



HAL
open science

Étudier le vieillissement mnésique d'un point de vue incarné : réflexions sur l'apport des simulateurs de vieillissement

Ilona Moutoussamy, Laurence Taconnat, Jérémy Villatte, Lucette Toussaint,
Pothier Kristell

► **To cite this version:**

Ilona Moutoussamy, Laurence Taconnat, Jérémy Villatte, Lucette Toussaint, Pothier Kristell. Étudier le vieillissement mnésique d'un point de vue incarné : réflexions sur l'apport des simulateurs de vieillissement. *L'Année psychologique*, 2023, 123 (4), pp.641-671. <10.3917/anpsy1.234.0641>. <hal-03895662>

HAL Id: hal-03895662

<https://hal.science/hal-03895662v1>

Submitted on 11 Jan 2024

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

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



HAL Authorization

1 **Titre** : Etudier le vieillissement mnésique d'un point de vue
2 incarné : réflexions sur l'apport des simulateurs de vieillissement

3 **Titre courant** : Etudier le vieillissement mnésique d'un point de vue incarné

4 Ilona Moutoussamy, Laurence Taconnat, Jérémy Villatte, Lucette Toussaint et

5 Kristell Pothier.

6 Résumé

7 Des combinaisons permettant de reproduire les changements sensorimoteurs liés au vieillissement
8 ont été créées afin de mieux comprendre les difficultés rencontrées par les personnes âgées. Ces
9 outils pourraient avoir un intérêt dans l'étude des processus cognitifs vieillissants. Selon les
10 théories incarnées de la cognition, les déclin sensorimoteurs et cognitifs au cours du vieillissement
11 pourraient être liés. Cette note méthodologique (1) décrit les équipements des simulateurs destinés
12 à mimer les déclin sensorimoteurs liés au vieillissement, (2) explore l'idée selon laquelle le port
13 d'un simulateur pourrait conduire à des modifications cognitives chez des individus jeunes se
14 rapprochant du vieillissement cognitif, et (3) souligne les éléments manquants et les facteurs à
15 prendre en compte pour développer de futures études utilisant ces simulateurs. Etudier les liens
16 incarnés entre vieillissement sensorimoteur et cognitif à l'aide de ces outils pourrait étayer nos
17 connaissances sur le vieillissement afin de mieux accompagner les individus.

18 **Mots-clés** : vieillissement, cognition incarnée, simulateurs de vieillissement, mémoire

19 **English title:** Studying memory aging from an embodied point
20 of view: reflections on the contribution of aging suits

21 **Abstract**

22 Aging suits simulating physical declines in aging have been created in order to better understand
23 difficulties encountered by older adults. These tools could be interesting in the study of aging
24 cognitive processes. According to embodied cognition theories, sensorimotor and cognitive
25 declines in aging could be linked. This methodological review (1) describes the aging suits
26 equipment used to simulate sensorimotor declines during aging, (2) explores the idea that aging
27 suits could highlight a decrease in cognitive performance in young adults, approaching older adults'
28 cognitive performance, and (3) underlines the missing elements in the literature and the factors to
29 be taken into account in order to develop future studies of cognitive processes using these aging
30 suits. Studying the embodied links between sensorimotor and cognitive aging using these tools
31 could support our knowledge on aging as well as the care of aging people.

32 **Keywords:** aging, embodied cognition, aging suits, memory

33 Le vieillissement est marqué par des déclin sensorimoteurs affectant de nombreux
34 domaines de la vie quotidienne (déplacements, utilisation d'objets quotidiens, transports, etc.).
35 Pour mieux étudier le vieillissement, et dans le but d'améliorer la qualité de vie des individus
36 vieillissants, de nouveaux outils permettant de reproduire ces déclin sensorimoteurs ont vu le jour,
37 appelés simulateurs de vieillissement. Ces simulateurs sont alors utilisés chez des individus plus
38 jeunes pour permettre une meilleure compréhension de ce que vivent les personnes âgées au
39 quotidien. Les recherches utilisant ces outils innovants se sont, jusqu'à présent, concentrées sur
40 l'aménagement de l'environnement des personnes âgées (comme la voiture ; Frison, Aigner,
41 Wintersberger, & Riener, 2018) ou sur les représentations du vieillissement (par ex. Lavallière et
42 al., 2017), en particulier chez le personnel médical, dans le but d'améliorer l'empathie et la prise
43 en charge des patients âgés (par ex. Bowden, Wilson, Traynor, & Chang, 2020; Cheng et al., 2020;
44 Hsu, Lee, & Lee, 2016; Jeong & Kwon, 2021; Lee & Teh, 2020; Ono, Iwayama, Tanaka, Ashida,
45 & Komasa, 2017; Sari, Taskiran, Baysal, Acar, & Cevik Akyil, 2020). De plus en plus d'auteurs
46 suggèrent que la cognition prend racine dans les expériences sensorimotrices, à travers l'interaction
47 du corps avec l'environnement (Barsalou, 2008). Ces théories sont particulièrement intéressantes
48 pour la compréhension du vieillissement. En effet, les personnes âgées sont confrontées à certains
49 déclin, tant sensoriels et moteurs que cognitifs, pouvant être liés (Roberts et Allen, 2016). Les
50 connaissances sur le vieillissement cognitif, notamment les liens entre sensorimotricité et
51 cognition, pourraient alors être approfondies à l'aide d'approches incarnées et situées de la
52 cognition et de nouveaux protocoles de recherche utilisant un simulateur de vieillissement.

53 L'objectif de cette note méthodologique est d'apporter un éclairage sur le simulateur de
54 vieillissement en tant que nouvelle technique de perturbation sensorimotrice permettant l'étude des
55 liens entre sensorimotricité et cognition au cours du vieillissement. Pour cela, nous commencerons

56 par décrire les simulateurs de vieillissement et comment ces derniers rendent compte des
57 changements sensoriels et moteurs qui surviennent avec l'âge chez des individus plus jeunes. Enfin,
58 les contributions des simulateurs de vieillissement dans la compréhension des liens entre
59 sensorimotricité et mémoire au cours du vieillissement seront discutées.

60 1. LES SIMULATEURS DE VIEILLISSEMENT : REPRODUIRE LES DÉCLINS SENSORIMOTEURS LIÉS À 61 L'ÂGE

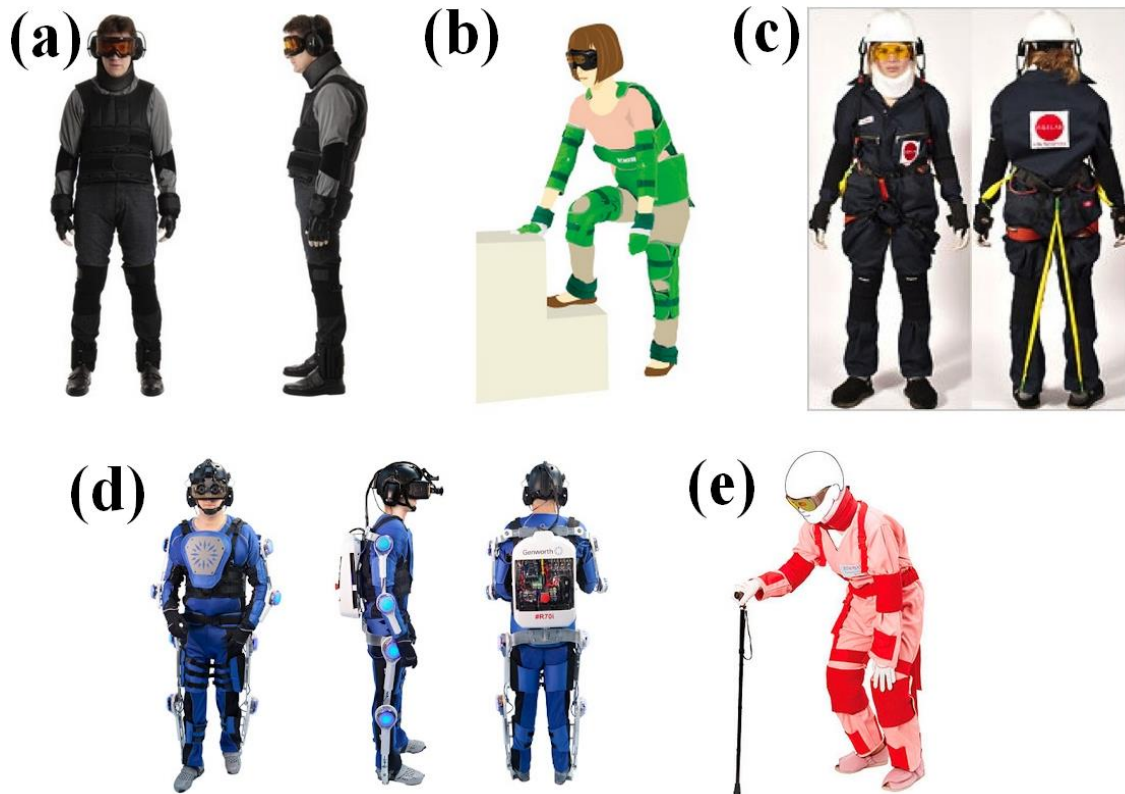
62 Les dispositifs simulant le vieillissement sont de plus en plus nombreux mais tous ont le
63 même objectif de mimer au mieux les changements sensorimoteurs liés à l'avancée en âge :
64 *Gerontological Test Suit (GERT)*, *the Aged Simulation Set LM-060*, *Age Gain Now Empathy*
65 *System (AGNES)*, *Genworth R70i* ou encore *Sakamoto Model M176* pour une liste non exhaustive
66 des simulateurs les plus utilisés dans les protocoles de recherche (voir **Figure 1** pour une
67 illustration de ces simulateurs). Les changements liés à l'avancée en âge affecteraient les cinq
68 principaux sens (ouïe, vue, toucher, goût et odorat), les habilités motrices mais également les
69 capacités proprioceptives des personnes âgées. Ces différents changements sensorimoteurs sont
70 présentés ci-après. Il est nécessaire de noter que ces altérations ont lieu conjointement pour un
71 grand nombre de personnes âgées. En effet, Correia et al. (2016) ont mis en évidence, sur 1 301
72 répondants (âgés entre 57 et 85 ans), que seuls 5.9% n'avaient aucune altération sensorielle, 27.6%
73 n'en avait qu'une seule alors que 66.5% en ont deux voire plus.

74 Les sens et la motricité permettant d'interagir avec l'environnement, comprendre ces
75 modifications et leurs conséquences fonctionnelles chez les personnes âgées permettrait de les
76 reproduire expérimentalement et avec précision par le biais des simulateurs de vieillissement chez
77 des individus jeunes. Groza, Sebesi, et Mandru (2017) distinguent alors quatre modules à intégrer

78 aux simulateurs de vieillissement afin de rendre compte au mieux de l'ensemble des changements
79 sensorimoteurs liés à l'âge : le module de tête (vue, ouïe et motricité du cou), du torse (mouvements
80 de la colonne vertébrale), des bras (toucher, mouvements des articulations et motricité fine) et des
81 jambes (marche et motricité globale). Il est cependant important de noter que certains déclin
82 sensoriels, notamment gustatifs et olfactifs, sont difficilement simulables malgré le fait que ces
83 sens soient affectés par le vieillissement. Les personnes âgées présentent souvent une hypoguesie,
84 soit une diminution du nombre et de la sensibilité des papilles gustatives, et le seuil de détection
85 des odeurs est augmenté avec l'avancée en âge (Mondon et al., 2014).

86 *Figure 1 : illustration de quelques modèles de simulateurs (a) Gerontological Test Suit (GERT),*
87 *(b) the Aged Simulation Set LM-060, (c) Age Gain Now Empathy System (AGNES), (d) Genworth*
88 *R70i et (e) Sakamoto Model M176*

89 *Figure 1: Illustration of some aging suits (a) Gerontological Test Suit (GERT), (b) the Aged*
90 *Simulation Set LM-060, (c) Age Gain Now Empathy System (AGNES), (d) Genworth R70i and (e)*
91 *Sakamoto Model M176*



92

93 1.1 La vue, un des sens les plus touchés par l'avancée en âge

94 L'œil subit des changements anatomiques réduisant la vision des individus vieillissants (voir
 95 Salvi, 2006; Grossniklaus, Nickerson, Edelhauser, Bergman, & Berglin, 2013 pour des revues de
 96 littérature des modifications anatomiques et fonctionnelles). Le cristallin perd de son élasticité,
 97 s'opacifie progressivement et jaunit – limitant sa transparence et sa déformabilité. La courbure
 98 comme la transparence de la cornée diminuent. La pupille est plus petite et réagit plus lentement,
 99 ayant pour conséquence une ouverture pupillaire moins importante dans l'obscurité. Ces
 100 modifications anatomiques induisent des altérations fonctionnelles. En effet, l'acuité visuelle est
 101 diminuée, tant pour la vision statique (perception d'objet immobile) que pour la vision dynamique
 102 (perception d'objet en mouvement). La perception des couleurs est modifiée – en commençant par
 103 les couleurs jaunes et bleues. Le champ visuel est rétréci, tout comme la sensibilité aux contrastes.

104 L'adaptation entre lumière et obscurité est plus difficile et les personnes âgées peuvent alors être
105 sensibles à la lumière éblouissante.

106 Quatre pathologies visuelles sont majoritairement décrites chez les personnes âgées. La plus
107 fréquente et liée au processus de vieillissement normal, la presbytie, est caractérisée par une
108 réduction de l'accommodation entre la vision de près et de loin, induisant une gêne dans la lecture
109 ou la vision de près. La cataracte est également liée aux modifications du cristallin. Ce dernier
110 s'opacifie, ne laissant plus la lumière atteindre la rétine, provoquant une vision floutée et une baisse
111 de l'acuité visuelle. Ainsi, les personnes âgées touchées par la cataracte sont souvent sensibles à la
112 lumière, ont des difficultés dans la perception de la profondeur ou encore des couleurs. La
113 dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA), est une maladie touchant la macule, partie de la
114 rétine permettant la vision centrale. Cette maladie, pouvant causer la cécité, est caractérisée par
115 une déformation des lignes droites, une diminution de l'acuité visuelle, une tâche au centre de la
116 vision et une diminution de la sensibilité aux contrastes. Enfin, le glaucome est une maladie
117 neurodégénérative caractérisée par une pâleur croissante et une augmentation de la pression
118 oculaire, qui va alors venir diminuer l'acuité visuelle et dégrader le nerf optique et les cellules
119 nerveuses. Ces trois derniers troubles visuels sont considérés comme pathologiques, et
120 n'apparaissent pas systématiquement au cours du vieillissement.

121 Les simulateurs de vieillissement ont alors inclus, pour la plupart, des lunettes reproduisant
122 les modifications liées au vieillissement visuel normal : perception des couleurs modifiée,
123 sensibilité à la lumière éblouissante et rétrécissement du champ visuel. Des accessoires peuvent
124 être ajoutés à certains simulateurs, notamment le GERT, afin de rendre compte des différentes
125 pathologies visuelles, soit la DMLA, la cataracte ou encore le glaucome. D'autres simulateurs, dont
126 le *Genworth R70i*, ont opté pour des systèmes de réalité augmentée permettant de moduler les

127 différents effets du vieillissement sur la vision, traduisant bien l'hétérogénéité du processus de
128 vieillissement. Peu d'études utilisant les simulateurs ont été réalisées afin d'illustrer et quantifier
129 ces changements. Par exemple, Frison et al. (2018) ont réalisé des entretiens semi-directifs, dans
130 le but de recueillir les attentes et les réflexions de participants jeunes (avec et sans simulateurs) et
131 âgés, afin d'adapter les équipements des voitures aux personnes âgées. Cette étude qualitative
132 rapporte des modifications visuelles importantes lors du port du simulateur illustrant le déclin
133 visuel des adultes âgés. Une seconde étude qualitative et écologique met également en avant des
134 modifications visuelles perturbant un ensemble de tâches à réaliser dans une grande surface
135 (Lavallière et al., 2017).

136 **1.2 Diminution de l'audition : un sens important mais peu étudié**

137 L'audition, particulièrement importante dans la communication avec l'autre, est également
138 un sens impacté par le vieillissement. D'un point de vue anatomique, le conduit auditif s'atrophie
139 et la membrane tympanique s'épaissit. L'oreille interne est également modifiée : l'altération la plus
140 courante étant une diminution du nombre de cellules ciliées associée à une diminution des fibres
141 nerveuses auditives (Chisolm, Willott, & Lister, 2003). Ces changements sont à l'origine de la
142 presbyacousie, caractérisée par une perte de l'audition et particulièrement des fréquences les plus
143 aiguës, entraînant des difficultés dans la compréhension de la parole dans des environnements
144 bruyants, mais aussi à situer un bruit dans l'espace (Bouccara, Ferrary, Mosnier, Bozorg Grayeli,
145 & Sterkers, 2005). Suivre une conversation de plus de trois ou quatre personnes devient difficile.
146 La presbyacousie peut s'accompagner d'acouphènes, bruits parasites (pouvant être des pulsations
147 ou des bourdonnements) sans lien avec l'environnement. Ces effets liés au processus normal du
148 vieillissement peuvent alors s'ajouter à d'autres troubles auditifs acquis (par ex. traumatisme,

149 otite). La presbyacousie est la cause la plus fréquente de surdité chez les personnes âgées, mais
150 serait également une cause importante d'isolement social.

151 Un grand nombre des simulateurs de vieillissement utilise des écouteurs ou casque anti-bruit
152 limitant l'entrée du son dans le conduit auditif, et donc la perception des sons. Ici aussi, des
153 accessoires supplémentaires peuvent s'ajouter afin de reproduire plus précisément les déclin
154 auditifs liés à l'avancée en âge, notamment un simulateur d'acouphènes pour le simulateur GERT.
155 Le casque auditif utilisé dans le dispositif *Genworth R70i* permet, par ailleurs, de simuler une
156 presbyacousie et peut être couplé à des acouphènes plus ou moins intenses. L'avantage de la
157 modulation possible sur ce dernier simulateur est qu'il permet de diminuer, tout comme dans le
158 vieillissement, les fréquences les plus aiguës en ajoutant des acouphènes contrairement à un casque
159 auditif classique qui limite seulement l'entrée de sons de manière plus générale. Malgré
160 l'importance de ce sens dans la communication, aucune étude, à notre connaissance, ne s'est
161 focalisée sur les performances auditives de personnes jeunes avec un simulateur de vieillissement.

162 **1.3 Le toucher, plutôt conservé**

163 Le toucher, impliquant le fait de sentir la forme, la vibration ou encore la pression, est un
164 sens assez bien conservé avec le vieillissement, bien que des changements soient observés (voir
165 Wickremaratchi, 2006 pour une revue de littérature). Le nombre de récepteurs diminue, ce qui va
166 alors augmenter le seuil de perception, les sensations devant être plus intenses afin d'être perçues
167 (par ex. Kenshalo, 1986). Les habilités somesthésiques complexes, notamment la sensibilité
168 épicrotique (capacité à distinguer deux sensations tactiles comme distinctes), diminue avec l'âge.
169 En effet, de récentes études soulignent que les capacités de discrimination de texture sont réduites
170 chez les personnes âgées, chez qui des modifications cutanées sont également observées (par ex.
171 humidité et élasticité de la peau ; Skedung et al., 2018). De plus, les vibrations seraient plus

172 absorbées par la peau chez les personnes âgées que chez les personnes plus jeunes, induisant une
173 excitation des récepteurs sensoriels moins importante (Verrillo, 1980). Ces modifications tactiles
174 vont alors avoir des conséquences dans les gestes fins quotidiens, impliquant les mains ou les
175 doigts, comme l'écriture, puisque le toucher permet d'identifier et manipuler les objets. Les
176 simulateurs de vieillissement vont alors reproduire ces diminutions par l'utilisation de gants ou des
177 protections pour les doigts. Ce sens étant moins affecté par le vieillissement, les équipements des
178 différents simulateurs, comme les études les évaluant, ne sont que peu développés.

179 **1.4 La motricité fine et globale, capacités les plus étudiées des simulateurs de vieillissement**

180 Au niveau moteur, les modifications histologiques et anatomiques survenant avec l'avancée
181 en âge peuvent perturber les capacités motrices. Le nombre et la taille des fibres musculaires,
182 comme la masse osseuse, diminuent. Cela induit une réduction de la masse musculaire au profit de
183 la masse grasse, appelée sarcopénie, ainsi qu'une diminution de la résistance mécanique de l'os.
184 Les modifications du cartilage (par ex. amincissement), liées à une modification dans les
185 compositions biochimiques, induisent une fragilité de ce tissu. Ainsi, les personnes âgées peuvent
186 être sujettes à de l'arthrite ou une rigidité articulaire, une diminution de la masse musculaire, une
187 exécution des mouvements plus lente et une diminution de la coordination et de la souplesse (voir
188 Seidler et al., 2010). Toutes ces modifications, retrouvées au cours du vieillissement normal,
189 entraînent alors un risque de chute et de fracture plus important. Il est toutefois important de
190 préciser que ces modifications sont modulées par de nombreux facteurs environnementaux, tels
191 que la pratique d'activité physique.

192 Ces modifications vont alors perturber la motricité globale des personnes vieillissantes. La
193 marche est l'exemple le plus flagrant de ces changements moteurs globaux (Van Swearingen &
194 Studenski, 2014). En effet, les muscles doivent se raccourcir et les articulations être mobiles afin

195 de permettre une marche harmonieuse. La sarcopénie et les articulations plus figées peuvent
196 complexifier le lever de jambe ainsi que la flexion ou l'extension de la cheville. Ainsi, les personnes
197 âgées peuvent avoir une marche plus lente, à petits pas. L'équilibre est également modifié, les
198 individus âgés pouvant avoir des difficultés à tenir les pieds joints ou en appui unipodal. Enfin, au
199 niveau de la stature globale, le bassin se rétroverse, et par correction, les personnes âgées ont donc
200 tendance à courber le dos. Ainsi, la marche peut devenir coûteuse en ressources cognitives puisque
201 moins automatique (par ex. Godde & Voelcker-Rehage, 2017 ; Hausdorff et al., 2005). Enfin, la
202 motricité fine, telle que la préhension, est moins rapide et moins précise.

203 Pour reproduire ces changements moteurs, on retrouve dans un grand nombre de simulateurs
204 des exosquelettes limitant les mouvements corporels globaux notamment ceux de la colonne
205 vertébrale, mais aussi de façon plus précise en ciblant les articulations (genoux, coudes, épaules)
206 ainsi que des poids simulant la perte musculaire et l'augmentation de la masse grasse. Des
207 accessoires complémentaires peuvent également s'ajouter aux dispositifs comme des colliers
208 cervicaux pour limiter les mouvements du cou, des surchaussures pour modifier la démarche ou
209 encore des simulateurs de tremblement des mains pour les mouvements fins.

210 Les équipements limitant la motricité étant nombreux dans les différents modèles de
211 simulateur, une grande partie des études utilisant ces simulateurs se sont focalisées sur les aspects
212 moteurs. Ainsi, elles ont tenté d'attester des modifications motrices induites par ces simulateurs,
213 en comparant les résultats avec ceux d'individus jeunes contrôles, d'individus âgés ou encore avec
214 des normes existantes chez les individus âgés. Par exemple, Gaggioli et al. (2018) ont comparé, sur
215 deux tâches de motricité fine sur téléphone, un groupe de personnes âgées, un groupe d'individus
216 jeunes sans simulateur et trois groupes d'individus jeunes avec simulateur pour créer des
217 perturbations (1) visuelles, par l'utilisation de lunettes spécifiques, (2) motrices, touchant le haut

218 du corps par un collier cervical, des coudières, des poids au niveau des poignets, un gilet de poids
219 et des gants pour les mains, ou (3) visuomotrices combinant l'ensemble de ces équipements. Pour
220 ces deux tâches, les meilleures performances sont obtenues par les individus jeunes contrôles, sans
221 simulateur. Chez les individus jeunes portant le simulateur, les perturbations visuomotrices
222 combinées sont plus délétères pour les performances qu'une perturbation motrice ou visuelle seule
223 et permettraient la meilleure approximation des performances des personnes âgées, bien que les
224 âgés aient les moins bonnes performances. Dans une autre étude, des individus jeunes ont réalisé
225 quatre tâches motrices plus globales (équilibre postural, amplitude de mouvements des épaules et
226 du cou, souplesse du bas du dos et des ischio-jambiers, démarche) avec et sans simulateur de
227 vieillissement (Lavallière et al., 2017). Les résultats mettent en évidence un déficit des
228 performances physiques lié au port du simulateur dans chacune des tâches motrices proposées.

229 Malgré l'importance de la marche et les effets du vieillissement normal sur cette dernière,
230 une seule étude a analysé les différents paramètres qui la caractérisent : vitesse de marche (cm/s),
231 longueur et largeur des pas (cm), et temps d'appui des pas (s) (Lauenroth, Schulze, Ioannidis,
232 Simm, & Schwesig, 2017). Les résultats montrent alors des performances équivalentes entre
233 individus jeunes portant le simulateur et individus âgés sur les paramètres de vitesse de marche et
234 de longueur des pas. Les auteurs de cette étude estiment alors, par comparaison avec des personnes
235 âgées, que le port du simulateur augmenterait de 20 à 25 ans l'âge réel des individus jeunes. Ces
236 observations sont confirmées par d'autres études, notamment celle de Vieweg et Schaefer (2020),
237 ajoutant que les participants jeunes (environ 22 ans) ont perdu entre 12 et 26% de leurs capacités
238 motrices globales et entre 20 et 30% de leur motricité fine en portant le simulateur. Un des points
239 intéressants de cette dernière étude est la comparaison des performances motrices avec des normes
240 motrices établies chez des personnes âgées : les performances de motricité globale se rapprochent

241 de celles des individus de 60 ans tandis que celles de motricité fine des individus de 80 ans et plus.
242 Ainsi, la diminution des performances motrices observée lors du port du simulateur dépendrait
243 des habilités motrices mesurées mais permettrait toutefois d'avoir une expérience générale du
244 vieillissement physique. Enfin, bien que certains facteurs génétiques ou encore physiologiques ne
245 puissent pas être pris en considération avec les simulateurs, ceux-ci reflèteraient le processus de
246 vieillissement et ses différences interindividuelles physiques (par ex. niveau d'activité physique,
247 habitudes alimentaires de l'individu jeune).

248 **2. SIMULATEUR DE VIEILLISSEMENT ET COGNITION INCARNÉE ET SITUÉE**

249 **2.1 La cognition incarnée et située : un lien entre sensorimotricité et mémoire**

250 La plupart des travaux portant sur la cognition se réfère à une approche cognitiviste dans
251 laquelle la cognition correspond à une suite d'opérations sur des symboles abstraits et amodaux,
252 c'est-à-dire sans lien avec la sensorimotricité et l'environnement qui a permis ces opérations.
253 Depuis quelques décennies, la littérature se référant à une approche incarnée et située est
254 grandissante. Cette approche envisage la cognition comme étant ancrée dans le corps par les
255 éléments sensorimoteurs (aspect incarné dans le corps) et liée à la situation environnementale qui
256 a permis ces expériences sensorimotrices (aspect situé dans l'environnement) (Barsalou, 2008).

257 Un des éléments clés dans cette approche est la simulation sensorimotrice, processus
258 impliqué dans l'ensemble des traitements cognitifs impliquant une connaissance (par ex. les
259 connaissances conceptuelles, la cognition sociale ou encore la mémoire, Dijkstra & Post, 2015 ;
260 Mille et al., 2021 ; Rey et al., 2017 ; Versace, Brouillet & Vallet, 2018). Ainsi, la perception d'un
261 stimulus déclencherait de manière automatique une simulation mentale de l'interaction avec ce
262 stimulus – comprenant alors des éléments sensoriels, moteurs et émotionnels vécus au cours des

263 expériences passées et dépendant des compétences de la personne (Barsalou, 2008 ; Körner,
264 Topolinski & Strack, 2015). Cette simulation sensorimotrice se rapproche donc de l'interaction que
265 l'on pourrait avoir réellement avec le stimulus, et ce, jusqu'à activer des régions cérébrales
266 similaires (par ex. Mollo, Pulvermüller, & Hauk, 2016). Par exemple, concernant les aspects
267 moteurs, la simulation correspondrait à une activation du système moteur consécutif à la perception
268 d'un stimulus. Cette activation du système moteur jouerait un rôle dans des processus cognitifs
269 variés, comme la compréhension des actions d'autrui, des stimuli linguistiques liés à l'action (par
270 ex. lecture de verbes d'action, Boulenger et al., 2006) ou encore l'identification d'objets
271 manipulables (par ex. identification d'outils, Martin, Wiggs, Ungerleider, & Haxby, 1996). Plus
272 précisément, pour la mémoire, récupérer une trace mnésique implique une réactivation des états
273 sensorimoteurs et émotionnels présents et encodés lors de l'expérience vécue (Xue, 2018),
274 réactivation facilitée si les éléments sont représentés lors de la récupération.

275 Ces propos sont attestés par de nombreuses études en imagerie cérébrale, mettant en évidence
276 une activation des aires sensorimotrices lors de traitements cognitifs de concepts liés à ces aires
277 sensorimotrices et en l'absence de stimulations directes (par ex. Buccino et al., 2005; Hauk,
278 Johnsrude, & Pulvermüller, 2004; Martin, Haxby, Lalonde, Wiggs, & Ungerleider, 1995; Mollo,
279 Pulvermüller, & Hauk, 2016; Pulvermüller, Hauk, Nikulin, & Ilmoniemi, 2005; Simmons, Martin,
280 & Barsalou, 2005; Willems, Labruna, D'Esposito, Ivry, & Casasanto, 2011). Hormis les études en
281 imagerie cérébrale, les études comportementales concernant le lien sensorimotricité et cognition se
282 multiplient, utilisant des protocoles expérimentaux de plus en plus originaux, bien que toutes ne
283 retrouvent pas ce lien (par ex. Bidet-Ildei, Meugnot, Beauprez, Gimenes, & Toussaint, 2017;
284 Canits, Pecher, & Zeelenberg, 2018; Cortese, Khanna, & Von Nordheim, 2019; Díez-Álamo, Díez,
285 Alonso, & Fernandez, 2019; Vallet, Brunel & Versace, 2010; van Dam, Rueschemeyer, Bekkering,

286 & Lindemann, 2013; Villatte, Taconnat, Bidet-Ildei, & Toussaint, 2022; Yu & Wang, 2017;
287 Zeelenberg, Remmers, Blaauwgeers, & Pecher, 2020 ; pour une revue de littérature, voir Dutriaux
288 & Gyselinck, 2016b).

289 En considérant que la cognition prend racine dans les sens et la motricité, il paraît cohérent
290 de supposer qu'une modification sensorimotrice conduirait à une modification cognitive. Certaines
291 études ont utilisé le paradigme d'immobilisation, dans lequel une partie du corps (avant-bras et
292 main dominante) est immobilisée pendant un certain temps, afin d'observer les effets de cette
293 immobilisation sur la cognition (par ex. Bidet-Ildei et al., 2017). Les participants devaient
294 catégoriser des verbes d'actions en indiquant si le verbe présenté impliquait les mains (par ex.
295 écrire) ou les pieds (par ex. courir). Les participants immobilisés traitaient aussi rapidement les
296 verbes d'action concernant la main et ceux concernant les pieds alors qu'une différence de temps
297 de réponse est retrouvée chez les participants non immobilisés, dans le sens où ils catégorisaient
298 plus rapidement les verbes d'action manuelle. En d'autres termes, le gain temporel pour les verbes
299 d'action manuelle observé dans le groupe contrôle comparativement aux verbes d'action podale
300 n'est plus présent lorsque le bras est immobilisé. Par le ralentissement du traitement sensorimoteur
301 qu'elle induit, l'immobilisation ralentirait en retour la récupération de la trace mnésique concernant
302 les verbes d'action manuelle.

303 De plus en plus d'études mettent en évidence qu'une modification motrice modifie les
304 capacités mnésiques d'individus jeunes (par ex. Bidet-Ildei et al., 2017; de Vega et al., 2021;
305 Dutriaux & Gyselinck, 2016b; Villatte, Taconnat, Bidet-Ildei, & Toussaint, 2021). Par exemple, la
306 mémorisation d'objets serait affectée par une posture interférente, uniquement pour des objets
307 considérés comme manipulables (Dutriaux & Gyselinck, 2016b). Dans leur étude, les auteurs ont
308 présenté des mots ou des images d'objets manipulables et non manipulables à des individus jeunes

309 dans deux situations : une posture contrôle où les mains étaient positionnées devant le participant
310 et donc disponibles ; et une posture interférente dans laquelle les mains étaient croisées dans le dos
311 du participant et donc non disponibles. Dans cette deuxième situation, les mots représentant des
312 objets manipulables sont moins bien rappelés, ce qui n'est pas le cas des objets non manipulables.
313 D'autres études, utilisant également le paradigme de posture interférente, ont mis en évidence une
314 perturbation des traitements cognitifs des concepts d'action lorsque les mains ne sont pas
315 disponibles, allant jusqu'à modifier les processus cérébraux (de Vega et al., 2021).

316 Enfin, en utilisant le paradigme d'immobilisation d'un membre, décrit précédemment,
317 Villatte et al. (2021) ont mis en évidence, chez un groupe contrôle (non immobilisé, membres
318 supérieurs disponibles), un temps de réponse plus long pour le rappel d'objets manipulables par
319 rapport au rappel d'objets non manipulables. Cette différence n'est pas retrouvée pour le groupe
320 ayant été immobilisé du bras droit. Ces résultats, bien que surprenants, sont expliqués par les
321 auteurs par un temps supplémentaire nécessaire à l'activation des éléments moteurs associés à
322 l'objet manipulable lors de la récupération de ce dernier, activation supprimée dans le groupe
323 immobilisé par la mise à mal du système sensorimoteur. Cette étude confirme une modification du
324 fonctionnement mnésique, ici mesurée par un temps de réponse lors d'une tâche de reconnaissance,
325 avec immobilisation d'un membre. Dans cette dernière étude, et contrairement aux résultats de
326 Dutriaux et Gyselinck (2016), la précision des réponses ne variait pas avec l'immobilisation.

327 **2.2 Le vieillissement : un lien sensorimotricité et cognition atténué ?**

328 Les liens entre cognition et sensorimotricité au cours du vieillissement normal sont étudiés
329 depuis quelques années déjà (par ex. Vallet, Simard & Versace, 2011; Vallet, Simard, Versace, &
330 Mazza, 2013; voir Roberts & Allen, 2016 pour une revue de littérature). De nombreuses études
331 avaient d'ores et déjà souligné un lien entre différentes modalités sensorielles et mesures

332 cognitives, sans pour autant se placer explicitement dans un contexte incarné de la cognition. Par
333 exemple, les capacités visuelles et auditives (Baltes & Lindenberger, 1997) ou tactiles (Li,
334 Jordanova, & Lindenberger, 1998) des individus âgés (516 adultes âgés de 70 à 103 ans, sans
335 atteinte neurologique) prédiraient leurs performances aux tests d'intelligence, mesurées par une
336 batterie de tests comprenant du raisonnement, de la mémoire, des fluences, de la vitesse de
337 traitement et des connaissances générales. Les capacités visuelles seraient également associées aux
338 altérations mnésiques et exécutives (Valentijn et al., 2005), toujours chez des personnes
339 vieillissantes (n = 418), âgées entre 55 et 83 ans, sans atteinte neurologique. Humes, Busey, Craig,
340 et Kewley-Port (2013) ont par ailleurs mis en évidence que l'efficacité cognitive (mesurée par la
341 Wechsler Adult Intelligence Scale, Wechsler, 1997) était médiée par les capacités sensorielles
342 (vision, audition et toucher) auprès d'une population allant de 18 à 87 ans. Ces résultats sont
343 retrouvés dans de nombreuses études basées pour la plupart sur les modalités visuelles ou auditives
344 au cours du vieillissement normal (Baltes & Lindenberger, 1997; Lin, 2011; Lin et al., 2013;
345 Lindenberger & Baltes, 1994; Moore et al., 2014 mais voir Anstey, Luszcz, & Sanchez, 2001;
346 Gussekloo, de Craen, Oduber, van Boxtel, & Westendorp, 2005; Hofer, Berg, & Era, 2003).

347 Si les effets du vieillissement sur les capacités auditives et visuelles normales sont les plus
348 étudiés, ce sont également ceux qui sont les plus mis en lien avec le déclin cognitif dans la littérature
349 actuelle. Comme décrit précédemment, l'ensemble des sens et la motricité peuvent être touchés par
350 l'avancée en âge. Malgré cela, peu d'études se focalisent, par exemple, sur le lien entre cognition
351 et motricité au cours du vieillissement normal. De nombreux effets, étudiés hors de ce contexte
352 incarné, peuvent nous laisser entrevoir l'existence de ce lien. D'une part, l'activité physique
353 régulière (par ex. entraînements musculaires) permet d'améliorer la force, la coordination, la
354 posture et de prévenir les chutes (par ex. Barry & Carson, 2004). Plus précisément, la pratique

355 d'une activité physique permet de développer les capacités et les compétences motrices grâce à
356 l'entraînement. En particulier, au cours du vieillissement, cette pratique induit une augmentation
357 de la masse musculaire et des performances du muscle en permettant une meilleure efficacité
358 gestuelle, un maintien des habiletés motrices comme de force, une augmentation de l'amplitude et
359 de la flexibilité des mouvements. L'activité physique module donc les effets délétères du
360 vieillissement sur les aspects anatomiques et fonctionnels de la motricité.

361 D'autre part, les effets bénéfiques de l'activité physique sur la cognition au cours du
362 vieillissement normal sont largement confirmés dans la littérature (par ex. Angevaren,
363 Aufdemkampe, Verhaar, Aleman, & Vanhees, 2008; Audiffren, André, & Albinet, 2011; Barha,
364 Davis, Falck, Nagamatsu, & Liu-Ambrose, 2017; Bherer & Pothier, 2021; Colcombe & Kramer,
365 2003; Kelly et al., 2014; Quigley, MacKay-Lyons, & Eskes, 2020). Les liens entre activités
366 physiques et cognition pourraient être approfondis à la lumière des approches incarnées et situées
367 de la cognition. En effet, les bénéfices de l'activité physique sur la cognition pourraient être vus
368 comme permettant une meilleure « incarnation » des éléments sensorimoteurs (c'est-à-dire, qui
369 permettrait de se baser davantage sur les facteurs corporels). Ces bénéfices seraient plus importants
370 chez les personnes âgées, ayant une moindre « incarnation » puisqu'elles utiliseraient davantage
371 les traitements visuels que ceux liés au corps, tels que les facteurs tactiles ou proprioceptifs
372 (Costello & Bloesch, 2017). En d'autres termes, le lien entre action et cognition pourrait être
373 favorisé par la pratique d'activité physique. Enfin, la vitesse de marche prédirait le déclin cognitif
374 chez les personnes âgées (par ex. Atkinson et al., 2007), laissant entrevoir ici aussi l'idée d'un lien
375 entre motricité et cognition.

376 La mémoire est l'une des fonctions cognitives les plus touchées par l'avancée en âge. Cela
377 est attesté de manière objective par de nombreuses études montrant un déficit de la mémoire lié à

378 l'âge (par ex. Danckert & Craik, 2013) et par la fréquence importante des plaintes mnésiques
379 rapportée par les personnes âgées elles-mêmes (Tannenbaum, 2005). Si d'un point de vue incarné
380 les traces mnésiques sont liées aux éléments sensorimoteurs, alors ces déclinés mnésiques pourraient
381 en partie s'expliquer par les altérations sensorielles et motrices subies par les personnes
382 vieillissantes. Les traces mnésiques encodées seraient alors appauvries en éléments sensorimoteurs
383 et moins spécifiques, leur distinctivité moins importante, ce qui augmenterait le nombre d'erreurs
384 commises.

385 Dans ce contexte, Vallet et al. (2017) ont demandé à des personnes jeunes et âgées de réaliser
386 une tâche sémantique dans laquelle les participants devaient établir un lien entre une image
387 « modèle » (par ex. une pyramide) et une image parmi deux images proposées, comprenant une
388 cible (par ex. un palmier) et un distracteur (par ex. un pin), avec comme objectif de mémoriser
389 l'image cible. Suite à cela, l'ensemble des participants réalisait une tâche de rappel libre et une
390 tâche de reconnaissance dans laquelle deux types d'items étaient présentés : des items cibles qui
391 étaient à retenir et des distracteurs, ces derniers pouvant être des items distracteurs vus lors de la
392 tâche sémantique (par ex. un pin) ou de nouveaux items (par ex. un bateau). Les personnes âgées
393 rappellent effectivement moins d'items que les individus plus jeunes mais surtout, les individus
394 âgés font plus d'erreurs de confusion ou de fausses alarmes, correspondant au rappel ou à la
395 reconnaissance de distracteurs vus lors de la tâche sémantique. Aucune différence n'a été notée
396 concernant les erreurs d'intrusion, donc le rappel ou la reconnaissance d'items totalement
397 nouveaux. Cette étude souligne bien le fait que les erreurs les plus souvent commises dans le cadre
398 du vieillissement normal sont des erreurs nécessitant de distinguer plus finement les items pour
399 rejeter le distracteur, alors proches d'un point de vue perceptif. Ainsi, on pourrait parler de traces

400 mnésiques de moins bonne qualité avec l'avancée en âge, expliquant le déclin mnésique associé au
401 vieillissement (Vallet, 2015).

402 Quelques études ont effectivement cherché à voir si les modifications sensorimotrices et le
403 déclin de la mémoire des concepts liés aux sens ou à la motricité au cours du vieillissement étaient
404 liés, en se plaçant dans une vision incarnée de la cognition. En d'autres termes, les effets du
405 vieillissement sur la cognition pourraient s'expliquer, en partie, par des modifications de
406 l'incarnation sensorimotrice des personnes âgées. Par exemple, Dijkstra, Kaschak, et Zwaan (2007)
407 ont mis en évidence une facilitation du rappel de souvenirs autobiographiques lorsque la position
408 adoptée était congruente avec le souvenir. Cet effet était moins important chez les adultes âgés que
409 chez les plus jeunes, ce qui suggère que ce lien motricité-mémoire est diminué dans le
410 vieillissement. Ces résultats vont dans le sens d'une « incarnation » des représentations moins
411 importante chez les personnes âgées (Costello & Bloesch, 2017). Avec l'avancée en âge et en
412 fonction des éléments sensorimoteurs nécessaires à la tâche, les personnes âgées se baseraient plus
413 sur la modalité visuelle que sur les modalités impliquant le corps (i.e., toucher, proprioception),
414 comparativement à des adultes jeunes (Costello & Bloesch, 2017). En effet, afin de compenser les
415 déclinés moteurs liés au vieillissement, une dominance des aspects visuels se met en place
416 conduisant en des informations corporelles moins importantes lors des traitements cognitifs. En
417 d'autres termes, la diminution du lien motricité-mémoire au cours du vieillissement observée par
418 Dijkstra et al. (2007) pourrait s'expliquer par une moindre importance des modalités sensorielles
419 impliquant le corps (i.e., toucher, proprioception) lors de la récupération des informations, malgré
420 la posture congruente. La mémoire serait donc, dans cette étude, affectée par une moins bonne
421 « incarnation » sensorimotrice.

422 Cependant, récemment, Dutriaux, Nicolas, et Gyselinck (2021) ont répliqué une étude
423 réalisée auprès de personnes jeunes (Dutriaux & Gyselinck, 2016a) chez des personnes âgées afin
424 d'étudier l'impact de la dégradation motrice liée au vieillissement normal sur la mémoire d'objets
425 manipulables en fonction de la posture (mains devant soi, disponibles vs. mains derrière le dos,
426 non disponibles). En continuité avec les travaux de Dijkstra et al. (2007), les auteurs s'attendaient
427 à n'observer aucun effet lié à la posture interférente chez les personnes âgées, contrairement aux
428 personnes jeunes. En effet, Dutriaux et Gyselinck (2016a) ont mis en évidence que la posture
429 interférente perturbe la simulation motrice des objets manipulables chez des personnes jeunes.
430 Cependant, les personnes âgées ayant déjà une simulation motrice perturbée, liée aux modifications
431 sensorimotrices, la posture ne devrait pas interférer avec cette simulation. Les scores de rappel des
432 personnes âgées, dans cette étude, ont été tout autant perturbés par la posture interférente que celui
433 des individus plus jeunes, et uniquement sur les objets manipulables. Ces résultats indiquent cette
434 fois-ci que le lien motricité-mémoire n'est pas touché par le déclin moteur. Les auteurs expliquent
435 alors ces résultats par : (1) une hypothèse alternative, les personnes âgées s'appuieraient davantage
436 sur des informations sensorimotrices que les plus jeunes ou (2) un biais méthodologique, lié au
437 choix des objets présentés, qui n'impliqueraient pas assez de mouvements fins et limités lors de
438 l'avancée en âge.

439 En résumé, les données de la littérature semblent à l'heure actuelle contradictoires et
440 mériteraient plus d'investigations afin de mieux appréhender les liens entre sensorimotricité et
441 mémoire au cours du vieillissement normal.

442 2.3 Simulateurs de vieillissement et cognition incarnée : de nouvelles études à mener

443 2.3.1 Utiliser les simulateurs pour étudier le vieillissement sensorimoteur et cognitif

444 Comme décrit dans le point 1, les simulateurs de vieillissement permettent, en effet, de
445 reproduire certaines modifications sensorimotrices observées au cours du vieillissement chez des
446 personnes plus jeunes. Si, comme le postulent les théories de la cognition incarnée, la cognition est
447 effectivement d'origine sensorimotrice, nous pouvons nous demander si reproduire le
448 vieillissement sensorimoteur chez des individus jeunes induirait des perturbations cognitives, et
449 plus spécifiquement mnésiques, se rapprochant des perturbations observées chez les personnes
450 âgées. Dans un premier temps, il serait intéressant de valider l'utilisation de ce simulateur d'un
451 point de vue physique et sensoriel. En effet, bien que quelques études aient déjà évalué la
452 diminution sensorimotrice (par ex. Lauenroth et al., 2017; Lavallière et al., 2017), certaines
453 compétences restent peu étudiées malgré leur importance (par ex. vision, audition, toucher).

454 Deux études qualitatives (Frison et al., 2018 ; Lavallière et al., 2017) soulignent des
455 modifications visuelles liées au port du simulateur chez des personnes jeunes perturbant les
456 activités quotidiennes. Il serait alors pertinent de compléter ces données en quantifiant les
457 changements à partir de tâches visuelles spécifiques (par ex. examen du champ visuel et de la
458 perception des couleurs) et de comparer les performances de ces personnes jeunes portant un
459 simulateur à celles de personnes plus âgées. En effet, ce dernier point permettrait de s'assurer que
460 les performances obtenues suite au port du simulateur sont équivalentes à celles de personnes
461 vieillissantes – subissant ces modifications visuelles de façon réelle. Ensuite, il serait pertinent de
462 réaliser différentes études sur les accessoires simulant la perte auditive des simulateurs de
463 vieillissement afin de s'assurer que les déficits consécutifs au port du simulateur sont également

464 comparables à ceux observés classiquement dans le vieillissement. En effet, aucune étude ne s'est
465 intéressée à ces déficits auditifs malgré l'importance qu'ils peuvent avoir au quotidien.

466 Deuxièmement, au niveau moteur, et plus particulièrement en ce qui concerne la vitesse de
467 marche, l'étude réalisée par Lauenroth et al. (2017) mentionne une estimation de 20 à 25 ans
468 supplémentaires à l'âge réel lors du port du simulateur de vieillissement par les adultes jeunes.
469 Cependant, il serait pertinent de réaliser d'autres études sur les effets des simulateurs de
470 vieillissement sur la marche afin de s'assurer de la validité de cet élément. Pour l'ensemble de ces
471 points manquants, il serait également judicieux d'utiliser des tâches classiquement utilisées chez
472 les personnes âgées (par ex. *Short Physical Performance Battery*, Guralnik et al., 1994 pour les
473 évaluations motrices) afin d'évaluer les effets des simulateurs de la façon la plus proche et la plus
474 comparable à ce qui est habituellement réalisé chez les personnes âgées.

475 Enfin, la proprioception, aussi appelée « sixième sens », fait référence à l'ensemble des
476 messages nerveux issus des mécanorécepteurs (provenant des muscles, des tendons, des ligaments
477 ou encore de la peau) permettant la perception et la régulation des mouvements du corps, des
478 articulations ou encore l'évaluation de la posture. Les différentes parties du corps sont représentées
479 dans le cortex sensoriel, ce qui permet d'avoir des informations sur leur emplacement et leur
480 mouvement. Ces informations rendent la proprioception importante pour la réalisation de
481 mouvements fluides, l'équilibre mais aussi la posture. De nombreuses études rapportent, par
482 ailleurs, des modifications proprioceptives chez les personnes âgées (appelées presbyproprie,
483 Boisgontier, Olivier, Chenu, & Nougier, 2012), que ce soit pour les membres inférieurs ou les
484 membres supérieurs (par ex. Ferrell, Crighton, & Sturrock, 1992; Hurley, Rees, & Newham, 1998;
485 Kaplan, Nixon, Reitz, Rindfleish, & Tucker, 1985; Pai, Rymer, Chang, & Sharma, 1997;
486 Verschueren, Brumagne, Swinnen, & Cordo, 2002).

487 Malgré l'importance de ce sens au quotidien, aucune étude ne s'est intéressée aux effets des
488 simulateurs de vieillissement sur la proprioception de personnes jeunes. Cependant, d'autres études
489 ont montré chez de jeunes adultes sains qu'une courte période de privation forcée d'exercice (via
490 un protocole d'immobilisation d'un membre allant de 10 heures à 24 heures selon les études)
491 présentait des conséquences néfastes sur le fonctionnement des systèmes proprioceptif (Moisello
492 et al., 2008; Bassolino et al., 2012), sensorimoteur (Toussaint & Meugnot, 2013; Meugnot,
493 Almecija & Toussaint, 2014) et cognitif (Bidet-Ildei et al., 2017; Villatte et al., 2021). Les auteurs
494 suggèrent alors que la quantité de signaux concernant les mouvements est largement réduite lors
495 de l'immobilisation du bras, ce qui, par conséquence, affecterait l'intégration des informations en
496 provenance et en direction du système sensorimoteur et des processus cognitifs dont le
497 fonctionnement dépendrait en partie de l'intégrité du système sensorimoteur.

498 Ainsi, au-delà des changements moteurs de force ou de précision décrits précédemment et mis
499 en évidence dans les études utilisant les simulateurs de vieillissement, le ressenti des limitations
500 musculaires comme articulaires liées aux exosquelettes pourrait alors induire des modifications
501 proprioceptives chez les individus jeunes portant le simulateur de vieillissement, et même
502 constituer un élément central des effets des simulateurs de vieillissement. En effet, les changements
503 ressentis lors du port d'un simulateur concernent, en grande partie, des mouvements moins
504 importants, moins amples (et donc une perception modifiée des mouvements volontaires du corps),
505 des difficultés d'équilibre et de posture ; trois éléments centraux dans la proprioception et qui
506 déclinent avec l'âge (par ex. Gong et al., 2019 ; Woodhull-McNeal, 1992). De plus, certains auteurs
507 suggèrent un lien entre proprioception et cognition (Roll, 2003) mais aucune étude, à notre
508 connaissance, n'a étudié le lien entre cognition et proprioception – point à développer dans la
509 littérature selon nous.

510 Les simulateurs pourraient également permettre d'étudier plus profondément les aspects
511 cognitifs du vieillissement mais également d'étayer les théories incarnées et situées de la cognition.
512 De rares études ont d'ores et déjà utilisé les simulateurs de vieillissement pour évaluer les
513 conséquences sur les performances cognitives. L'étude de Vieweg et Schaefer (2020), ayant mis
514 en évidence des changements sensorimoteurs sur différentes tâches, a tenté de mettre en évidence
515 un effet du port du simulateur sur la vitesse de traitement (à l'aide du Digit Symbol Substitution
516 Test, Wechsler, 1997). Les résultats montrent alors une différence significative entre les deux
517 sessions réalisées par les participants : avec et sans simulateur. Cependant, la tâche cognitive
518 implique directement le système moteur afin de répondre (tâche « papier/crayon ») et se réalise en
519 un temps limité (90 secondes). Les modifications visuelles (lunettes occultantes) et motrices
520 (poids) auraient pu, à elles seules, diminuer les performances cognitives. Les futurs protocoles
521 expérimentaux, se plaçant dans une perspective incarnée, devraient alors utiliser des tâches limitant
522 ou contrôlant l'implication du système moteur afin d'étudier les effets de la diminution motrice
523 liée au simulateur sur la cognition, en limitant les biais.

524 Bien que notre compréhension des modifications sensorimotrices liées aux simulateurs de
525 vieillissement soit encore imparfaite, nous pouvons faire l'hypothèse que cet outil permettrait
526 d'étudier chez des adultes jeunes une grande partie des modifications cognitives associées à des
527 modifications sensorimotrices apparaissant au cours du vieillissement. Par exemple, certains
528 facteurs impliquant la motricité peuvent affecter la cognition, comme l'activité physique et la
529 sédentarité. Ces deux éléments et leurs effets respectifs sur la cognition pourraient être étudiés chez
530 des individus jeunes portant la combinaison vieillissante. En effet, nous pourrions prédire que les
531 déficits moteurs (et, dans un contexte incarné, les déclinés cognitifs) liés au simulateur de
532 vieillissement chez une personne jeune pratiquant des activités physiques seront moins importants

533 que chez une personne jeune ne pratiquant pas d'activités physiques – tout comme une personne
534 âgée pratiquant des activités physiques subira des modifications physiques (et, cognitives) moins
535 importantes. Ainsi, le port du simulateur nous permettrait d'étudier le lien entre la cognition et
536 l'ensemble des fonctions sensorimotrices, de manière concomitante, donc plus proche du processus
537 de vieillissement en comparaison à une simple immobilisation du bras.

538 De la même manière, des facteurs psychosociaux tels que les stéréotypes pourraient être
539 étudiés. En effet, ces représentations sur le vieillissement, pour la plupart négatives et portées par
540 l'environnement, tendent à diminuer les performances cognitives des personnes âgées (par ex.
541 Bouazzaoui et al., 2016). Les théories de la cognition incarnée et située accordent une place
542 importante à l'environnement dans lequel se développent les processus cognitifs. Ainsi, les
543 modifications cognitives observées suite au port du simulateur de vieillissement pourraient être
544 modulées par ces représentations, tout comme ce qui est observé chez les personnes plus âgées. En
545 effet, certaines études montrent qu'il n'est pas nécessaire d'appartenir au groupe social pour
546 ressentir et activer ces stéréotypes. Par exemple, les réponses motrices (par ex. temps de marche
547 ou de réponse) de personnes jeunes chez qui les stéréotypes concernant les personnes âgées ont été
548 activés sont plus longues, suite à cette activation, comparativement à d'autres personnes jeunes
549 chez qui les stéréotypes n'ont pas été activés (par ex. Dijksterhuis, Spears & Lepinasse., 2001,
550 Follenfant, Légal, Marie Dit Dinard, & Meyer, 2005). De plus, des personnes jeunes mise en
551 situation de vieillissement physique par le biais d'un avatar en réalité virtuelle ont besoin de plus
552 de temps pour réaliser une tâche d'imagerie mentale, par rapport à une situation contrôle (i.e.,
553 avatar d'une personne jeune) (Beaudoin et al., 2020).

554 De la même façon qu'une personne jeune est affectée d'un point de vue cognitif (i.e.,
555 imagerie mentale) lorsqu'elle s'identifie à une personne âgée par le biais d'un avatar, nous

556 pourrions supposer que s'identifier à une personne âgée en portant un simulateur de vieillissement
557 pourrait également influencer les performances cognitives. Ainsi, en précisant aux participants que
558 la combinaison simule le vieillissement et en activant les stéréotypes internalisés sur le
559 vieillissement, nous pourrions faire l'hypothèse d'un déficit cognitif, notamment mnésique, dans
560 la condition de port d'un simulateur. Les personnes jeunes portant le simulateur se conformeraient
561 alors, inconsciemment, à ces stéréotypes.

562 **2.3.2 Des limites liées à l'utilisation des simulateurs de vieillissement à considérer**

563 Bien que l'intérêt des simulateurs pour l'étude du vieillissement soit notable, il est important
564 de souligner et de considérer certaines limites concernant les modifications sensorimotrices
565 obtenues par les simulateurs de vieillesse en comparaison au processus réel de vieillissement. Dans
566 un premier temps, la temporalité des effets entre une personne portant un simulateur et une
567 personne vieillissante est différente et amène plusieurs questionnements. En effet, lors du port d'un
568 simulateur de vieillissement, les changements sensorimoteurs sont soudains tandis que lors du
569 processus de vieillissement, les changements sensorimoteurs sont progressifs et réguliers. Ainsi,
570 les effets – ou l'absence d'effet – observés sur la cognition lors du port du simulateur pourraient
571 s'expliquer par cette différence majeure. Il serait néanmoins possible de contrôler, au moins en
572 partie, cette limite dans une étude comparant les effets physiques et cognitifs observés lors de
573 différents temps de port du simulateur. Ainsi, nous pourrions être capables d'évaluer le poids de
574 cette limite.

575 Dans un second temps, le vieillissement est un processus hétérogène, impliquant de
576 nombreuses variables, tant génétiques qu'environnementales. Ainsi, les effets de certaines de ces
577 variables, notamment les variables environnementales, peuvent être pris en considération lors du
578 port d'un simulateur de vieillesse : par exemple, les effets de l'âge (simulés par le port de la

579 combinaison vieillissante) sur les tâches motrices (et peut-être cognitives) pourraient être réduits
580 chez les participants pratiquant de l'activité physique. Cet élément, bien qu'évoqué dans certaines
581 études sur les diminutions motrices liées au simulateur (par ex. Vieweg & Schaefer, 2020), n'est
582 pas pris en compte dans les caractéristiques des individus jeunes portant le simulateur. Cependant
583 toutes les variables intervenant dans le processus de vieillissement ne peuvent pas être étudiées par
584 le simulateur de vieillissement (par ex. génétique), et l'aspect hétérogène du vieillissement pourrait
585 donc être moins bien reflété qu'en réalité. En effet, les déclin sensorimoteurs comme cognitifs au
586 cours du vieillissement dépendent de variables génétiques et environnementales. Il est alors
587 difficile de simuler, à l'aide de ces combinaisons vieillissantes, les effets de l'âge liés aux facteurs
588 génétiques. Ainsi, les simulateurs de vieillissement mimeraient une avancée en âge supposée,
589 indépendante de ces facteurs génétiques.

590 Dans le même ordre d'idée, parmi les éléments constituant les simulateurs de vieillissement,
591 nous retrouvons des poids ou des entraves dans le but de reproduire la sarcopénie (i.e.,
592 augmentation de la masse grasse et diminution de la masse musculaire) et limitant l'amplitude des
593 mouvements. Cependant les poids, comme les entraves, sont similaires pour chaque personne
594 jeune, aucune norme ne précisant le poids à ajouter (par ex. pourcentage de poids en fonction du
595 poids de base). Le vieillissement étant hétérogène et dépendant de nombreuses variables, il est
596 probable que les modifications apportées par les simulateurs soient trop importantes ou au contraire
597 pas assez importantes (par ex. trop ou pas assez de poids supplémentaires). Ce point n'est, à notre
598 connaissance, pas abordé dans les articles concernant les effets moteurs induits par le simulateur et
599 mériterait une plus grande investigation.

600 Par ailleurs, les simulateurs ne permettent pas de simuler la totalité des modifications
601 sensorimotrices observées au cours du vieillissement. Par exemple, pour la vision, les dispositifs

602 utilisés dans un grand nombre des simulateurs – hors dispositifs complémentaires simulant les
603 pathologies visuelles – mimeraient seulement une partie des modifications visuelles : modification
604 de la perception des couleurs, sensibilité plus importante à la lumière éblouissante et rétrécissement
605 du champ visuel. D'autres difficultés visuelles liées au vieillissement, telle que la diminution de
606 l'acuité, ne sont alors pas simulés. L'audition peut également être un exemple de limites dans la
607 simulation des déclin sensoriels liés à l'âge. Comme précisé auparavant, une grande partie des
608 simulateurs utilisent des casques auditifs classiques limitant l'entrée de son de manière générale et
609 non spécifique aux sons aigus. Le processus de vieillissement induit une perte auditive commençant
610 par les fréquences aiguës, pouvant être accentuée en cas de troubles. Les simulateurs induisant,
611 pour la plupart, une perte auditive non sélective, ce déclin pourrait être plus important avec le port
612 du simulateur que lors du vieillissement normal.

613 Enfin, les interprétations des résultats de ces futures études devront être précautionneuses.
614 Contrairement à une attelle (Villatte et al., 2021) ou une posture interférente (Dijkstra, Kaschak et
615 Zwaan, 2007), ces simulateurs permettraient de reproduire plus précisément les déclin
616 sensorimoteurs concomitants au cours du vieillissement décrit par Correia et al. (2016), et se
617 rapprocheraient donc du processus réel de vieillissement. Ainsi, les conclusions des futures études
618 pourront éclairer plus précisément notre connaissance du vieillissement, sans toutefois omettre
619 l'impact éventuel de la modification motrice induite par le simulateur lors de l'interprétation de ces
620 futurs résultats. Enfin, en dehors du simulateur de vieillissement, la compréhension des liens entre
621 changements sensorimoteurs et cognitifs avec l'avancée en âge devrait également faire l'objet
622 d'études longitudinales dans le but d'évaluer au mieux ces deux déclin conjointement.

623 Pour conclure, la compréhension des changements sensorimoteurs et cognitifs liés à
624 l'avancée en âge étant un enjeu sociétal important, il est important de mieux appréhender les liens

625 entre modifications sensorielles et cognitives. En effet, d'un point de vue théorique, une meilleure
626 connaissance des liens entre processus sensoriels et/ou moteurs et cognition est indispensable à la
627 caractérisation des déclin cognitifs au cours du vieillissement, et particulièrement des processus
628 mnésiques relatifs aux plaintes des personnes âgées. En prenant ce point de vue incarné, nous
629 pouvons étudier le vieillissement par le biais de nombreux outils, y compris les simulateurs de
630 vieillissement encore peu utilisés dans la recherche sur le vieillissement cognitif. Enfin, s'il s'avère
631 que des liens importants existent entre les altérations sensorimotrices et cognitives, leur mise en
632 évidence serait une aide précieuse aux professionnels prenant en charge les personnes âgées,
633 notamment les personnes âgées dépendantes. Les évaluations et aides proposées pourraient alors
634 être adaptées afin de stimuler les difficultés de ces personnes âgées par différentes techniques,
635 combinant sensorialité, motricité et cognition. Ainsi, ce nouveau point de vue permettrait à fois de
636 mieux comprendre le vieillissement cognitif et d'amener de nouveaux questionnements comme de
637 nouvelles interventions auprès de personnes âgées.

638

639 **Conflit d'intérêt : aucun**

640 Angevaren, M., Aufdemkampe, G., Verhaar, H., Aleman, A., & Vanhees, L. (2008). Physical
641 activity and enhanced fitness to improve cognitive function in older people without known
642 cognitive impairment. In The Cochrane Collaboration (Éd.), *Cochrane Database of Systematic*
643 *Reviews*, (3), CD005381. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD005381.pub3>

644 Anstey, K. J., Luszcz, M. A., & Sanchez, L. (2001). Two-Year Decline in Vision but Not Hearing
645 Is Associated with Memory Decline in Very Old Adults in a Population-Based Sample.
646 *Gerontology*, 47(5), 289-293. <https://doi.org/10.1159/000052814>

647 Atkinson, H. H., Rosano, C., Simonsick, E. M., Williamson, J. D., Davis, C., Ambrosius, W. T.,
648 Rapp, S. R., Cesari, M., Newman, A. B., Harris, T. B., Rubin, S. M., Yaffe, K., Satterfield, S., &
649 Kritchevsky, S. B. (2007). Cognitive Function, Gait Speed Decline, and Comorbidities : The
650 Health, Aging and Body Composition Study. *The Journals of Gerontology: Series A*, 62(8), 844-
651 850. <https://doi.org/10.1093/gerona/62.8.844>

652 Audiffren, M., André, N., & Albinet, C. (2011). Effets positifs de l'exercice physique chronique
653 sur les fonctions cognitives des seniors: bilan et perspectives. *Revue de neuropsychologie*, 3(4),
654 207-225. <https://doi.org/10.3917/rne.034.0207>

655 Baltes, P. B., & Lindenberger, U. (1997). Emergence of a Powerful Connection Between Sensory
656 and Cognitive Functions Across the Adult Life Span : A New Window to the Study of Cognitive
657 Aging? *Psychology and aging*, 12(1), 12-21. <https://doi.org/10.1037//0882-7974.12.1.12>

658 Barha, C. K., Davis, J. C., Falck, R. S., Nagamatsu, L. S., & Liu-Ambrose, T. (2017). Sex
659 differences in exercise efficacy to improve cognition : A systematic review and meta-analysis of
660 randomized controlled trials in older humans. *Frontiers in Neuroendocrinology*, 46, 71-85.
661 <https://doi.org/10.1016/j.yfrne.2017.04.002>

662 Barry, B. K., & Carson, R. G. (2004). The Consequences of Resistance Training for Movement
663 Control in Older Adults. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical*
664 *Sciences*, 59(7), M730-M754. <https://doi.org/10.1093/gerona/59.7.M730>

665 Barsalou, L. W. (2008). Grounded Cognition. *Annual Review of Psychology*, 59(1), 617-645.
666 <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093639>

667 Bassolino, M., Bove, M., Jacono, M., Fadiga, L., & Pozzo, T. (2012). Functional effect of short-
668 term immobilization: kinematic changes and recovery on reaching-to-grasp. *Neuroscience*, 215,
669 127–134. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2012.04.019>

670 Beaudoin, M., Barra, J., Dupraz, L., Mollier-Sabet, P., & Guerraz, M. (2020). The impact of
671 embodying an “elderly” body avatar on motor imagery. *Experimental Brain Research*, 238(6),
672 1467-1478. <https://doi.org/10.1007/s00221-020-05828-5>

673 Bherer, L., & Pothier, K. (2021). Physical Activity and Exercise. In T. Strobach & J. Karbach
674 (Éds.), *Cognitive Training* (p. 319-330). Springer International Publishing.
675 https://doi.org/10.1007/978-3-030-39292-5_22

676 Bidet-Ildei, C., Meugnot, A., Beauprez, S.-A., Gimenes, M., & Toussaint, L. (2017). Short-term
677 upper limb immobilization affects action-word understanding. *Journal of Experimental*
678 *Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 43(7), 1129-1139.
679 <https://doi.org/10.1037/xlm0000373>

680 Boisgontier, M. P., Olivier, I., Chenu, O., & Nougier, V. (2012). Presbypropria : The effects of
681 physiological ageing on proprioceptive control. *AGE*, 34(5), 1179-1194.
682 <https://doi.org/10.1007/s11357-011-9300-y>

683 Bouazzaoui, B., Follenfant, A., Ric, F., Fay, S., Croizet, J.-C., Atzeni, T., & Taconnat, L. (2016).
684 Ageing-related stereotypes in memory : When the beliefs come true. *Memory*, 24(5), 659-668.
685 <https://doi.org/10.1080/09658211.2015.1040802>

686 Bouccara, D., Ferrary, E., Mosnier, I., Bozorg Grayeli, A., & Sterkers, O. (2005). Presbyacousie.
687 *EMC - Oto-rhino-laryngologie*, 2(4), 329-342. <https://doi.org/10.1016/j.emcorl.2005.09.004>

688 Boulenger, V., Roy, A. C., Paulignan, Y., Deprez, V., Jeannerod, M., & Nazir, T. A. (2006).
689 Cross-talk between Language Processes and Overt Motor Behavior in the First 200 msec of
690 Processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(10), 1607-1615.
691 <https://doi.org/10.1162/jocn.2006.18.10.1607>

692 Bowden, A., Wilson, V., Traynor, V., & Chang, H. (Rita). (2020). Exploring the use of ageing
693 simulation to enable nurses to gain insight into what it is like to be an older person. *Journal of*
694 *Clinical Nursing*, 29(23-24), 4561-4572. <https://doi.org/10.1111/jocn.15484>

695 Buccino, G., Riggio, L., Melli, G., Binkofski, F., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2005). Listening
696 to action-related sentences modulates the activity of the motor system : A combined TMS and
697 behavioral study. *Cognitive Brain Research*, 24(3), 355-363.
698 <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.02.020>

699 Canits, I., Pecher, D., & Zeelenberg, R. (2018). Effects of grasp compatibility on long-term
700 memory for objects. *Acta Psychologica*, 182, 65-74. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2017.11.009>

701 Cheng, W. L.-S., Ma, P. K., Lam, Y. Y., Ng, K. C., Ling, T. K., Yau, W. H., Chui, Y. W., Tsui,
702 H. M., & Li, P. P. (2020). Effects of Senior Simulation Suit Programme on nursing students'
703 attitudes towards older adults : A randomized controlled trial. *Nurse Education Today*, 88,
704 104330. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2020.104330>

705 Chisolm, T. H., Willott, J. F., & Lister, J. J. (2003). The aging auditory system : Anatomic and
706 physiologic changes and implications for rehabilitation. *International Journal of Audiology*,
707 42(sup2), 3-10. <https://doi.org/10.3109/14992020309074637>

708 Colcombe, S., & Kramer, A. F. (2003). Fitness Effects on the Cognitive Function of Older
709 Adults : A Meta-Analytic Study. *Psychological Science*, 14(2), 125-130.
710 <https://doi.org/10.1111/1467-9280.t01-1-01430>

711 Correia, C., Lopez, K. J., Wroblewski, K. E., Huisingh-Scheetz, M., Kern, D. W., Chen, R. C.,
712 Schumm, L. P., Dale, W., McClintock, M. K., & Pinto, J. M. (2016). Global Sensory Impairment
713 in Older Adults in the United States. *Journal of the American Geriatrics Society*, 64(2), 306–313.
714 <https://doi.org/10.1111/jgs.13955>

715 Cortese, M. J., Khanna, M. M., & Von Nordheim, D. (2019). Incidental memory for colour word
716 associates processed in colour naming and reading aloud tasks : Is a blue *ocean* more memorable
717 than a yellow one? *Memory*, 27(7), 924-930. <https://doi.org/10.1080/09658211.2019.1607877>

718 Costello, M. C., & Bloesch, E. K. (2017). Are older adults less embodied? A review of age
719 effects through the lens of embodied cognition. *Frontiers in Psychology*, 8, 267.
720 <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00267>

721 Danckert, S. L., & Craik, F. I. M. (2013). Does aging affect recall more than recognition
722 memory? *Psychology and Aging*, 28(4), 902-909. <https://doi.org/10.1037/a0033263>

723 de Vega, M., Dutriaux, L., Moreno, I. Z., García-Marco, E., Seigneuric, A., & Gyselinck, V.
724 (2021). Crossing hands behind your back reduces recall of manual action sentences and alters
725 brain dynamics. *Cortex*, 140, 51-65. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2021.03.016>

726 Díez-Álamo, A. M., Díez, E., Alonso, M. A., & Fernandez, A. (2019). Absence of posture-
727 dependent and posture-congruent memory effects on the recall of action sentences. *PLOS ONE*,
728 *14*(12), e0226297. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226297>

729 Dijksterhuis, A., Spears, R., & Lépinasse, V. (2001). Reflecting and Deflecting Stereotypes:
730 Assimilation and Contrast in Impression Formation and Automatic Behavior. *Journal Of*
731 *Experimental Social Psychology*, *37*(4), 286-299. <https://doi.org/10.1006/jesp.2000.1449>

732 Dijkstra, K., & Post, L. (2015). Mechanisms of embodiment. *Frontiers In Psychology*, *6*.
733 <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01525>

734 Dijkstra, K., Kaschak, M. P., & Zwaan, R. A. (2007). Body posture facilitates retrieval of
735 autobiographical memories. *Cognition*, *102*(1), 139-149.
736 <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2005.12.009>

737 Dutriaux, L., & Gyselinck, V. (2016a). Learning Is Better with the Hands Free : The Role of
738 Posture in the Memory of Manipulable Objects. *PLOS ONE*, *11*(7), e0159108.
739 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159108>

740 Dutriaux, L., & Gyselinck, V. (2016b). Cognition incarnée : Un point de vue sur les
741 représentations spatiales. *L'Année psychologique*, *116*(03), 419-465.
742 <https://doi.org/10.4074/S0003503316000373>

743 Dutriaux, L., Nicolas, S., & Gyselinck, V. (2021). Aging and posture in the memory of
744 manipulable objects. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *28*(1), 26-36.
745 <https://doi.org/10.1080/13825585.2019.1708252>

746 Ferrell, W. R., Crighton, A., & Sturrock, R. D. (1992). *Age-dependent changes in position sense*
747 *in human proximal interphalangeal joints*. 3(3), 259-261. [https://doi.org/10.1097/00001756-](https://doi.org/10.1097/00001756-199203000-00011)
748 199203000-00011

749 Follenfant, A., Légal, J., Marie Dit Dinard, F., & Meyer, T. (2005). Effet de l'activation de
750 stéréotypes sur le comportement : une application en contexte sportif. *European Review Of*
751 *Applied Psychology*, 55(2), 121-129. <https://10.1016/j.erap.2005.02.002>

752 Frison, A.-K., Aigner, L., Wintersberger, P., & Riener, A. (2018). Who is Generation A? :
753 Investigating the Experience of Automated Driving for Different Age Groups. *Proceedings of the*
754 *10th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular*
755 *Applications*, 94-104. <https://doi.org/10.1145/3239060.3239087>

756 Gaggioli, A., Settimi, C., Cipresso, P., Pedroli, E., Stramba-Badiale, M., & Riva, G. (2018).
757 Using an Aging Simulator Suit for Modeling Visuo-Motor Limitations of Elderly Users
758 Interacting with a Mobile Application : Feasibility Study. In P. Cipresso, S. Serino, Y. Ostrovsky,
759 & J. T. Baker (Éds.), *Pervasive Computing Paradigms for Mental Health* (Vol. 253, p. 24-33).
760 Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01093-5_4

761 Godde, B., & Voelcker-Rehage, C. (2017). Cognitive Resources Necessary for Motor Control in
762 Older Adults Are Reduced by Walking and Coordination Training. *Frontiers in human*
763 *neuroscience*, 11, 156. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00156>

764 Gong, H., Sun, L., Yang, R., Pang, J., Chen, B., & Qi, R. et al. (2019). Changes of upright body
765 posture in the sagittal plane of men and women occurring with aging – a cross sectional study.
766 *BMC Geriatrics*, 19(1). <https://10.1186/s12877-019-1096-0>

767 Grossniklaus, H. E., Nickerson, J. M., Edelhauser, H. F., Bergman, L. A. M. K., & Berglin, L.
768 (2013). Anatomic Alterations in Aging and Age-Related Diseases of the Eye. *Investigative*
769 *Ophthalmology & Visual Science*, 54(14), ORSF23. <https://doi.org/10.1167/iovs.13-12711>

770 Groza, H. L., Sebesi, S. B., & Mandru, D. S. (2017). Age Simulation Suits for Training, Research
771 and Development. In S. Vlad & N. M. Roman (Éds.), *International Conference on Advancements*
772 *of Medicine and Health Care through Technology; 12th—15th October 2016, Cluj-Napoca,*
773 *Romania* (Vol. 59, p. 77-80). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-](https://doi.org/10.1007/978-3-319-52875-5_17)
774 [319-52875-5_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-52875-5_17)

775 Guralnik, J. M., Simonsick, E. M., Ferrucci, L., Glynn, R. J., Berkman, L. F., Blazer, D. G.,
776 Scherr, P. A., & Wallace, R. B. (1994). A short physical performance battery assessing lower
777 extremity function: association with self-reported disability and prediction of mortality and
778 nursing home admission. *Journal of gerontology*, 49(2), M85–M94.
779 <https://doi.org/10.1093/geronj/49.2.m85>

780 Gussekloo, J., de Craen, A. J. M., Oduber, C., van Boxtel, M. P. J., & Westendorp, R. G. J.
781 (2005). Sensory Impairment and Cognitive Functioning in Oldest-Old Subjects : The Leiden 85+
782 Study. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, 13(9), 781-786.
783 <https://doi.org/10.1097/00019442-200509000-00006>

784 Hausdorff, J. M., Yogev, G., Springer, S., Simon, E. S., & Giladi, N. (2005). Walking is more
785 like catching than tapping: gait in the elderly as a complex cognitive task. *Experimental brain*
786 *research*, 164(4), 541–548. <https://doi.org/10.1007/s00221-005-2280-3>

787 Hauk, O., Johnsrude, I., & Pulvermüller, F. (2004). Somatotopic Representation of Action Words
788 in Human Motor and Premotor Cortex. *Neuron*, 41(2), 301-307. <https://doi.org/10.1016/S0896->
789 6273(03)00838-9

790 Hofer, S. M., Berg, S., & Era, P. (2003). Evaluating the interdependence of aging-related changes
791 in visual and auditory acuity, balance, and cognitive functioning. *Psychology and Aging*, 18(2),
792 285-305. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.18.2.285>

793 Hsu, H.-C., Lee, C. Y., & Lee, C. H. (2016). Effects of Aging Simulation Program on Nurses'
794 Attitudes and Willingness toward Elder Care. *Taiwan Geriatr Gerontol*, 11(2), 105-115.

795 Humes, L. E., Busey, T. A., Craig, J., & Kewley-Port, D. (2013). Are age-related changes in
796 cognitive function driven by age-related changes in sensory processing? *Attention, Perception, &*
797 *Psychophysics*, 75(3), 508-524. <https://doi.org/10.3758/s13414-012-0406-9>

798 Hurley, M. V., Rees, J., & Newham, D. J. (1998). Quadriceps function, proprioceptive acuity and
799 functional performance in healthy young, middle-aged and elderly subjects. *Age and Ageing*,
800 27(1), 55-62. <https://doi.org/10.1093/ageing/27.1.55>

801 Jeong, H., & Kwon, H. (2021). Long-term effects of an aging suit experience on nursing college
802 students. *Nurse Education in Practice*, 50, 102923. <https://doi.org/10.1016/j.nepr.2020.102923>

803 Kaplan, F. S., Nixon, J. E., Reitz, M., Rindfleish, L., & Tucker, J. (1985). Age-related changes in
804 proprioception and sensation of joint position. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 56(1), 72-74.
805 <https://doi.org/10.3109/17453678508992984>

806 Kelly, M. E., Loughrey, D., Lawlor, B. A., Robertson, I. H., Walsh, C., & Brennan, S. (2014).
807 The impact of exercise on the cognitive functioning of healthy older adults : A systematic review
808 and meta-analysis. *Ageing Research Reviews*, 16, 12-31. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2014.05.002>

809 Kenshalo D. R., Sr (1986). Somesthetic sensitivity in young and elderly humans. *Journal of*
810 *gerontology*, 41(6), 732–742. <https://doi.org/10.1093/geronj/41.6.732>

811 Körner, A., Topolinski, S., & Strack, F. (2015). Routes to embodiment. *Frontiers in Psychology*,
812 6, Article 940. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00940>

813 Lauenroth, A., Schulze, S., Ioannidis, A., Simm, A., & Schwesig, R. (2017). Effect of an Age
814 Simulation Suit on Younger Adults' Gait Performance Compared to Older Adults' Normal Gait.
815 *Research in Gerontological Nursing*, 10(5), 227-233. [https://doi.org/10.3928/19404921-](https://doi.org/10.3928/19404921-20170831-04)
816 20170831-04

817 Lavallière, M., D'Ambrosio, L., Gennis, A., Burstein, A., Godfrey, K. M., Waerstad, H., Puleo,
818 R. M., Lauenroth, A., & Coughlin, J. F. (2017). Walking a mile in another's shoes : The impact
819 of wearing an Age Suit. *Gerontology & Geriatrics Education*, 38(2), 171-187.
820 <https://doi.org/10.1080/02701960.2015.1079706>

821 Lee, S. W. H., & Teh, P.-L. (2020). "Suiting Up" to Enhance Empathy Toward Aging : A
822 Randomized Controlled Study. *Frontiers in Public Health*, 8, 376.
823 <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00376>

824 Li, S.-C., Jordanova, M., & Lindenberger, U. (1998). From good senses to good sense : A link
825 between tactile information processing and intelligence. *Intelligence*, 26(2), 99-122.
826 [https://doi.org/10.1016/S0160-2896\(99\)80057-9](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(99)80057-9)

827 Lin, F. R. (2011). Hearing Loss and Cognition Among Older Adults in the United States. *The*
828 *Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 66A(10), 1131-
829 1136. [https://doi.org/10.1093/gerona/66A\(10\)1131](https://doi.org/10.1093/gerona/66A(10)1131)

830 Lin, F. R., Yaffe, K., Xia, J., Xue, Q.-L., Harris, T. B., Purchase-Helzner, E., Satterfield, S.,
831 Ayonayon, H. N., Ferrucci, L., Simonsick, E. M., & Health ABC Study Group, for the. (2013).
832 Hearing Loss and Cognitive Decline in Older Adults. *JAMA Internal Medicine*, 173(4), 293.
833 <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2013.1868>

834 Lindenberger, U., & Baltes, P. B. (1994). Sensory Functioning and Intelligence in Old Age : A
835 Strong Connection. *Psychology and aging*, 9(3), 339–355. [https://doi.org/10.1037//0882-](https://doi.org/10.1037//0882-7974.9.3.339)
836 [7974.9.3.339](https://doi.org/10.1037//0882-7974.9.3.339)

837 Marquié, J. C., & Isingrini, M. (2001). Aspects cognitifs du vieillissement normal. In Aubert,, E.
838 & Albaret, J.M. (Eds.), *Viellissement et psychomotricité*. Marseille: Solal, pp. 77-113

839 Martin, A., Haxby, J. V., Lalonde, F. o. M., Wiggs, C. L., & Ungerleider, L. G. (1995). Discrete
840 Cortical Regions Associated with Knowledge of Color and Knowledge of Action. *Science*,
841 270(5233), 102-105. <https://doi.org/10.1126/science.270.5233.102>

842 Martin, A., Wiggs, C. L., Ungerleider, L. G., & Haxby, J. V. (1996). Neural correlates of
843 category-specific knowledge. *Nature*, 379(6566), 649-652. <https://doi.org/10.1038/379649a0>

844 Meugnot, A., Almecija, Y., & Toussaint, L. (2014). The embodied nature of motor imagery
845 processes highlighted by short-term limb immobilization. *Experimental Psychology*, 61(3), 180-
846 186. <https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000237>

847 Mille, J., Brambati, S. M., Izaute, M., & Vallet, G. T. (2021). Low-Resolution Neurocognitive
848 Aging and Cognition: An Embodied Perspective. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 78.
849 <https://doi.org/10.3389/fnsys.2021.687393>

850 Moïello, C., Bove, M., Huber, R., Abbruzzese, G., Battaglia, F., Tononi, G., & Ghilardi, M. F.
851 (2008). Short-term limb immobilization affects motor performance. *Journal of motor behavior*,
852 40(2), 165–176. <https://doi.org/10.3200/JMBR.40.2.165-176>

853 Mollo, G., Pulvermüller, F., & Hauk, O. (2016). Movement priming of EEG/MEG brain
854 responses for action-words characterizes the link between language and action. *Cortex*, 74, 262-
855 276. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2015.10.021>

856 Mondon, K., Naudin, M., Beaufile, É., & Atanasova, B. (2014). Perception of taste and smell in
857 normal and pathological aging: an update. *Gériatrie Et Psychologie Neuropsychiatrie Du*
858 *Viellissement*, 12(3), 313-320. <https://doi.org/10.1684/pnv.2014.0484>

859 Moore, D. R., Edmondson-Jones, M., Dawes, P., Fortnum, H., McCormack, A., Pierzycki, R. H.,
860 & Munro, K. J. (2014). Relation between Speech-in-Noise Threshold, Hearing Loss and
861 Cognition from 40–69 Years of Age. *PLoS ONE*, 9(9), e107720.
862 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0107720>

863 Ono, Y., Iwayama, K., Tanaka, E., Ashida, T., & Komasa, Y. (2017). Learning effects of aging
864 simulation-based training Analysis using text mining. *Journal of Osaka Dental University*, 51(2),
865 131-135. https://doi.org/10.18905/jodu.51.2_131

866 Pai, Y.-C., Rymer, W. Z., Chang, R. W., & Sharma, L. (1997). Effect of age and osteoarthritis on
867 knee proprioception. *Arthritis & Rheumatism*, 40(12), 2260-2265.
868 <https://doi.org/10.1002/art.1780401223>

869 Pulvermüller, F., Hauk, O., Nikulin, V. V., & Ilmoniemi, R. J. (2005). Functional links between
870 motor and language systems : Functional links between motor and language systems. *European*
871 *Journal of Neuroscience*, 21(3), 793-797. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2005.03900.x>

872 Quigley, A., MacKay-Lyons, M., & Eskes, G. (2020). Effects of Exercise on Cognitive
873 Performance in Older Adults : A Narrative Review of the Evidence, Possible Biological
874 Mechanisms, and Recommendations for Exercise Prescription. *Journal of Aging Research*, 2020,
875 1-15. <https://doi.org/10.1155/2020/1407896>

876 Rey, A. E., Riou, B., Vallet, G. T., & Versace, R. (2017). The automatic visual simulation of
877 words: A memory reactivated mask slows down conceptual access. *Canadian Journal of*
878 *Experimental Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, 71(1), 14-22.
879 <https://doi.org/10.1037/cep0000100>

880 Roberts, K. L., & Allen, H. A. (2016). Perception and Cognition in the Ageing Brain : A Brief
881 Review of the Short- and Long-Term Links between Perceptual and Cognitive Decline. *Frontiers*
882 *in Aging Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2016.00039>

883 Roll, J.-P. (2003). Physiologie de la kinesthèse. La proprioception musculaire: Sixième sens ou
884 sens premier? [Physiology of kinaesthesia. Muscular proprioception: Sixth sense or primary
885 sense?]. *Intellectica*, 36-37, 49–66. <https://doi.org/10.3406/intel.2003.1676>

886 Salvi, S. M. (2006). Ageing changes in the eye. *Postgraduate Medical Journal*, 82(971), 581-
887 587. <https://doi.org/10.1136/pgmj.2005.040857>

888 Sari, D., Taskiran, N., Baysal, E., Acar, E., & Cevik Akyil, R. (2020). Effect of an aged
889 simulation suit on nursing students' attitudes and empathy. *European Geriatric Medicine*, 11(4),
890 667-675. <https://doi.org/10.1007/s41999-020-00316-z>

891 Seidler, R. D., Bernard, J. A., Burutolu, T. B., Fling, B. W., Gordon, M. T., Gwin, J. T., Kwak,
892 Y., & Lipps, D. B. (2010). Motor control and aging : Links to age-related brain structural,

893 functional, and biochemical effects. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(5), 721-733.
894 <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.10.005>

895 Simmons, W. K., Martin, A., & Barsalou, L. W. (2005). Pictures of Appetizing Foods Activate
896 Gustatory Cortices for Taste and Reward. *Cerebral Cortex*, 15(10), 1602-1608.
897 <https://doi.org/10.1093/cercor/bhi038>

898 Stern, Y. (2002). What is cognitive reserve? Theory and research application of the reserve
899 concept. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 8(3), 448-460.
900 <https://doi.org/10.1017/S1355617702813248>

901 Tannenbaum, C. (2005). Older women's health priorities and perceptions of care delivery :
902 Results of the WOW health survey. *Canadian Medical Association Journal*, 173(2), 153-159.
903 <https://doi.org/10.1503/cmaj.050059>

904 Toussaint, L., & Meugnot, A. (2013). Short-term limb immobilization affects cognitive motor
905 processes. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 39(2), 623-632.
906 <https://doi.org/10.1037/a0028942>

907 Valentijn, S. A. M., Van Boxtel, M. P. J., Van Hooren, S. A. H., Bosma, H., Beckers, H. J. M.,
908 Ponds, R. W. H. M., & Jolles, J. (2005). Change in Sensory Functioning Predicts Change in
909 Cognitive Functioning : Results from a 6-Year Follow-Up in the Maastricht Aging Study:
910 sensory function and cognitive change. *Journal of the American Geriatrics Society*, 53(3), 374-
911 380. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53152.x>

912 Vallet, G. T. (2015). Embodied cognition of aging. *Frontiers in Psychology*, 6:463.
913 <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00463>

914 Vallet, G. T., Brunel, L., & Versace, R. (2010). The Perceptual Nature of the Cross-Modal
915 Priming Effect. *Experimental Psychology*, 57(5), 376-382. [https://doi.org/10.1027/1618-](https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000045)
916 3169/a000045

917 Vallet, G. T., Hudon, C., Bier, N., Macoir, J., Versace, R., & Simard, M. (2017). A SEMantic and
918 EPisodic Memory Test (SEMEP) Developed within the Embodied Cognition Framework :
919 Application to Normal Aging, Alzheimer's Disease and Semantic Dementia. *Frontiers in*
920 *Psychology*, 8, 1493. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01493>

921 Valet, G. T., Simard, M., & Versace, R. (2011). Sensory-Dependent Knowledge in Young and
922 Elderly Adults: Argument from the Cross-Modal Priming Effect. *Current Aging Science*, 4(2).
923 <https://doi.org/10.2174/1874609811104020137>

924 Vallet, G. T., Simard, M., Versace, R., & Mazza, S. (2013). The perceptual nature of audiovisual
925 interactions for semantic knowledge in young and elderly adults. *Acta Psychologica*, 143(3), 253-
926 260. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2013.04.009>

927 van Dam, W. O., Rueschemeyer, S.-A., Bekkering, H., & Lindemann, O. (2013). Embodied
928 Grounding of Memory : Toward the Effects of Motor Execution on Memory consolidation.
929 *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 66(12), 2310-2328.
930 <https://doi.org/10.1080/17470218.2013.777084>

931 VanSwearingen, J. M., & Studenski, S. A. (2014). Aging, Motor Skill, and the Energy Cost of
932 Walking : Implications for the Prevention and Treatment of Mobility Decline in Older Persons.
933 *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 69(11), 1429-
934 1436. <https://doi.org/10.1093/gerona/glu153>

935 Verrillo, R. T. (1980). Age related changes in the sensitivity to vibration. *Journal of Gerontology*,
936 35(2), 185-193. <https://doi.org/10.1093/geronj/35.2.185>

937 Versace, R., Brouillet, D., Vallet, G. (2018). *Cognition incarnée: Une cognition située et projetée*.
938 Wavre: Mardaga.

939 Verschueren, S. M. P., Brumagne, S., Swinnen, S. P., & Cordo, P. J. (2002). The effect of aging
940 on dynamic position sense at the ankle. *Behavioural Brain Research*, 136(2), 593-603.
941 [https://doi.org/10.1016/S0166-4328\(02\)00224-3](https://doi.org/10.1016/S0166-4328(02)00224-3)

942 Vieweg, J., & Schaefer, S. (2020). How an Age Simulation Suit affects Motor and Cognitive
943 Performance and Self-perception in Younger Adults. *Experimental Aging Research*, 46(4), 273-
944 290. <https://doi.org/10.1080/0361073X.2020.1766299>

945 Villatte, J., Tacconnat, L., Bidet-Ildei, C., & Toussaint, L. (2022). The role of implicit motor
946 simulation on action verb memory. *Psychological Research*. [https://doi.org/10.1007/s00426-022-](https://doi.org/10.1007/s00426-022-01671-1)
947 01671-1

948 Villatte, J., Tacconnat, L., Bidet-Ildei, C., & Toussaint, L. (2021). Short-term upper limb
949 immobilization and the embodied view of memory : A pilot study. *PLOS ONE*, 16(3), e0248239.
950 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248239>

951 Wechsler, D. (1997). Wechsler adult intelligence scale, 3rd Edition (WAIS-III). San Antonio,
952 TX: The Psychological Corporation

953 Wickremaratchi, M. M. (2006). Effects of ageing on touch. *Postgraduate Medical Journal*,
954 82(967), 301-304. <https://doi.org/10.1136/pgmj.2005.039651>

- 955 Willems, R. M., Labruna, L., D'Esposito, M., Ivry, R., & Casasanto, D. (2011). A Functional
956 Role for the Motor System in Language Understanding : Evidence From Theta-Burst
957 Transcranial Magnetic Stimulation. *Psychological Science*, 22(7), 849-854.
958 <https://doi.org/10.1177/0956797611412387>
- 959 Woodhull-McNeal, A. (1992). Changes in posture and balance with age. *Aging Clinical And*
960 *Experimental Research*, 4(3), 219-225. <https://10.1007/bf03324095>
- 961 Xue, G. (2018). The neural representations underlying human episodic memory. *Trends in*
962 *Cognitive Sciences*, 22(6), 544–561. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.03.004>
- 963 Yu, Z., & Wang, L. (2017). Do Physical Properties Affect Enactment Effect? The Regulatory
964 Function of Item Familiarity. *The American Journal of Psychology*, 130(3), 315.
965 <https://doi.org/10.5406/amerjpsyc.130.3.0315>
- 966 Zeelenberg, R., Remmers, S., Blaauwgeers, F., & Pecher, D. (2020). The Influence of Poststudy
967 Action Congruency on Memory Consolidation. *Experimental Psychology*, 67(4), 211-223.
968 <https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000490>