keßler, C., & Wartenburger, I. (2017). Judging the animacy of words: The influence of typicality and age of acquisition in a semantic decision task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 70(10), 2094-2104.
- Räling, R., Holzgrefe-Lang, J., Schröder, A., & Wartenburger, I. (2015). On the influence of typicality and age of acquisition on semantic processing: Diverging evidence from behavioural and ERP responses. *Neuropsychologia*, 75, 186-200.
- Ralph, L., & MA, J. (2016). E., Patterson, K., & Rogers, TT (2016). The neural and computational bases of semantic cognition. *Nature reviews neuroscience*, 18(1), 42.
- Ramscar, M., Hendrix, P., Shaoul, C., Milin, P., & Baayen, H. (2014). The myth of cognitive decline: Non-linear dynamics of lifelong learning. *Topics in Cognitive Science*, 6(1), 5-42.
- Ramscar, M., Sun, C.C., Hendrix, P., & Baayen, H. (2017). The mismeasurement of mind: Life-span changes in paired-associate-learning scores reflect the “cost” of learning, not cognitive decline. *Psychological Science*, 28(8), 1171-1179.
- Ranganathan, V.K., Siemionow, V., Sahgal, V., & Yue, G.H. (2001). Effects of aging on hand function. *Journal of the American Geriatrics Society*, 49(11), 1478-1484.
- Rapoport, S. (1991). Positron emission tomography in Alzheimer's disease in relation to disease pathogenesis: a critical review. *Cerebrovascular and brain metabolism reviews*, 3(4), 297-335.
- Rastle, K. (2016). Visual word recognition *Neurobiology of language* (pp. 255-264): Elsevier.
- Rastle, K., & Brysbaert, M. (2006). Masked phonological priming effects in English: Are they real? Do they matter? *Cognitive psychology*, 53(2), 97-145.
- Rastle, K., Davis, M.H., Marslen-Wilson, W.D., & Tyler, L.K. (2000). Morphological and semantic effects in visual word recognition: A time-course study. *Language and cognitive processes*, 15(4-5), 507-537.
- Ratcliff, R., Thapar, A., Gomez, P., & McKoon, G. (2004). A diffusion model analysis of the effects of aging in the lexical-decision task. *Psychology and aging*, 19(2), 278.
- Rawson, N. (2003). Age-related changes in perception of flavor and aroma. *Generations*, 27(1), 20-26.
- Rawson, N.E. (2006). Olfactory loss in aging. *Science of Aging Knowledge Environment*, 2006(5), pe6-pe6.

- Raz, N. (2000). Aging of the brain and its impact on cognitive performance: Integration of structural and functional findings.
- Raz, N., Gunning, F.M., Head, D., Dupuis, J.H., McQuain, J., Briggs, S.D., Loken, W.J., et al. (1997). Selective aging of the human cerebral cortex observed in vivo: differential vulnerability of the prefrontal gray matter. *Cerebral cortex (New York, NY: 1991)*, 7(3), 268-282.
- Raz, N., Lindenberger, U., Rodrigue, K.M., Kennedy, K.M., Head, D., Williamson, A., Dahle, C., et al. (2005). Regional brain changes in aging healthy adults: general trends, individual differences and modifiers. *Cerebral cortex*, 15(11), 1676-1689.
- Raz, N., & Rodrigue, K.M. (2006). Differential aging of the brain: patterns, cognitive correlates and modifiers. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 30(6), 730-748.
- Raz, N., Williamson, A., Gunning-Dixon, F., Head, D., & Acker, J.D. (2000). Neuroanatomical and cognitive correlates of adult age differences in acquisition of a perceptual-motor skill. *Microscopy research and technique*, 51(1), 85-93.
- Recchia, G., & Louwerse, M.M. (2015). Reproducing affective norms with lexical co-occurrence statistics: Predicting valence, arousal, and dominance. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 68(8), 1584-1598.
- Reder, L.M., Park, H., & Kieffaber, P.D. (2009). Memory systems do not divide on consciousness: Reinterpreting memory in terms of activation and binding. *Psychological bulletin*, 135(1), 23.
- Reese, C.M., & Cherry, K.E. (2002). The effects of age, ability, and memory monitoring on prospective memory task performance. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 9(2), 98-113.
- Reilly, J., Peelle, J.E., Garcia, A., & Crutch, S.J. (2016). Linking somatic and symbolic representation in semantic memory: the dynamic multilevel reactivation framework. *Psychonomic bulletin & review*, 23(4), 1002-1014.
- Resnick, S.M., Pham, D.L., Kraut, M.A., Zonderman, A.B., & Davatzikos, C. (2003). Longitudinal magnetic resonance imaging studies of older adults: a shrinking brain. *Journal of Neuroscience*, 23(8), 3295-3301.
- Reuter-Lorenz, P.A., & Cappell, K.A. (2008). Neurocognitive aging and the compensation hypothesis. *Current directions in psychological science*, 17(3), 177-182.
- Rey, A.E., Dabic, S., Versace, R., & Navarro, J. (2016a). The Reactivation of Motion Influences Size Categorization in a Visuo-Haptic Illusion. *American Journal of Psychology*, 129(3), 235-244.

- Rey, A.E., Dabic, S., Versace, R., & Navarro, J. (2016b). The Reactivation of Motion Influences Size Categorization in a Visuo-Haptic Illusion. *The American Journal of Psychology*, 129(3), 235-244.
- 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.
- Rey, A.E., Riou, B., Muller, D., Dabic, S., & Versace, R. (2015). “The mask who wasn’t there”: Visual masking effect with the perceptual absence of the mask. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 41(2), 567.
- 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/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 71(1), 14.
- 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.
- Riou, B., Rey, A.E., Vallet, G.T., Cuny, C., & Versace, R. (2015). Perceptual processing affects the reactivation of a sensory dimension during a categorization task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 68(6), 1223-1230.
- Rissenberg, M., & Glanzer, M. (1987). Free recall and word finding ability in normal aging and senile dementia of the Alzheimer's type: The effect of item concreteness. *Journal of gerontology*, 42(3), 318-322.
- Robert, C., Dorot, D., & Mathey, S. (2012). Du campus au jardin: estimations de fréquence subjective auprès d’adultes jeunes et âgés pour 660 mots de la langue française. *L'Année psychologique*, 112(2), 227-246.
- 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, 39.
- Rodd, J.M., Davis, M.H., & Johnsrude, I.S. (2005). The neural mechanisms of speech comprehension: fMRI studies of semantic ambiguity. *Cerebral cortex*, 15(8), 1261-1269.
- Rodríguez-Ferreiro, J., Davies, R., González-Nosti, M., Barbón, A., & Cuetos, F. (2009). Name agreement, frequency and age of acquisition, but not grammatical class, affect object

- and action naming in Spanish speaking participants with Alzheimer's disease. *Journal of Neurolinguistics*, 22(1), 37-54.
- Rogers, S.L., & Friedman, R.B. (2008). The underlying mechanisms of semantic memory loss in Alzheimer's disease and semantic dementia. *Neuropsychologia*, 46(1), 12-21.
- Rogers, T.T., Lambon Ralph, M.A., Garrard, P., Bozeat, S., McClelland, J.L., Hodges, J.R., & Patterson, K. (2004). Structure and deterioration of semantic memory: a neuropsychological and computational investigation. *Psychological review*, 111(1), 205.
- Rogers, T.T., Patterson, K., Jefferies, E., & Ralph, M.A.L. (2015). Disorders of representation and control in semantic cognition: Effects of familiarity, typicality, and specificity. *Neuropsychologia*, 76, 220-239.
- Roll-Carpentier, N., Bonthoux, F., Charnallet, A. & Moreaud, O. (2003). L'apport des modèles développementaux dans la compréhension des troubles sémantiques de la maladie d'Alzheimer. *Revue Neurologique*, 159, 5S41.
- Roll-Carpentier, N., Bonthoux, F., & Kalénine, S. (2006). Vieillesse de l'organisation conceptuelle: accès aux propriétés des objets naturels et fabriqués. *Année psychologique*, 106(3), 27-47.
- Romani, C., Mcalpine, S., & Martin, R.C. (2008). Concreteness effects in different tasks: Implications for models of short-term memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(2), 292-323.
- Rönnlund, M., Nyberg, L., Bäckman, L., & Nilsson, L.-G. (2005). Stability, growth, and decline in adult life span development of declarative memory: cross-sectional and longitudinal data from a population-based study. *Psychology and aging*, 20(1), 3.
- Rosch, E., & Mervis, C.B. (1975). Family resemblances: Studies in the internal structure of categories. *Cognitive psychology*, 7(4), 573-605.
- Rosch, E., Mervis, C.B., Gray, W.D., Johnson, D.M., & Boyes-Braem, P. (1976). Basic objects in natural categories. *Cognitive psychology*, 8(3), 382-439.
- Rossi, J.-P. (2005). De la mémoire épisodique à la mémoire sémantique. D. Boeck, Éd.) *Psychologie de la mémoire*, 260.
- Rossi, J.-P. (2018). *Neuropsychologie de la mémoire*: De Boeck Supérieur.
- Rott, C. (1995). Sensorische und intellektuelle Entwicklung im Alter: Ergebnisse der Bonner Längsschnittstudie des Alterns (BOLSA). *Psychologie der Lebensalter*, 217-229.
- Rousseau, T. (2018). *Maladie d'Alzheimer et troubles de la communication*: Elsevier Health Sciences.

- Sabsevitz, D.S., Medler, D.A., Seidenberg, M., & Binder, J.R. (2005). Modulation of the semantic system by word imageability. *NeuroImage*, 27(1), 188-200.
- Sadoski, M., & Paivio, A. (2004). A dual coding theoretical model of reading. *Theoretical models and processes of reading*, 5, 1329-1362.
- Sailor, K., Antoine, M., Diaz, M., Kuslansky, G., & Kluger, A. (2004). The effects of Alzheimer's disease on item output in verbal fluency tasks. *Neuropsychology*, 18(2), 306.
- Saimpont, A., Pozzo, T., & Papaxanthis, C. (2009). Aging affects the mental rotation of left and right hands. *PloS one*, 4(8), e6714.
- Salamone, G., Di Lorenzo, C., Mosti, S., Lupo, F., Cravello, L., Palmer, K., Musicco, M., et al. (2009). Color discrimination performance in patients with Alzheimer's disease. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 27(6), 501-507.
- Salehi, M., Reisi, M., & Ghasisin, L. (2017). Lexical retrieval or semantic knowledge which one causes naming errors in patients with mild and moderate alzheimer's disease. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders Extra*, 7(3), 419-429.
- Salthouse, T.A. (1992). Influence of processing speed on adult age differences in working memory. *Acta psychologica*, 79(2), 155-170.
- Salthouse, T.A. (1994). The nature of the influence of speed on adult age differences in cognition. *Developmental psychology*, 30(2), 240.
- Salthouse, T.A. (1996a). Constraints on theories of cognitive aging. *Psychonomic bulletin & review*, 3(3), 287-299.
- Salthouse, T.A. (1996b). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological review*, 103(3), 403.
- Salthouse, T.A. (2000). Methodological assumptions in cognitive aging research. *The handbook of aging and cognition*, 2, 467-498.
- Salthouse, T.A. (2004). What and when of cognitive aging. *Current directions in psychological science*, 13(4), 140-144.
- Salthouse, T.A. (2012). *Adult cognition: An experimental psychology of human aging*: Springer Science & Business Media.
- Salthouse, T.A., & Babcock, R.L. (1991). Decomposing adult age differences in working memory. *Developmental psychology*, 27(5), 763.
- Santos, A., Chaigneau, S.E., Simmons, W.K., & Barsalou, L.W. (2011). Property generation reflects word association and situated simulation. *Language and Cognition*, 3(1), 83-119.

- Schacter, D.L., Savage, C.R., Alpert, N.M., Rauch, S.L., & Albert, M.S. (1996). The role of hippocampus and frontal cortex in age-related memory changes: a PET study. *Neuroreport*, 7(6), 1165-1169.
- Scheltens, P., Blennow, K., Breteler, M.M., De Strooper, B., Frisoni, G.B., Salloway, S., & Van der Flier, W.M. (2016). Alzheimer's disease. *The lancet*, 388(10043), 505-517.
- Schiffman, S., Graham, B., Sattely-Miller, E., Zervakis, J., & Welsh-Bohmer, K. (2002). Taste, smell and neuropsychological performance of individuals at familial risk for Alzheimer's disease. *Neurobiology of aging*, 23(3), 397-404.
- Schiffman, S.S. (1997). Taste and smell losses in normal aging and disease. *Jama*, 278(16), 1357-1362.
- Schiffman, S.S., Clark, C.M., & Warwick, Z.S. (1990). Gustatory and olfactory dysfunction in dementia: not specific to Alzheimer's disease. *Neurobiology of aging*, 11(6), 597-600.
- Schneider, B.A., & Pichora-Fuller, M.K. (2000). Implications of perceptual deterioration for cognitive aging research.
- Schneider, W. (1993). Varieties of working memory as seen in biology and in connectionist/control architectures. *Memory & Cognition*, 21(2), 184-192.
- Schneider, W., & Detweiler, M. (1988). A connectionist/control architecture for working memory *Psychology of learning and motivation* (Vol. 21, pp. 53-119): Elsevier.
- Schroyen, S., Missotten, P., Jerusalem, G., Gilles, C., & Adam, S. (2016). Ageism and caring attitudes among nurses in oncology. *International psychogeriatrics*, 28(5), 749-757.
- Schuff, N., Woerner, N., Boreta, L., Kornfield, T., Shaw, L., Trojanowski, J., Thompson, P., et al. (2009). MRI of hippocampal volume loss in early Alzheimer's disease in relation to ApoE genotype and biomarkers. *Brain*, 132(4), 1067-1077.
- Schwanenflugel, P.J., & Stowe, R.W. (1989). Context availability and the processing of abstract and concrete words in sentences. *Reading Research Quarterly*, 114-126.
- Scialfa, C.T. (2002). The role of sensory factors in cognitive aging research. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 56(3), 153.
- Sciensano (2022). *La démence devient la principale cause de décès en Belgique*. En ligne <https://www.sciensano.be/fr/coin-presse/la-demence-devient-la-principale-cause-de-deces-en-belgique>.
- Seidenberg, M.S. (2005). Connectionist models of word reading. *Current directions in psychological science*, 14(5), 238-242.

- Seidenberg, M.S., & McClelland, J.L. (1989). A distributed, developmental model of word recognition and naming. *Psychological review*, 96(4), 523.
- Seidenberg, M.S., Waters, G.S., Sanders, M., & Langer, P. (1984). Pre-and postlexical loci of contextual effects on word recognition. *Memory & Cognition*, 12(4), 315-328.
- Sémédard, M. (2020). *Effets de la méthode Semantic Features Analysis (SFA) sur l'anomie dans une tâche de dénomination chez une patiente présentant une maladie d'Alzheimer au stade modérément sévère : Étude de cas* [Memoire pour l'obtention du Certificat de Capacité d'Orthophoniste]. Université de Bordeaux. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03087103/document>.
- Semiz, M., Miceli, A., Basaglia-Pappas, S., & Simoes Loureiro, I. (2023). Investigation de l'effet de la Semantic Feature Analysis sur le manque du mot au stade débutant de la maladie d'Alzheimer: études de cas. *Glossa*, 93-130.
- Serby, M., Larson, P., & Kalkstein, D.S. (1991). The nature and course of olfactory deficits in Alzheimer's disease. *The American journal of psychiatry*.
- Sereno, S.C., & Rayner, K. (2003). Measuring word recognition in reading: eye movements and event-related potentials. *Trends in cognitive sciences*, 7(11), 489-493.
- Serrano-Pozo, A., Frosch, M.P., Masliah, E., & Hyman, B.T. (2011). Neuropathological alterations in Alzheimer disease. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*, 1(1), a006189.
- Shapiro, L. (2010). *Embodied cognition*: Routledge.
- Shtyrov, Y., Hauk, O., & Pulvermüller, F. (2004). Distributed neuronal networks for encoding category-specific semantic information: the mismatch negativity to action words. *European journal of Neuroscience*, 19(4), 1083-1092.
- Shulman, H.G., & Davidson, T.C. (1977). Control properties of semantic coding in a lexical decision task. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 16(1), 91-98.
- Siakaluk, P.D., Pexman, P.M., Aguilera, L., Owen, W.J., & Sears, C.R. (2008). Evidence for the activation of sensorimotor information during visual word recognition: The body-object interaction effect. *Cognition*, 106(1), 433-443.
- Siakaluk, P.D., Pexman, P.M., Sears, C.R., Wilson, K., Locheed, K., & Owen, W.J. (2008). The benefits of sensorimotor knowledge: Body-object interaction facilitates semantic processing. *Cognitive Science*, 32(3), 591-605.
- Sidhu, D.M., Kwan, R., Pexman, P.M., & Siakaluk, P.D. (2014). Effects of relative embodiment in lexical and semantic processing of verbs. *Acta psychologica*, 149, 32-39.

- Sidhu, D. M., Heard, A., & Pexman, P. M. (2016). Is more always better for verbs? Semantic richness effects and verb meaning. *Frontiers in Psychology*, 7(798). doi:10.3389/fpsyg.2016. 00798.
- Silveri, M.C., Cappa, A., Mariotti, P., & Puopolo, M. (2002). Naming in patients with Alzheimer's disease: Influence of age of acquisition and categorical effects. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 24(6), 755-764.
- Silveri, M.C., Daniele, A., Giustolisi, L., & Gainotti, G. (1991). Dissociation between knowledge of living and nonliving things in dementia of the Alzheimer type. *Neurology*, 41(4), 545-545.
- Simmons, W.K., & Barsalou, L.W. (2003). The similarity-in-topography principle: Reconciling theories of conceptual deficits. *Cognitive neuropsychology*, 20(3-6), 451-486.
- Simmons, W.K., Hamann, S.B., Harenski, C.L., Hu, X.P., & Barsalou, L.W. (2008). fMRI evidence for word association and situated simulation in conceptual processing. *Journal of Physiology-Paris*, 102(1-3), 106-119.
- Simmons, W.K., Ramjee, V., Beauchamp, M.S., McRae, K., Martin, A., & Barsalou, L.W. (2007). A common neural substrate for perceiving and knowing about color. *Neuropsychologia*, 45(12), 2802-2810.
- Simoès Loureiro, I., & Lefebvre, L. (2015). The SQK: a semantic knowledge questionnaire to specify the severity of semantic deterioration in Alzheimer's disease patients. *Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie du Vieillissement*, 13(2), 225-233.
- Simoès Loureiro, I., & Lefebvre, L. (2016). Distinct progression of the deterioration of thematic and taxonomic links in natural and manufactured objects in Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, 91, 426-434.
- Simoès Loureiro, I., Taverne, M., & Lefebvre, L. (2018). Le mini-QCS: un outil de dépistage rapide des troubles de la mémoire sémantique de la maladie d'Alzheimer. *Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie du Vieillissement*, 16(4), 429-438.
- Simoès Loureiro, I., Taverne, M., Malou, V., Basaglia-Pappas, S., Besin, R., Invernizzi, S., & Lefebvre, L. (2021). Présentation du test court de dénomination adapté à la maladie d'Alzheimer (TCD-MA). *Revue de neuropsychologie*, 13(3), 214-222.
- Simon, G., Bernard, C., Largy, P., Lalonde, R., & Rebai, M. (2004). Chronometry of visual word recognition during passive and lexical decision tasks: an ERP investigation. *International Journal of Neuroscience*, 114(11), 1401-1432.
- Ska, B., Martin, C-O., Demers, C., Kahlaoui, K. (2011). Vieillissement normal et plasticité cérébrale pour le langage : données de la neuroimagerie fonctionnelle. Dans D. Brouillet

- (dir.), *Le vieillissement cognitif normal, maintenir l'autonomie de la personne âgée* (1, 38-47). De boeck.
- Skelton-Robinson, M., & Jones, S. (1984). Nominal dysphasia and the severity of senile dementia. *The British Journal of Psychiatry*, 145(2), 168-171.
- Skoura, X., Personnier, P., Vinter, A., Pozzo, T., & Papaxanthis, C. (2008). Decline in motor prediction in elderly subjects: right versus left arm differences in mentally simulated motor actions. *Cortex*, 44(9), 1271-1278.
- Smith, C.D., Umberger, G., Manning, E., Slevin, J., Wekstein, D., Schmitt, F., Markesbery, W., et al. (1999). Critical decline in fine motor hand movements in human aging. *Neurology*, 53(7), 1458-1458.
- Smith, E.E., Shoben, E.J., & Rips, L.J. (1974). Structure and process in semantic memory: A featural model for semantic decisions. *Psychological review*, 81(3), 214.
- Solomon, K.O., & Barsalou, L.W. (2004). Perceptual simulation in property verification. *Memory & Cognition*, 32(2), 244-259.
- Spaniol, J., Madden, D.J., & Voss, A. (2006). A diffusion model analysis of adult age differences in episodic and semantic long-term memory retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32(1), 101.
- Speed, L., & Brysbaert, M. (2020). Dutch sensory modality norms.
- Speed, L.J., & Brybaert, M. (2021). Dutch sensory modality norms. *Behavior research methods*, 1-13.
- Speed, L.J., & Majid, A. (2017). Dutch modality exclusivity norms: Simulating perceptual modality in space. *Behavior research methods*, 49(6), 2204-2218.
- Spence, C., Nicholls, M.E., & Driver, J. (2001). The cost of expecting events in the wrong sensory modality. *Perception & Psychophysics*, 63(2), 330-336.
- Spence, C., Shore, D.I., & Klein, R.M. (2001). Multisensory prior entry. *Journal of experimental psychology: General*, 130(4), 799.
- Sperling, R.A., Aisen, P.S., Beckett, L.A., Bennett, D.A., Craft, S., Fagan, A.M., Iwatsubo, T., et al. (2011). Toward defining the preclinical stages of Alzheimer's disease: Recommendations from the National Institute on Aging-Alzheimer's Association workgroups on diagnostic guidelines for Alzheimer's disease. *Alzheimer's & dementia*, 7(3), 280-292.
- Spielberger, C.D., Gorsuch, R.L., Lushene, R., Vagg, P.R., & Jacobs, G.A. (1983). Manual for the state-trait anxiety inventory (Palo Alto, CA, Consulting Psychologists Press). *Inc.*

- Spreng, R.N., & Turner, G.R. (2019). The shifting architecture of cognition and brain function in older adulthood. *Perspectives on psychological science*, 14(4), 523-542.
- Spreng, R.N., Wojtowicz, M., & Grady, C.L. (2010). Reliable differences in brain activity between young and old adults: a quantitative meta-analysis across multiple cognitive domains. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(8), 1178-1194.
- Squire, L.R. (1987). *Memory and brain*: Oxford University Press.
- Squire, L.R., Knowlton, B., & Musen, G. (1993). The structure and organization of memory. *Annual review of psychology*, 44(1), 453-495.
- Stanciu, I., Larsson, M., Nordin, S., Adolfsson, R., Nilsson, L.-G., & Olofsson, J.K. (2014). Olfactory impairment and subjective olfactory complaints independently predict conversion to dementia: a longitudinal, population-based study. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 20(2), 209-217.
- Stanfield, R.A., & Zwaan, R.A. (2001). The effect of implied orientation derived from verbal context on picture recognition. *Psychological Science*, 12(2), 153-156.
- Stankov, L., & Anstey, K. (1997). Health and cognitive ageing: The emerging role of sensorimotor abilities. *Australian Journal on Ageing*, 16(1), 34-39.
- Stein, B.E., & Meredith, M.A. (1990). Multisensory integration: Neural and behavioral solutions for dealing with stimuli from different sensory modalities. *Annals of the New York Academy of Sciences*.
- Stein, B.E., & Stanford, T.R. (2008). Multisensory integration: current issues from the perspective of the single neuron. *Nature reviews neuroscience*, 9(4), 255-266.
- Steinbach, S., Hundt, W., Vaitl, A., Heinrich, P., Förster, S., Bürger, K., & Zahnert, T. (2010). Taste in mild cognitive impairment and Alzheimer's disease. *Journal of neurology*, 257, 238-246.
- Stephen, J.M., Montaña, R., Donahue, C.H., Adair, J.C., Knoefel, J., Qualls, C., Hart, B., et al. (2010). Somatosensory responses in normal aging, mild cognitive impairment, and Alzheimer's disease. *Journal of Neural Transmission*, 117, 217-225.
- Stern, Y. (2002). What is cognitive reserve? Theory and research application of the reserve concept. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 8(3), 448-460.
- Stern, Y. (2009). Cognitive reserve. *Neuropsychologia*, 47(10), 2015-2028.
- Stevens, A., Kircher, T., Nickola, M., Bartels, M., Rosellen, N., & Wormstall, H. (2001). Dynamic regulation of EEG power and coherence is lost early and globally in probable DAT. *European archives of psychiatry and clinical neuroscience*, 251, 199-204.

- Stine-Morrow, E.A., Miller, L.M.S., & Hertzog, C. (2006). Aging and self-regulated language processing. *Psychological bulletin*, 132(4), 582.
- Stoub, T.R., deToledo-Morrell, L., Stebbins, G.T., Leurgans, S., Bennett, D.A., & Shah, R.C. (2006). Hippocampal disconnection contributes to memory dysfunction in individuals at risk for Alzheimer's disease. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(26), 10041-10045.
- Strain, E., Patterson, K., & Seidenberg, M.S. (1995). Semantic effects in single-word naming. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21(5), 1140.
- Sunderland, T., Linker, G., Mirza, N., Putnam, K.T., Friedman, D.L., Kimmel, L.H., Bergeson, J., et al. (2003). Decreased β -amyloid1-42 and increased tau levels in cerebrospinal fluid of patients with Alzheimer disease. *Jama*, 289(16), 2094-2103.
- Swords, G.M., Nguyen, L.T., Mudar, R.A., & Llano, D.A. (2018). Auditory system dysfunction in Alzheimer disease and its prodromal states: A review. *Ageing research reviews*, 44, 49-59.
- Tabert, M.H., Liu, X., Doty, R.L., Serby, M., Zamora, D., Pelton, G.H., Marder, K., et al. (2005). A 10-item smell identification scale related to risk for Alzheimer's disease. *Annals of neurology*, 58(1), 155-160.
- Taikh, A., Hargreaves, I.S., Yap, M.J., & Pexman, P.M. (2015). Semantic classification of pictures and words. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 68(8), 1502-1518.
- Taler, V., Klepousniotou, E., & Phillips, N.A. (2009). Comprehension of lexical ambiguity in healthy aging, mild cognitive impairment, and mild Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, 47(5), 1332-1343.
- Taler, V., Kousaie, S., & López Zunini, R. (2013). ERP measures of semantic richness: the case of multiple senses. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 5.
- Tales, A., Butler, S., Fossey, J., Gilchrist, I.D., Jones, R., & Troscianko, T. (2002). Visual search in Alzheimer's disease: a deficiency in processing conjunctions of features. *Neuropsychologia*, 40(12), 1849-1857.
- Taljaard, D.S., Olaithe, M., Brennan-Jones, C.G., Eikelboom, R.H., & Bucks, R.S. (2016). The relationship between hearing impairment and cognitive function: a meta-analysis in adults. *Clinical Otolaryngology*, 41(6), 718-729.
- Talsma, D. (2015). Predictive coding and multisensory integration: an attentional account of the multisensory mind. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 9, 19.

- Talsma, D., Senkowski, D., Soto-Faraco, S., & Woldorff, M.G. (2010). The multifaceted interplay between attention and multisensory integration. *Trends in cognitive sciences*, 14(9), 400-410.
- Tanaka, T., Noriyasu, S., Ino, S., Ifukube, T., & Nakata, M. (1996). Objective method to determine the contribution of the great toe to standing balance and preliminary observations of age-related effects. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, 4(2), 84-90.
- Tarkiainen, A., Cornelissen, P.L., & Salmelin, R. (2002). Dynamics of visual feature analysis and object-level processing in face versus letter-string perception. *Brain*, 125(5), 1125-1136.
- Team, R. (2015). RStudio: integrated development for R. Boston, MA: RStudio: Inc.
- Thiebaut de Schotten, M., Cohen, L., Amemiya, E., Braga, L.W., & Dehaene, S. (2014). Learning to read improves the structure of the arcuate fasciculus. *Cerebral cortex*, 24(4), 989-995.
- Thomas-Anterion, C., & Laurent, B. (2006). Les marqueurs neuropsychologiques du diagnostic de la maladie d'Alzheimer. *Revue neurologique*, 162(10), 913-920.
- Thompson-Schill, S.L. (2003). Neuroimaging studies of semantic memory: inferring “how” from “where”. *Neuropsychologia*, 41(3), 280-292.
- Thompson-Schill, S.L., D'Esposito, M., Aguirre, G.K., & Farah, M.J. (1997). Role of left inferior prefrontal cortex in retrieval of semantic knowledge: a reevaluation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94(26), 14792-14797.
- Thompson-Schill, S.L., Gabrieli, J.D., & Fleischman, D.A. (1999). Effects of structural similarity and name frequency on picture naming in Alzheimer's disease. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 5(7), 659-667.
- Thompson, L., & Malloy, D. (2004). Attention resources and visible speech encoding in older and younger adults. *Experimental aging research*, 30(3), 241-252.
- Thompson, P.M., Hayashi, K.M., De Zubicaray, G., Janke, A.L., Rose, S.E., Semple, J., Herman, D., et al. (2003). Dynamics of gray matter loss in Alzheimer's disease. *Journal of Neuroscience*, 23(3), 994-1005.
- Tillotson, S.M., Siakaluk, P.D., & Pexman, P.M. (2008). Body—object interaction ratings for 1,618 monosyllabic nouns. *Behavior research methods*, 40(4), 1075-1078.
- Tippett, L.J., Grossman, M., & Farah, M.J. (1996). The semantic memory impairment of Alzheimer's disease: Category-specific? *Cortex*, 32(1), 143-153.

- Tippett, L.J., Meier, S.L., Blackwood, K., & Diaz-Asper, C. (2007). Category specific deficits in Alzheimer's disease: fact or artefact? *Cortex*, 43(7), 907-920.
- Tippett, W.J., & Sergio, L.E. (2006). Visuomotor integration is impaired in early stage Alzheimer's disease. *Brain research*, 1102(1), 92-102.
- To, M., Baddeley, R.J., Troscianko, T., & Tolhurst, D. (2011). A general rule for sensory cue summation: Evidence from photographic, musical, phonetic and cross-modal stimuli. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278(1710), 1365-1372.
- Toglia, M.P., & Battig, W.F. (1978). *Handbook of semantic word norms*: Lawrence Erlbaum.
- Tomasi, D., & Volkow, N.D. (2012). Aging and functional brain networks. *Molecular psychiatry*, 17(5), 549-558.
- Toner, C.K., Reese, B.E., Neargarder, S., Riedel, T.M., Gilmore, G.C., & Cronin-Golomb, A. (2012). Vision-fair neuropsychological assessment in normal aging, Parkinson's disease and Alzheimer's disease. *Psychology and aging*, 27(3), 785.
- Tousignant, C., & Pexman, P.M. (2012). Flexible recruitment of semantic richness: context modulates body-object interaction effects in lexical-semantic processing. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 53.
- Tremblay, F., Wong, K., Sanderson, R., & Côté, L. (2003). Tactile spatial acuity in elderly persons: assessment with grating domes and relationship with manual dexterity. *Somatosensory & motor research*, 20(2), 127-132.
- Trick, G.L., Trick, L.R., Morris, P., & Wolf, M. (1995). Visual field loss in senile dementia of the Alzheimer's type. *Neurology*, 45(1), 68-74.
- Trumpf, N.M., Kliese, D., Hoenig, K., Haarmeier, T., & Kiefer, M. (2013). Losing the sound of concepts: Damage to auditory association cortex impairs the processing of sound-related concepts. *Cortex*, 49(2), 474-486.
- Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. In W. Tulving, E., Donaldson (Eds.), *Organization of Memory* (pp. 381–403). New York : Academic Press.
- Tulving, E. (1995). Organization of memory: quo vadis? In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences* (pp. 839–853). The MIT Press.
- Tun, P.A., & Wingfield, A. (1993). Is speech special? Perception and recall of spoken language in complex environments.
- Turatto, M., Galfano, G., Bridgeman, B., & Umiltà, C. (2004). Space-independent modality-driven attentional capture in auditory, tactile and visual systems. *Experimental Brain Research*, 155(3), 301-310.

- Turner, G.R., & D'Esposito, M. (2011). Functional neuroimaging in aging. *Clinical neurology of aging*, 105-112.
- Turner, G.R., & Spreng, R.N. (2015). Prefrontal engagement and reduced default network suppression co-occur and are dynamically coupled in older adults: the default–executive coupling hypothesis of aging. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 27(12), 2462-2476.
- Tyler, L.K., & Moss, H.E. (2001). Towards a distributed account of conceptual knowledge. *Trends in cognitive sciences*, 5(6), 244-252.
- Tyler, L.K., Moss, H.E., Durrant-Peatfield, M., & Levy, J. (2000). Conceptual structure and the structure of concepts: A distributed account of category-specific deficits. *Brain and language*, 75(2), 195-231.
- Tzekov, R., & Mullan, M. (2014). Vision function abnormalities in Alzheimer disease. *Survey of Ophthalmology*, 59(4), 414-433.
- Umanath, S., & Marsh, E.J. (2014). Understanding how prior knowledge influences memory in older adults. *Perspectives on psychological science*, 9(4), 408-426.
- Uttl, B. (2002). North American Adult Reading Test: age norms, reliability, and validity. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 24(8), 1123-1137.
- Uylings, H.B., & De Brabander, J. (2002). Neuronal changes in normal human aging and Alzheimer's disease. *Brain and cognition*, 49(3), 268-276.
- Valentijn, S.A., Van Boxtel, M.P., Van Hooren, S.A., Bosma, H., Beckers, H.J., Ponds, R.W., & Jolles, J. (2005). Change in sensory functioning predicts change in cognitive functioning: Results from a 6-year follow-up in the Maastricht Aging Study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 53(3), 374-380.
- Valentine, T., Block, C., Eversole, K., Boxley, L., & Dawson, E. (2020). Wechsler Adult Intelligence Scale-IV (WAIS-IV). *The Wiley Encyclopedia of Personality and Individual Differences: Measurement and Assessment*, 457-463.
- Vallet, G.T. (2020). *Une approche incarnée et située du vieillissement cognitif* [Habilitation à diriger des recherches]. Université Clermont Auvergne.
- Vallet, G.T. (2021, 20-21 mai). *Vieillissement cognitif incarné : Une mémoire pleine de sens* [conférence]. Journées d'Etude du Vieillissement, Lyon, France. <https://www.gtvallet.com/fr/talk/vieillissement-cognitif-incarne-une-memoire-pleine-de-sens/>
- Vallet, G., Brunel, L., & Versace, R. (2010). The perceptual nature of the cross-modal priming effect. *Experimental Psychology*, 57, 376-382.

- Vallet, G., Simard, M., Fortin, C., Versace, R., & Mazza, S. (2011). L'altération des connaissances sémantiques est-elle liée à une altération du traitement perceptif? Étude des atteintes catégories-spécifiques dans la démence sémantique. *Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie du Vieillessement*, 9(3), 327-335.
- 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. (2015). Embodied cognition of aging. *Frontiers in psychology*, 6, 463.
- Vallet, G.T., Hudon, C., Bier, N., Macoir, J., Versace, R., & Simard, M. (2017). A SEMantic and episodic memory test (SEMEP) developed within the embodied cognition framework: Application to normal aging, Alzheimer's disease and semantic dementia. *Frontiers in psychology*, 8, 1493.
- Vallet, G.T., Hudon, C., Simard, M., & Versace, R. (2013). The disconnection syndrome in the Alzheimer's disease: The cross-modal priming example. *Cortex*, 49(9), 2402-2415.
- Vallet, G.T., Rouleau, I., Benoit, S., Langlois, R., Barbeau, E.J., & Joubert, S. (2016). Alzheimer's disease and memory strength: Gradual decline of memory traces as a function of their strength. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 38(6), 648-660.
- Van Dantzig, S., Pecher, D., Zeelenberg, R., & Barsalou, L.W. (2008). Perceptual processing affects conceptual processing. *Cognitive Science*, 32(3), 579-590.
- Van der Linden, M., Wijns, C., von Frenckell, R., Coyette, F., & Seron, X. (1989). Un questionnaire d'auto-évaluation de la mémoire (QAM).
- Van Havermaet, L.R., & Wurm, L.H. (2014). Semantic effects in word recognition are moderated by body-object interaction. *The Mental Lexicon*, 9(1), 1-22.
- Van Petten, C., & Luka, B.J. (2012). Prediction during language comprehension: Benefits, costs, and ERP components. *International Journal of Psychophysiology*, 83(2), 176-190.
- Varela, F. J. (1996). *Invitation aux sciences cognitives*. Paris, France : Points.
- Vecchio, F., & Määttä, S. (2011). The use of auditory event-related potentials in Alzheimer's disease diagnosis. *International journal of Alzheimer's disease*, 2011.
- Venkatesan, U.M., Festa, E.K., Ott, B.R., & Heindel, W.C. (2018). Differential contributions of selective attention and sensory integration to driving performance in healthy aging and Alzheimer's disease. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 24(5), 486-497.

- Verfaellie, M., Keane, M.M., & Johnson, G. (2000). Preserved priming in auditory perceptual identification in Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, 38(12), 1581-1592.
- Vergallito, A., Petilli, M.A., & Marelli, M. (2020). Perceptual modality norms for 1,121 Italian words: A comparison with concreteness and imageability scores and an analysis of their impact in word processing tasks. *Behavior research methods*, 1-18.
- Verhaeghen, P. (2003). Aging and vocabulary score: A meta-analysis. *Psychology and aging*, 18(2), 332.
- Verhaeghen, P., & Cerella, J. (2002). Aging, executive control, and attention: A review of meta-analyses. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 26(7), 849-857.
- Verhaeghen, P., Cerella, J., Bopp, K.L., & Basak, C. (2005). Aging and Varieties of Cognitive Control: A Review of Meta-Analyses on Resistance to Interference, Coordination, and Task Switching, and an Experimental Exploration of Age-Sensitivity in the Newly Identified Process of Focus Switching.
- Verhaeghen, P., Cerella, J., Semenec, S.C., Leo, M.A., Bopp, K.L., & Steitz, D.W. (2002). Cognitive efficiency modes in old age: Performance on sequential and coordinative verbal and visuospatial tasks. *Psychology and aging*, 17(4), 558.
- Vermeulen, N., Niedenthal, P.M., & Luminet, O. (2007). Switching between sensory and affective systems incurs processing costs. *Cognitive Science*, 31(1), 183-192.
- Versace, R., Brouillet, D., & Vallet, G. (2018). *Cognition incarnée: Une cognition située et projetée*: Mardaga.
- Versace, R., Labeye, E., Badard, G., & Rose, M. (2009). The contents of long-term memory and the emergence of knowledge. *European journal of cognitive psychology*, 21(4), 522-560.
- Versace, R., Vallet, G.T., Riou, B., Lesourd, M., Labeye, E., & Brunel, L. (2014). Act-In: An integrated view of memory mechanisms. *Journal of Cognitive Psychology*, 26(3), 280-306.
- Victorri, B. (1996). Modèles connexionnistes de la mémoire, in Eustache, F., Lechevalier, B. et Viader, F., *La mémoire : Neuropsychologie clinique et modèles cognitifs*, Bruxelles, De Boeck, 371-387.
- Vieira, A.I., Nogueira, D., de Azevedo Reis, E., da Lapa Rosado, M., Nunes, M.V., & Castro-Caldas, A. (2016). Hand tactile discrimination, social touch and frailty criteria in elderly people: A cross sectional observational study. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 66, 73-81.

- Vigliocco, G., Meteyard, L., Andrews, M., & Kousta, S. (2009). Toward a theory of semantic representation. *Language and Cognition*, 1(2), 219-247.
- Vigliocco, G., Vinson, D.P., Lewis, W., & Garrett, M.F. (2004). Representing the meanings of object and action words: The featural and unitary semantic space hypothesis. *Cognitive psychology*, 48(4), 422-488.
- Vignando, M., Aiello, M., Foroni, F., Marcon, G., Tettamanti, M., & Rumiati, R.I. (2018). How experience modulates semantic memory for food: evidence from elderly adults and centenarians. *Scientific reports*, 8(1), 1-9.
- Vigouroux-Zugasti, E. (2014). ? Quel regard sur les «vieux»? Approche communicationnelle du lien social chez les Boomers in bloom. *Communication et organisation*, 45, 261-270.
- Vinckier, F., Dehaene, S., Jobert, A., Dubus, J.P., Sigman, M., & Cohen, L. (2007). Hierarchical coding of letter strings in the ventral stream: dissecting the inner organization of the visual word-form system. *Neuron*, 55(1), 143-156.
- Warrington, E.K., & Cipolotti, L. (1996). Word comprehension: The distinction between refractory and storage impairments. *Brain*, 119(2), 611-625.
- Warrington, E.K., & McCarthy, R.A. (1987). Categories of knowledge: Further fractionations and an attempted integration. *Brain*, 110(5), 1273-1296.
- Warrington, E.K., & Shallice, T. (1984). Category specific semantic impairments. *Brain*, 107(3), 829-853.
- Wasserstein, R.L., & Lazar, N.A. (2016). The ASA statement on p-values: context, process, and purpose (Vol. 70, pp. 129-133): Taylor & Francis.
- Watson, C.E., & Chatterjee, A. (2011). The functional neuroanatomy of actions. *Neurology*, 76(16), 1428-1434.
- Weiffenbach, J.M. (1984). Taste and Smell Perception in Aging 1. *Gerodontology*, 3(2), 137-146.
- Weiner, M.F., Neubecker, K.E., Bret, M.E., & Hynan, L.S. (2008). Language in Alzheimer's disease. *Journal of Clinical Psychiatry*, 69(8), 1223-1227.
- Weisberg, J., Van Turenout, M., & Martin, A. (2007). A neural system for learning about object function. *Cerebral cortex*, 17(3), 513-521.
- Weiskopf, D. (2007). Concept empiricism and the vehicles of thought. *Journal of Consciousness Studies*, 14(9-10), 156-183.
- Wellsby, M., & Pexman, P.M. (2014). Developing embodied cognition: Insights from children's concepts and language processing. *Frontiers in psychology*, 5, 506.

- West, R.L. (1996). An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. *Psychological bulletin*, 120(2), 272.
- Westfall, J., Kenny, D.A., & Judd, C.M. (2014). Statistical power and optimal design in experiments in which samples of participants respond to samples of stimuli. *Journal of experimental psychology: General*, 143(5), 2020.
- Whalley, L.J., Dick, F.D., & McNeill, G. (2006). A life-course approach to the aetiology of late-onset dementias. *The Lancet Neurology*, 5(1), 87-96.
- Whatmough, C., Chertkow, H., Murtha, S., Templeman, D., Babins, L., & Kelner, N. (2003). The semantic category effect increases with worsening anomia in Alzheimer's type dementia. *Brain and language*, 84(1), 134-147.
- Whittaker, K., Burdon, M., & Shah, P. (2002). Visual field loss and Alzheimer's disease. *Eye*, 16(2), 206-208.
- Wickremaratchi, M., & Llewelyn, J.G. (2006). Effects of ageing on touch. *Postgraduate medical journal*, 82(967), 301-304.
- Wiesman, A.I., Mundorf, V.M., Casagrande, C.C., Wolfson, S.L., Johnson, C.M., May, P.E., Murman, D.L., et al. (2021). Somatosensory dysfunction is masked by variable cognitive deficits across patients on the Alzheimer's disease spectrum. *EBioMedicine*, 73, 103638.
- Wijk, H., Berg, S., Sivik, L., & Steen, B. (1999). Colour discrimination, colour naming and colour preferences among individuals with Alzheimer's disease. *International journal of geriatric psychiatry*, 14(12), 1000-1005.
- Wilson, A.D., & Golonka, S. (2013). Embodied cognition is not what you think it is. *Frontiers in psychology*, 4, 58.
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic bulletin & review*, 9(4), 625-636.
- Wisniewski, B. (1963). La théorie de la connaissance d'Epicure. *Revue de Philologie, de Littérature et d'Histoire Anciennes*, 37, 68-75.
- Wolk, D.A., Coslett, H.B., & Glosser, G. (2005). The role of sensory-motor information in object recognition: Evidence from category-specific visual agnosia. *Brain and language*, 94(2), 131-146.
- Woollams, A.M., Ralph, M.A.L., Plaut, D.C., & Patterson, K. (2007). SD-squared: on the association between semantic dementia and surface dyslexia. *Psychological review*, 114(2), 316.

- Wu, J., Yang, J., Yu, Y., Li, Q., Nakamura, N., Shen, Y., Ohta, Y., et al. (2012). Delayed audiovisual integration of patients with mild cognitive impairment and Alzheimer's disease compared with normal aged controls. *Journal of Alzheimer's disease*, 32(2), 317-328.
- Wulff, D.U., De Deyne, S., Jones, M.N., Mata, R., & Consortium, A.L. (2019). New perspectives on the aging lexicon. *Trends in cognitive sciences*, 23(8), 686-698.
- Xue, J., Marmolejo-Ramos, F., & Pei, X. (2015). The linguistic context effects on the processing of body-object interaction words: An ERP study on second language learners. *Brain research*, 1613, 37-48.
- Yang, L., Yang, J., Nakamura, N., Wu, J., Ohno, S., Kurata, T., Abe, K., et al. (2013). *Difference of audiovisual integration between Alzheimer's Disease patients and age-matched healthy controls: An fMRI study*. Paper presented at the 2013 ICME International Conference on Complex Medical Engineering.
- Yap, M.J., Balota, D.A., Cortese, M.J., & Watson, J.M. (2006). Single-versus dual-process models of lexical decision performance: insights from response time distributional analysis. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 32(6), 1324.
- Yap, M.J., Balota, D.A., Sibley, D.E., & Ratcliff, R. (2012). Individual differences in visual word recognition: insights from the English Lexicon Project. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 38(1), 53.
- Yap, M.J., Pexman, P.M., Wellsby, M., Hargreaves, I.S., & Huff, M. (2012a). An abundance of riches: cross-task comparisons of semantic richness effects in visual word recognition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 72.
- Yap, M.J., Pexman, P.M., Wellsby, M., Hargreaves, I.S., & Huff, M.J. (2012b). An abundance of riches: Cross-task comparisons of semantic richness effects in visual word recognition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 72.
- Yap, M.J., Tan, S.E., Pexman, P.M., & Hargreaves, I.S. (2011). Is more always better? Effects of semantic richness on lexical decision, speeded pronunciation, and semantic classification. *Psychonomic bulletin & review*, 18(4), 742-750.
- Yee, E., Chrysikou, E.G., & Thompson-Schill, S.L. (2014). Semantic memory.
- Yee, E., Drucker, D.M., & Thompson-Schill, S.L. (2010). fMRI-adaptation evidence of overlapping neural representations for objects related in function or manipulation. *NeuroImage*, 50(2), 753-763.

- Yee, E., & Thompson-Schill, S.L. (2016). Putting concepts into context. *Psychonomic bulletin & review*, 23(4), 1015-1027.
- Yeh, W., & Barsalou, L.W. (2006). The situated nature of concepts. *The American Journal of Psychology*, 349-384.
- Yu, Z., Guindani, M., Grieco, S.F., Chen, L., Holmes, T.C., & Xu, X. (2021). Beyond t test and ANOVA: applications of mixed-effects models for more rigorous statistical analysis in neuroscience research. *Neuron*.
- Zannino, G.D., Caltagirone, C., & Carlesimo, G.A. (2015). The contribution of neurodegenerative diseases to the modelling of semantic memory: A new proposal and a review of the literature. *Neuropsychologia*, 75, 274-290.
- Zannino, G.D., Perri, R., Carlesimo, G.A., Pasqualetti, P., & Caltagirone, C. (2002). Category-specific impairment in patients with Alzheimer's disease as a function of disease severity: A cross-sectional investigation. *Neuropsychologia*, 40(13), 2268-2279.
- Zwaan, R.A. (2008). Time in language, situation models, and mental simulations. *Language learning*, 58, 13-26.
- Zwaan, R.A. (2014). Embodiment and language comprehension: Reframing the discussion. *Trends in cognitive sciences*, 18(5), 229-234.
- Zwaan, R.A., Stanfield, R.A., & Yaxley, R.H. (2002). Language comprehenders mentally represent the shapes of objects. *Psychological Science*, 13(2), 168-171.
- Zwaan, R.A., & Yaxley, R.H. (2003). Spatial iconicity affects semantic relatedness judgments. *Psychonomic bulletin & review*, 10(4), 954-958.

Liste des tableaux

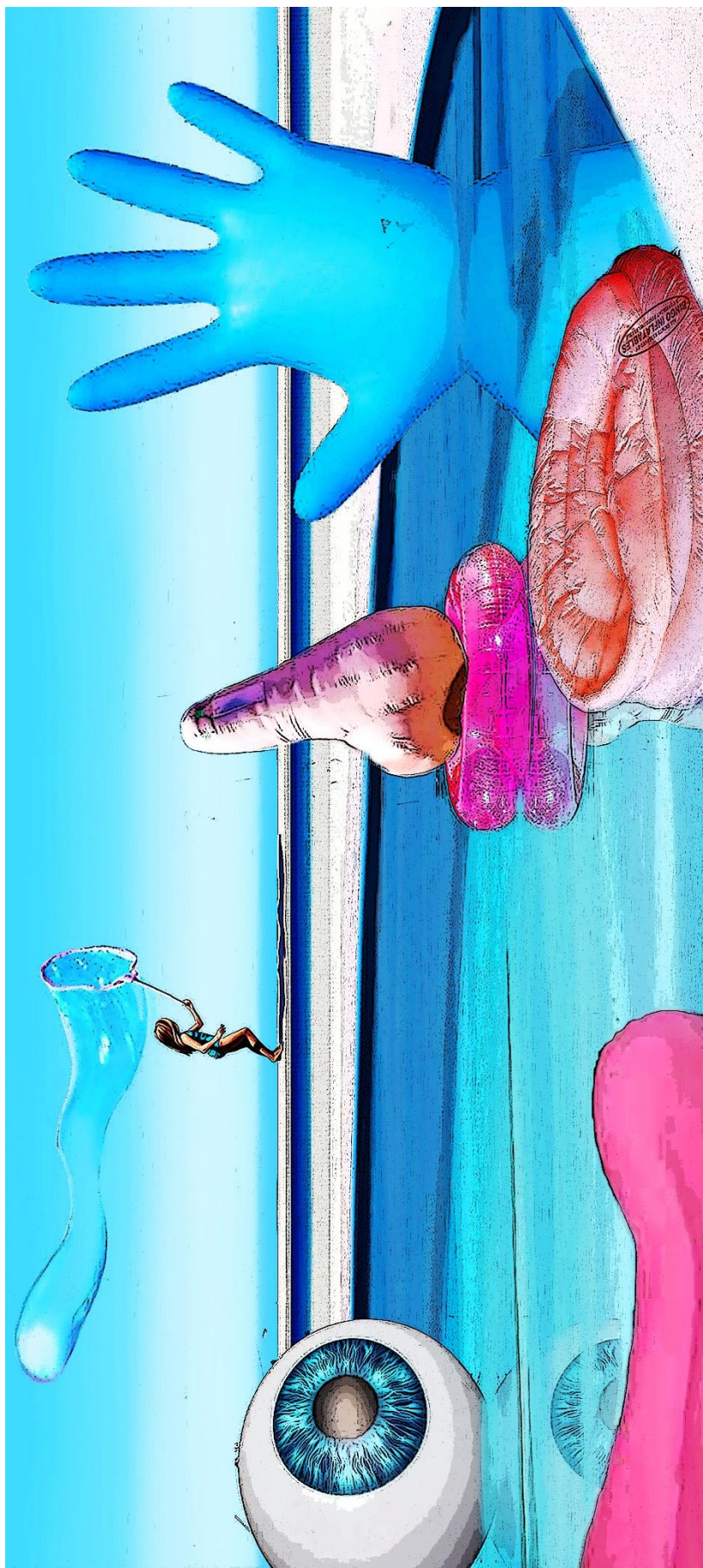
Tableau 1 Relation orthogonale entre les codes mentaux et les modalités sensorielles, issu de Sadoski & Paivio (2004)	47

Liste des figures

Figure 1 Modèle de la théorie sensori-fonctionnelle étendue issu de Carbonnel et al. (2010)	22
Figure 2 Représentation distribuée des concepts et du « hub » sémantique issu de Carbonnel et al. (2010)	24
Figure 3 Conceptualisation du modèle « hub-and-spoke » impliquant un hub transmodal selon Patterson & Lambon Ralph (2016)	25
Figure 4 Systèmes de symboles perceptuels selon Barsalou, Simmons et al. (2003)	35
Figure 5 Modèle de zones de convergence de Damasio issu de Meyer & Damasio (2009) ...	37
Figure 6 Architecture de la théorie topographique conceptuelle selon Simmons & Barsalou (2003)	38
Figure 7 Représentation schématique du modèle Act-In selon Versace et al. (2014)	41
Figure 8 Schéma personnel du système conceptuel basé sur la conception pluraliste multimodale	45
Figure 9 Modèle à Activation Interactive de la reconnaissance de lettres de McClelland & Rumelhart (1981) extrait Balota et al. (2006)	65
Figure 10 Architecture connexionniste de Seidenberg & McClelland (1989) extrait de Balota et al. (2006)	66
Figure 11 Modèle connexionniste du traitement lexical de Seidenberg & McClelland (1989) extrait de Balota et al. (2006)	67
Figure 12 Modèle connexionniste incluant les données de neuroimagerie selon Carreiras et al. (2014)	74
Figure 13 Dimensions investiguées dans nos études	252
Figure 14 Activation des unités orthographiques et sémantiques à partir des tâches de décision lexicale et sémantique	254
Figure 15 Proposition schématique de l'activation des représentations à partir des concepts de force perceptuelle élevée (FP+) et force perceptuelle faible (FP-)	255

Tableau des abréviations

AMMA	Attentionnal Activation of Meaning Activation
Act-In	Activation-Intégration
BREF	Batterie Rapide d'Effcience Frontale
DNF	Dégénérescences NeuroFibrillaires
EEG	Electroencéphalographie
ERP	Event-Related Potential
FP	Force Perceptuelle
FP+	Force Perceptuelle Elevée
FP-	Force Perceptuelle Faible
ICO	Interaction Corps-Objet
IMS	Intégration MultiSensorielle
IRMf	Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle
LASS	Language And Situated Simulation
MEG	Magnétoencéphalographie
MMSE	Mini Mental State Examination
MA	Maladie d'Alzheimer
MCI	Mild Cognitive Impairment
PDP	Parallel Distributed Processing
PS	Plaques Séniles
TCD-MA	Test Court de Dénomination adapté à la Maladie d'Alzheimer
TDL	Tâche de Décision Lexicale
TDS	Tâche de Décision Sémantique



Hugo Pondz, Le Sixième Sens