



HAL
open science

L'effet Proteus : Performances motrices et cognitives en situation d'incorporation d'un avatar

Louise Dupraz

► **To cite this version:**

Louise Dupraz. L'effet Proteus : Performances motrices et cognitives en situation d'incorporation d'un avatar. Psychologie. Université Savoie Mont Blanc, 2024. Français. NNT : 2024CHAMA006 . tel-04719334

HAL Id: tel-04719334

<https://theses.hal.science/tel-04719334v1>

Submitted on 3 Oct 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.

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ SAVOIE MONT BLANC

Spécialité : **Sciences cognitives, Psychologie et Neurocognition**

Arrêté ministériel : 25 Mai 2016

Présentée par

Louise DUPRAZ

Thèse dirigée par **Julien BARRA**,
co-dirigée par **Michel GUERRAZ** et
co-encadrée par **Marine BEAUDOIN**

préparée au sein du **Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition**
(LPNC, UMR CNRS 5105)
dans l'**École Doctorale Ingénierie pour la Santé, la Cognition et**
l'**Environnement (EDISCE)**

L'effet Proteus : Performances motrices et cognitives en situation d'incorporation d'un avatar.

Thèse soutenue publiquement le **29 mai 2024**,
devant le jury composé de :

Monsieur Simon RICHIR

Professeur des Universités, Institut des Arts et Métiers Paristech, Rapporteur

Madame Laurence TACONNAT

Professeure des Universités, Université de Tours, Rapportrice

Madame Aïna CHALABAEV

Professeure des Universités, Université Grenoble Alpes, Examinatrice

Madame Marion LUYAT

Professeure des Universités, Université de Lille, Examinatrice

Monsieur Jean-Marie NORMAND

Professeur des Universités, Ecole centrale de Nantes, Examineur, Président du jury

Monsieur Julien BARRA

Maître de Conférences, Université Savoie Mont Blanc, Co-directeur de thèse

Monsieur Michel GUERRAZ

Professeur des Universités, Université Savoie Mont Blanc, Co-directeur de thèse

Madame Marine BEAUDOIN

Maître de Conférences, Université Savoie Mont Blanc, Encadrante de thèse

Remerciements

Je remercie tout d'abord très sincèrement les membres de mon jury, les professeur·e·s Simon Richir, Laurence Taconnat, Aïna Chalabaev, Marion Luyat et Jean-Marie Normand, d'avoir accepté de participer et de dédier du temps à l'évaluation de ce travail de thèse. C'est un grand honneur.

Bien sûr, je remercie mes directeurs de thèse, Julien Barra, Michel Guerraz et Marine Beaudoin. Julien, merci de m'avoir encadrée en veillant toujours à considérer mon point de vue et en me laissant l'autonomie nécessaire pour évoluer par moi-même dans ce travail. Michel, mille mercis pour votre disponibilité infinie qui a été un support immense pendant ces années de thèse, ceci jusqu'aux dernières heures de ce travail. Je me dois aussi de saluer et remercier votre (im)patience face aux données que je n'avais (toujours) pas traitées. Marine, merci pour cette voix de rigueur et de précision que vous avez élevée pour faire avancer mes raisonnements scientifiques. A tous les trois, merci de m'avoir permis de vivre cette expérience de la thèse et pour l'équipe d'encadrement que vous avez formée. Votre complémentarité m'a permis de piocher çà et là dans vos pratiques et vos réflexions scientifiques respectives, me permettant d'identifier ce qui avait du sens pour moi puis de m'initier à pratiquer la recherche dans cette direction. Au-delà de l'aspect scientifique, la bienveillance, le soutien et la compréhension dont vous avez fait preuve à mon égard, vos conseils, vos encouragements et la confiance que vous m'avez accordée m'ont aidée à gagner en autonomie, en assurance et en esprit critique. À ces réunions où j'arrivais parfois empreinte de doutes et d'inquiétudes, j'en suis toujours repartie rassurée et surtout motivée. Pour tout cela : merci.

Je tiens également à remercier Thierry Atzeni et Marion Luyat d'avoir pris part au suivi de ma thèse. Je vous remercie d'avoir accepté de dédier du temps à ce travail, et pour vos conseils toujours empreints de bienveillance.

Je remercie l'Université Savoie Mont Blanc de m'avoir accordé un financement doctoral de trois ans, me permettant de réaliser cette thèse.

Merci également à Kelly Ode, Thomas Delobel et Lisa Kant qui ont participé à la récolte des données intégrées à ce travail de thèse ; votre travail sérieux m'a considérablement aidée.

Noémie, Séphora et Zoé, un grand merci pour votre relecture attentive du manuscrit.

J'adresse mes remerciements les plus chaleureux à tous les collègues du département de psychologie de l'Université Savoie Mont-Blanc, du Laboratoire de Psychologie et Neurocognition et du Laboratoire Interuniversitaire de Psychologie ; merci pour votre accueil, votre confiance et la bonne humeur véhiculée dans ce bâtiment 6/7. Un merci tout particulier à Jessica Bourgin. Merci pour ton aide si précieuse et sans limites, ton efficacité, et d'avoir toujours accueilli mes questions (plus que régulières

par moment). Je ne te remercie cependant pas pour les tortures infligées à mes avatars. Merci également à Sonia Pellissier et Rudy Jeanne pour l'intégration au projet BELIV ; ce fût un véritable plaisir de me joindre à vous sur ce travail. Merci à Thomas Chazelle pour les discussions toujours passionnées sur la représentation corporelle. Merci également à Julie Vuillemin, Marie Hetroy, Sandrine Charquet et Orélie Garzena pour votre aide dans les démarches administratives. Enfin, un grand merci aux organisateurs et membres de l'équipe de foot et du comité des fêtes du département de psychologie.

Je remercie, avec une sincérité sans nom, le bureau 603 et al. : occupants actuels, ceux qui l'ont occupé au cours des quatre dernières années et qui voguent désormais vers de nouveaux horizons, ainsi que ceux qui l'ont occupé, euh, jadis, et qui font encore ce qu'il est. Merci à Julien, Séphora, Noémie, Rudy, Zoé, Jessica, Nele, Jérémy, Célia, Klervi, Morgane, Aurélien, Marion, Thibault, Sandra, Ella et Alexandra. Si nous avons sans doute quelques fois, fatalement, parlé de science ensemble, il faut reconnaître que cela n'a pas été le cœur de nos échanges, c'est justement pour cela que je vous remercie. Merci d'avoir participé à créer ce lieu et cette ambiance uniques, essentiels pour venir à bout de ce travail de thèse. Merci d'avoir été tantôt collègues, tantôt, voire principalement, compagnons de cafés, de pintes et de planches apéro, de taquets, de croissants et de Balisto, de belottes puis de coïncidences, de vin blanc SEC, de sushis, de blagues douteuses, de Mojito, de plaintes et d'inquiétudes, mais aussi et surtout, de fêtes et de bonne humeur, de randonnées, de Valentin secret, de week-ends, de festivals, de rires, de beaucoup de rire et de tant d'autres choses indescriptibles ici. Pour cela, je me dois un merci tout particulier à Nono, Sépho, Juju, Rudoche et Zoio. Merci de m'avoir offert cette chance rare de travailler aux côtés d'amis et ce plaisir sans mesure à vous retrouver en dehors de nos heures « sérieuses ».

J'adresse également un merci très chaleureux à Louise, Aline, Marine, Manon, Audrey, Lilou, Pauline, Anthéa, Louana, Hippolyte, Nono et Sépho plus que tout pendant ce temps de thèse, Nico, Max, Julien, Rudy, Zoé et Max. Merci pour votre amitié, votre présence, votre soutien et les moments de déconnexions partagés.

Pour terminer, et avec une émotion particulière, je remercie ma famille. Merci à mes parents pour leur soutien sans faille dans mes études. Vous m'avez offert, sans limite, la possibilité de m'engager dans une direction qui me plaisait et de terminer ce qui me tenait à cœur, je vous dois tout. Merci également à mes sœurs : Stéphanie, Pauline et Clem, ainsi qu'à Ju et bébé Alix, Yann, et aussi Jérémy, d'avoir été, parallèlement aux heures de thèse qui ont pourtant pris beaucoup de place, ces bouffées d'air, de rire et de vie. À tous, merci d'avoir cru en moi, merci pour votre patience, merci de m'avoir rappelé ce qu'il y avait à côté, et merci pour les moments si précieux. Les mots me manquent, mais ma reconnaissance est immense.

L'effet Proteus : Performances motrices et cognitives en situation d'incorporation d'un avatar.

La représentation corporelle, étonnamment plastique, peut présenter des déviations importantes par rapport aux frontières du corps biologique. Les paradigmes d'incorporation illustrent cette plasticité. Il est possible, par exemple, d'intégrer à la représentation corporelle une main en caoutchouc, ou de faire émerger un sentiment d'incorporation pour un avatar d'âge différent de celui du participant. L'incorporation d'un avatar s'accompagne de conséquences perceptives, cognitives et comportementales, ces dernières ayant largement été étudiées dans le cadre de l'effet Proteus. Par exemple, l'incorporation d'un avatar attractif, plutôt qu'un avatar peu attractif, conduit les participants à se montrer plus confiants et extravertis aux cours des échanges, conformément aux stéréotypes relatifs à la beauté. Ce phénomène de conformisme aux stéréotypes associés à l'avatar incorporé a été discuté au regard de différents processus : processus d'auto-perception, effet d'amorçage, processus d'incorporation, adhésion aux stéréotypes. Toutefois, les arguments empiriques sont insuffisants pour comprendre précisément les mécanismes sous-jacents à l'apparition du phénomène. Un premier objectif de ce travail de thèse était de confirmer l'intervention d'un mécanisme additionnel à celui d'un effet d'amorçage situationnel direct dans l'apparition de l'effet Proteus. Conformément à l'hypothèse, les études ont démontré le phénomène au-delà de l'activation des stéréotypes associés à l'avatar. Un second objectif était de tester le rôle causal du processus d'incorporation sur l'apparition de l'effet Proteus. Contrairement à ce qui était attendu, un effet Proteus a été retrouvé indépendamment du fait de considérer le corps de l'avatar comme étant sien. Les résultats sont en faveur de l'apparition du phénomène dès lors qu'une relation identitaire est instaurée avec l'avatar. Un dernier objectif visait à examiner la contribution d'un changement de perception de soi dans l'apparition de l'effet Proteus. Les études n'ont toutefois pas permis d'en attester. En somme, le présent travail de thèse apporte des éléments de compréhension de l'effet Proteus et incite à poursuivre la démarche d'approfondissement théorique vers l'étude des mécanismes relatifs à la perception de soi implicite. Améliorer la compréhension des mécanismes sous-jacents au phénomène offre des perspectives dans le domaine de la prise en charge thérapeutique et de la prévention des risques psycho-sociaux.

Mots clefs : effet Proteus, incorporation, perception de soi, amorçage, stéréotypes, réalité virtuelle

The Proteus effect: Motor and cognitive performance in avatar embodiment situation.

Body representation is surprisingly plastic and can deviate from the boundaries of the biological body. Embodiment paradigms illustrate this plasticity. For example, it is possible to integrate a rubber hand in the body representation, or to elicit a sense of embodiment for an avatar of a different age from the participant. The embodiment of an avatar is associated with perceptual, cognitive, and behavioral consequences, which have been extensively studied in the context of the Proteus effect. For instance, the embodiment of an attractive avatar, compared to an unattractive one, led participants to be more confident and extroverted during exchanges, in line with stereotypes related to beauty. In the literature, this conformism to the stereotypes associated with the avatar has been discussed regarding different processes: self-perception process, priming effect, embodiment process, stereotype endorsement. However, empirical arguments are still insufficient to provide a precise explanation of the mechanisms underlying this phenomenon. A first objective of this thesis was to confirm the involvement of an additional mechanism to that of a direct priming effect in the occurrence of the Proteus effect. In line with the hypothesis, the studies demonstrated that the phenomenon occurs beyond the mere activation of stereotypes associated with the avatar. A second objective was to investigate the causal role of embodiment on the Proteus effect. Contrary to expectations, a Proteus effect was observed regardless of considering the avatar's body as one's own. The results support the occurrence of the phenomenon as long as an identity relationship is established with the avatar. A last objective was to examine the contribution of a self-perception change in the occurrence of the Proteus effect. However, the studies did not provide any conclusive evidence for this hypothesis. In summary, the present thesis provides new insights into the Proteus effect and suggests further theoretical investigation into the implicit self-perception mechanisms. A better understanding of the mechanisms underlying the Proteus effect promises perspectives in clinical practice and in prevention of psycho-social risks.

Key words: Proteus effect, embodiment, self-perception, priming, stereotypes, virtual reality

Table des matières

Avant-propos	12
Introduction et organisation générale du manuscrit	12
Informations sur la lecture du manuscrit	13
CHAPITRE I.	16
Introduction : la représentation corporelle, une entité au-delà du corps biologique.....	16
1. Représentation corporelle : définition et taxonomies	16
2. Déviations de la représentation corporelle par rapport au corps biologique.....	18
Synthèse.....	22
CHAPITRE II.....	23
Manipulation expérimentale de la conscience de soi corporelle : les paradigmes d'incorporation.....	23
1. Manipulation de la conscience de soi corporelle : les illusions d'incorporation	23
1.1. Conscience de soi corporelle : définition et manipulation expérimentale.....	23
1.1.1 Possession corporelle.....	25
1.1.2 Agentivité	27
1.1.3 Localisation du soi.....	31
1.2. Illusions d'incorporation d'entités corporelles variées	33
2. Caractérisation des illusions d'incorporation.....	35
2.1. Mesures subjectives : les questionnaires d'incorporation	36
2.2. Mesures objectives : indices perceptifs et physiologiques	37
2.2.1 Mesure proprioceptive	37
2.2.2 Mesures de réactivité physiologique	38
2.2.3 Mesure de la température corporelle	39
2.2.4 Mesure psychophysique	40
3. Construction et utilisation des paradigmes d'incorporation	41
3.1. Paramètres techniques et technologiques des paradigmes expérimentaux.....	42
3.1.1 Caractéristiques techniques des paradigmes d'incorporation.....	42
3.1.2 Paradigmes d'incorporation d'avatars en réalité virtuelle : intérêts et limites	44
3.2. Instrumentalisation des paradigmes d'incorporation	47
3.2.1 Processus psychologiques interreliés à la notion d'incorporation	47
3.2.2 Conséquences de l'incorporation d'un corps factice	49
Synthèse.....	53
CHAPITRE III.	54
L'effet Proteus, des avatars qui nous influencent.....	54
1. D'un avatar à l'effet Proteus : présentation et illustrations du phénomène	54
1.1. L'avatar comme représentation du soi : définition et typologies	54
1.2. Définition et démonstrations du phénomène d'effet Proteus	56
1.2.1 Comportements et interactions	57
1.2.2 Cognitions.....	58

1.2.3	Attitudes.....	59
1.3.	Existence de l'effet Proteus : synthèse	61
2.	Comprendre l'effet Proteus : des mécanismes non consensuels.....	62
2.1.	Théories explicatives de l'effet Proteus	63
2.1.1	Théorie de l'auto-perception.....	63
2.1.2	Principe d'amorçage	64
2.2.	Théories alternatives spécifiques à certains contextes expérimentaux.....	67
2.2.1	Effet de prise de perspective.....	67
2.2.2	Effet de menace du stéréotype.....	69
2.3.	Distinguer l'effet Proteus d'autres phénomènes d'influence comportementale.....	70
2.3.1	Effet de confirmation comportementale	70
2.3.2	Effet de conformisme en situation de désindividualisation.....	71
3.	Réflexions critiques sur la compréhension de l'effet Proteus	73
3.1.	Confronter et discuter les théories proposées.....	73
3.2.	Réconcilier les théories proposées	75
3.3.	Des modérateurs à l'effet Proteus ?.....	77
	Synthèse.....	78
CHAPITRE IV.....		79
Introduction aux études expérimentales : contexte, problématique, objectifs, hypothèses... 79		79
1.	Améliorer la compréhension des mécanismes explicatifs de l'effet Proteus.....	79
1.1.	L'effet Proteus : au-delà d'un effet d'amorçage situationnel ?.....	82
1.2.	L'effet Proteus : le processus d'incorporation au cœur du phénomène ?.....	83
1.3.	L'effet Proteus : la conséquence d'un changement de perception de soi ?.....	83
2.	Poursuivre l'étude de l'effet Proteus sur les performances cognitives et motrices.....	84
2.1.	Effet Proteus et stéréotypes du vieillissement.....	85
2.1.1	Stéréotypes du vieillissement : conséquences chez les individus âgés.....	85
2.1.2	Effet Proteus appliqué aux stéréotypes du vieillissement : état des lieux	87
2.2.	Effet Proteus et comportement moteur.....	88
2.2.1	Effet Proteus sur le comportement moteur : état des lieux et limites	88
2.2.2	Comportement moteur réel et imagerie motrice : les parallèles.....	91
2.3.	Récapitulatif : développement du protocole d'étude de l'effet Proteus	93
	Synthèse des objectifs et des hypothèses.....	95
CHAPITRE V.....		96
Effet Proteus, au-delà d'un effet d'amorçage situationnel direct ?		96
1.	Effet Proteus sur le comportement en imagerie motrice.....	96
1.1.	Stéréotypes relatifs aux performances motrices des adultes âgés	96
Etude 1		96
1.1.1	Introduction	96
1.1.2	Expérience	97
1.1.3	Récapitulatif de l'expérience	123
1.1.4	Conclusion.....	124
1.2.	Stéréotypes relatifs aux performances motrices des personnes obèses	125
Etude 2.....		125
1.2.1	Introduction	125
1.2.2	Expérience	126

1.2.3	Récapitulatif de l'expérience	150
1.2.4	Conclusion	151
2.	Effet Proteus sur les performances de mémoire épisodique	152
Etude 3	152
2.1.	Introduction	152
2.2.	Expérience	153
2.3.	Récapitulatif de l'expérience.....	164
2.4.	Conclusion.....	165
3.	Conclusion générale.....	165
3.1.	Paradigme d'incorporation : mise en évidence de l'effet Proteus.....	165
3.2.	Au-delà d'un effet d'amorçage direct, quel rôle du processus d'incorporation ?	166
CHAPITRE VI.....	169
Effet Proteus : rôle de la conscience de soi corporelle	169
Etude 4 et Etude 4bis.....	169
1.	Introduction.....	169
2.	Expérience.....	170
3.	Récapitulatif des expériences.....	205
4.	Conclusion	207
Chapitre VII.....	209
Effet Proteus : un changement de perception de soi avant tout ?.....	209
Etude 5.....	209
1.	Introduction.....	209
2.	Expérience.....	210
3.	Récapitulatif de l'expérience	227
4.	Conclusion	228
CHAPITRE VIII.	229
Discussion générale.....	229
1.	Recontextualisation du travail de thèse.....	229
1.1.	Rappel des objectifs	229
1.2.	Rappel des principaux résultats.....	229
2.	Contributions aux démonstrations de l'effet Proteus.....	230
2.1.	Entre représentation corporelle, croyances, et comportement moteur	230
2.2.	Effet Proteus et performances cognitives : réflexions sur le protocole d'étude	231
3.	Effet Proteus : au-delà d'un effet d'amorçage direct aux stéréotypes	232
4.	Repenser le rôle du processus d'incorporation	233
5.	Examiner l'intervention d'un changement de perception de soi.....	235
6.	Limites générales	237
7.	Synthèse et perspectives	241
Références bibliographiques	243
Annexes.....	276

Introduction et organisation générale du manuscrit

Ce travail de recherche s'inscrit dans l'étude des conséquences d'une déviation expérimentale de la représentation corporelle sur la cognition et le comportement. Celui-ci vise à mettre en évidence et approfondir la compréhension de l'effet Proteus : le phénomène au travers duquel l'utilisation d'un avatar entraîne un effet de conformisme aux stéréotypes relatifs aux caractéristiques identitaires de ce dernier. Cette thématique de recherche se positionne au croisement des notions de représentation corporelle, d'incorporation, de stéréotypes et d'influence comportementale.

L'effet Proteus repose sur l'utilisation d'un avatar, correspondant à une représentation numérique du corps et du soi. A la manière dont le corps biologique médiatise les interactions au sein de l'environnement physique, c'est au travers de l'avatar qu'un individu évolue dans un environnement virtuel. Toutefois, la représentation corporelle qu'est l'avatar ne constitue pas systématiquement, voire rarement, une copie numérique du corps biologique en termes de caractéristiques d'apparence. Le déplacement de la conscience de soi corporelle sur le corps de l'avatar implique donc une forme de déviation de la représentation corporelle, reposant sur l'intervention de processus sensoriels, moteurs et cognitifs. Par ailleurs, les caractéristiques d'apparence du corps numérique véhiculent des croyances relatives au fonctionnement ou aux capacités d'un tel corps. En somme, l'étude de l'effet Proteus consiste à investiguer dans quelle mesure et sous quels mécanismes, ces stéréotypes associés aux caractéristiques d'une représentation corporelle numérique sont susceptibles d'influencer les cognitions et les comportements.

Dans ce cadre, une introduction au concept de représentation corporelle sera présentée dans le *Chapitre I* de ce manuscrit. Une présentation générale des distorsions de l'expérience corporelle identifiées dans le cadre d'affections cliniques sera proposée dans le but de mettre en lumière l'existence de déviations de la représentation corporelle par rapport aux frontières du corps biologique. Ces déviations, étudiées en parallèle dans le cadre de l'expérimentation et plus précisément au travers des paradigmes d'incorporation, feront l'objet d'une présentation dans le *Chapitre II*. Les processus sous-jacents à la manipulation expérimentale de la conscience de soi corporelle seront détaillés dans le but d'appréhender l'émergence des

illusions d'incorporation envers des entités corporelles variées, telles que les avatars. Les conséquences de l'incorporation des avatars, et plus précisément des stéréotypes relatifs à leurs caractéristiques d'apparence, seront discutées dans le *Chapitre III* à travers la présentation de l'effet Proteus. Un accent sera mis sur les mécanismes théoriques qui ont été proposés pour expliquer le phénomène. Les éléments discutés dans ces premiers chapitres théoriques seront intégrés et permettront de définir les objectifs et les hypothèses théoriques de ce travail de recherche qui seront explicités dans le *Chapitre IV*. Les études expérimentales menées dans le cadre de la thèse seront exposées dans les *Chapitres V, VI* et *VII*. Enfin, une discussion générale des résultats issus de ces expérimentations sera proposée dans le *Chapitre VIII*.

Informations sur la lecture du manuscrit

- ♦ Ce travail de recherche doctoral a été rédigé sous le format de *thèse sur article*. Ainsi, les articles publiés et l'article accepté pour publication concernant les études menées dans le cadre de cette thèse ont été intégrés dans les parties expérimentales du manuscrit. Afin d'uniformiser la présentation des études, les études publiées sont présentées sous un format prépublication (i.e., en amont du travail d'édition). Le statut de publication de chacune des études est systématiquement précisé (publié, accepté pour publication, non soumis).
- ♦ Des encarts *Notes* ont été intégrés au sein des différentes parties du manuscrit. Ces derniers visent à apporter des précisions concernant des décisions relatives au contenu présenté.
- ♦ Sur la version numérique du document, des renvois sont disponibles lorsque le texte fait référence à des parties spécifiques du manuscrit. Pour accéder à ces dernières, il est possible de cliquer sur le numéro de la partie (celui-ci est souligné). Il est possible de revenir à la partie initiale en appuyant sur Alt + flèche de gauche.

L'effet Proteus :
Performances motrices et cognitives en situation
d'incorporation d'un avatar.

Par Louise Dupraz

Sous la direction de

Julien Barra, Michel Guerraz et Marine Beaudoin

CHAPITRE I.

Introduction : la représentation corporelle, une entité au-delà du corps biologique

1. Représentation corporelle : définition et taxonomies

« Notre corps est le moyen par lequel nous interagissons avec le monde » (Repetto & Riva, 2023, p. 192). Ces interactions visent d'une part à collecter des informations issues de l'environnement, et d'autre part à agir au sein de ce dernier (pour une revue : Repetto & Riva, 2023). Percevoir l'environnement et y évoluer de manière adaptée repose avant tout sur la perception du médiateur de ces interactions : le corps. Par exemple, « la perception des propriétés d'un objet externe touchant le corps dépend de la perception de l'état du corps lui-même et en particulier, mais pas uniquement, dans les régions de la peau qui sont en contact avec l'objet » (Longo et al., 2010, p. 6). Ainsi, le corps est un support de la perception du monde, mais constitue également un objet de perception en soi. La perception de son corps repose sur l'intégration d'informations issues de sources multiples telles que les canaux sensoriels (e.g., vision), la somesthésie (e.g., tact, proprioception), le système vestibulaire, le système intéroceptif, ou encore les connaissances sémantiques (pour une revue : Riva, 2018), qui participent à la construction d'une représentation mentale : la représentation corporelle. Si les conceptions théoriques issues de la philosophie, de la neurologie, de la psychologie, et des neurosciences cognitives, partagent l'idée d'une telle structure cognitive, la variété des modèles proposés témoigne d'une absence de consensus sur la nature, les propriétés ainsi que le nombre de représentations corporelles (pour des revues : de Vignemont, 2010; Raoul & Grosbras, 2023).

Une taxonomie dyadique de la représentation corporelle est proposée, distinguant l'image corporelle et le schéma corporel (pour des revues : de Vignemont, 2010; Gallagher, 1986; Pitron et al., 2018; Sattin et al., 2023). Selon cette conception, le schéma corporel correspond à une représentation non consciente du corps intégrant des caractéristiques relatives à sa forme, sa position et sa dynamique nécessaires à la planification et l'exécution d'actions. Par opposition, l'image corporelle correspond à une représentation consciente du corps intégrant un ensemble

de caractéristiques perceptives, conceptuelles et émotionnelles relatives au corps. Carruthers (2008), bien qu'en accord avec une conception dyadique, privilégie les notions de représentations corporelles « en ligne » et « hors ligne » (i.e., *online versus offline*), faisant respectivement référence à une représentation de l'état actuel du corps construite à chaque instant à partir des informations sensorielles disponibles et une représentation stable et durable de ce à quoi ressemble le corps en général. Une taxonomie triadique de la représentation corporelle est également proposée (Schwoebel & Coslett, 2005). Cette conception conserve la notion de schéma corporel pour faire référence à une représentation corporelle dynamique, sensori-motrice, et support de l'action, mais identifie parallèlement deux représentations corporelles distinctes : une description structurale corporelle et une sémantique corporelle. La description structurale correspond à une cartographie des différents segments corporels d'un corps humain, intégrant leur localisation, leurs frontières et leur position relative au reste du corps. La sémantique corporelle, quant à elle, traduit une représentation lexicale et conceptuelle du corps humain, intégrant les étiquettes de chaque segment corporel, leurs fonctionnalités et leurs associations aux objets. Au-delà de ces conceptions respectivement dyadique et triadique de la représentation corporelle, des modèles théoriques présentant jusqu'à six types de représentations corporelles sont aussi proposés (pour des revues : Longo, 2016; Repetto & Riva, 2023; Riva, 2018). Bien que la variété des types de représentations corporelles identifiés vise en partie à expliquer la complexité des troubles de l'expérience corporelle (voir *Chapitre I. Partie 2.*), certains auteurs invitent à réorienter l'étude de la représentation corporelle vers une approche plus intégrative, centrée sur les similarités plutôt que les divergences entre les conceptions théoriques proposées (de Vignemont, 2010). En ce sens, le modèle de matrice corporelle (*body matrix*) propose de concevoir la représentation corporelle comme une intégration dynamique d'informations multisensorielles issues du corps et de l'espace péri-personnel (pour une revue : Moseley et al., 2012). La matrice corporelle viserait « à maintenir l'intégrité du corps aux niveaux homéostatique et psychologique, et à s'adapter aux changements de structure et d'orientation du corps (d'un point de vue ontogénétique et phylogénétique) » (Moseley et al., 2012, p. 39).

Note. Il convient de préciser que le présent travail de recherche ne s'inscrit pas dans un modèle de la représentation corporelle plutôt qu'un autre, et ne veut ni ne prétend apporter d'arguments en faveur d'une conception théorique plutôt qu'une autre. Comme présenté plus loin dans la partie théorique de ce manuscrit, la représentation corporelle est abordée dans le présent travail de recherche au travers des paradigmes

de déviation expérimentale de cette dernière, basés sur l'intégration d'informations sensorielles, motrices et des connaissances générales sur le corps (voir *Chapitre II. Partie 1.1.*). Si l'utilisation de ces paradigmes expérimentaux participe à la construction de certains modèles de la représentation corporelle (e.g., matrice corporelle ; Moseley et al., 2012), ou vise à soumettre certaines conceptions taxonomiques de la représentation corporelle à l'expérimentation (e.g., schéma corporel, image corporelle ; Normand et al., 2011; Porrás Garcia et al., 2019; Rubo & Gamer, 2019; Tambone et al., 2021), celle-ci ne nécessite pas, à notre connaissance, de privilégier une conception théorique de la représentation corporelle plutôt qu'une autre.

En somme, de Vignemont (2020) propose de définir la représentation corporelle comme « une structure interne qui a pour fonction de suivre l'état du corps et de l'encoder, qui peut le représenter de manière erronée et qui peut en être découplée ». Cette définition précise d'une part un critère de fond de la représentation corporelle en soulignant l'objet dont elle est le modèle mental, à savoir le corps, et plus précisément l'état et la dynamique de ce dernier. D'autre part, cette définition précise le caractère possiblement non fidèle de la représentation corporelle en soulignant l'existence de déviations par rapport au corps biologique. Cette seconde caractéristique a notamment été mise en évidence au travers de l'étude des troubles de l'expérience corporelle.

2. Déviations de la représentation corporelle par rapport au corps biologique

Si la représentation corporelle constitue un modèle mental du corps intégrant la structure et les dimensions de ce dernier, ainsi que la position et la dynamique des segments qui le composent, celle-ci ne constitue toutefois pas systématiquement une copie fidèle du corps. Certaines affections neurologiques, physiques ou psychiatriques s'associent d'une variété de troubles de l'expérience corporelle (pour des revues : Barra et al., 2020; Coslett, 2022; de Vignemont, 2010; Sattin et al., 2023). Ces troubles font par exemple état de distorsions de la représentation corporelle par rapport au corps, en termes de dimensions ou de structure, et peuvent être associés à diverses attitudes envers le corps. Ces derniers peuvent également être considérés comme des perturbations de la conscience de soi corporelle ; la conscience d'avoir un corps tel qu'il est, et la reconnaissance de ce dernier comme étant sien, peuvent être altérées.

Des distorsions de la représentation corporelle sont rapportées consécutivement à des amputations de membres. A la suite de la disparition physique d'un membre, il pourrait être prédit que l'absence d'afférences issues de ce dernier participe à la suppression du membre de la représentation corporelle. En revanche, ceci n'est que très rarement observé ; les personnes ayant subi une amputation d'un membre rapportent fréquemment une sensation de présence de ce dernier, on parle de phénomène de membres fantômes (pour des revues : Le Chapelain et al., 2010; Ramachandran & Hirstein, 1998). Si certains patients ressentent le membre tel qu'il était en amont de l'amputation, d'autres patients rapportent des sensations distordues en termes d'intensité (e.g., perception exagérée du membre amputé), de morphologie (e.g., sensation d'un bras volumineux), de structure (e.g., sensation de télescopage du pied sous le genou), de dynamique (e.g., sensation de mouvements plus ou moins vraisemblables d'un point de vue anatomique), de douleur, ou encore des sensations issues de souvenirs passés (e.g., sensation de porter une montre ; pour des revues : Le Chapelain et al., 2010; Ramachandran & Hirstein, 1998). Le phénomène de membre fantôme constitue ainsi une déviation de la représentation corporelle par rapport aux frontières du corps biologique dans la mesure où la représentation corporelle persiste à intégrer un membre disparu.

Cette rigidité de la représentation corporelle face à une évolution physique du corps s'observe aussi consécutivement à une perte massive de poids, telle que dans le cadre de l'anorexie mentale (Guardia et al., 2010, 2012; Keizer et al., 2013; Metral et al., 2014) ou d'une chirurgie bariatrique (Guardia et al., 2013; Souza et al., 2022). Les patients souffrant d'anorexie mentale ont une représentation élargie de leurs dimensions corporelles bien que leur corps physique soit marqué par un sous-poids significatif. Cette distorsion de la représentation corporelle intervient au niveau conscient et subjectif, et au niveau de l'action et de la représentation de l'action, témoignant respectivement d'une altération de l'image corporelle, qui constitue d'ailleurs un des critères diagnostiques de la psychopathologie (American Psychiatric Association, 2015), et d'une altération du schéma corporel (Guardia et al., 2010, 2012; Keizer et al., 2013; Metral et al., 2014). Il est proposé que « les perturbations du schéma corporel pourraient être [en partie] liées à un échec de la mise à jour du schéma corporel aux nouvelles dimensions (plus petites) du corps suite à la perte de poids » (Keizer et al., 2013, p. 6 ; voir aussi Guardia et al., 2010, 2012; Metral et al., 2014). Un tel déficit d'ajustement de la représentation corporelle à une perte massive de poids est retrouvé chez des personnes ayant réalisé une chirurgie bariatrique (Souza et al., 2022) ou ayant suivi un programme d'accompagnement à la perte de poids (Guardia et al., 2013). A la manière des individus

amputés qui ressentent toujours la présence du membre physiquement absent, les personnes ayant vécu une perte massive de poids ont une représentation corporelle qui persiste à intégrer ce poids physiquement disparu (« graisse fantôme » ; Souza et al., 2022).

Si ces déviations de la représentation corporelle par rapport aux frontières du corps biologique apparaissent lors de changements physiques majeurs, des altérations de l'expérience corporelle sont également rapportées à la suite de lésions neurologiques centrales ou périphériques. C'est le cas, par exemple, des phénomènes de membres surnuméraires (Miyazawa et al., 2004). A la différence du phénomène de membres fantômes, « il ne s'agit pas ici de la réminiscence d'un membre désafférenté, mais d'une perception nouvelle et surajoutée » (Le Chapelain et al., 2010, p. 217). Ce phénomène de membres surnuméraires témoigne de la présence de segments additionnels dans la représentation corporelle comparativement à ceux physiquement présents. D'autres troubles de l'expérience corporelle traduisant une représentation déformée du corps ou des segments corporels sont rapportés. Par exemple, des cas de micro- ou macro-somatognosie sont décrits, correspondant à une représentation respectivement réduite ou grossie de la taille du corps entier ou de segments corporels (de Vignemont, 2010; Sattin et al., 2023), ou encore des cas d'obsession de dysmorphie corporelle correspondant à une perception exagérée, associée à un sentiment négatif, de certaines caractéristiques d'apparence (American Psychiatric Association, 2015). En somme, ces différentes distorsions de l'expérience corporelle traduisent des situations cliniques dans lesquelles la représentation corporelle contient des segments corporels physiquement non existants ou une représentation corporelle déformée d'un segment existant. D'une certaine façon, ces distorsions font état d'une représentation corporelle intégrant des éléments « en trop » ou déformés par rapport au corps biologique.

Certains troubles de l'expérience corporelle témoignent d'un pattern schématiquement inverse en cela que la représentation corporelle semble être dépourvue de certains segments. D'une certaine façon, ces distorsions font état d'une représentation corporelle contenant des éléments « en moins » par rapport au corps biologique. Ces troubles peuvent prendre la forme d'une perturbation de l'attribution à soi de certains segments, autrement dit, d'une altération de la conscience d'avoir un corps ou certaines parties de ce corps. La perte de reconnaissance d'un ou plusieurs segments corporels comme étant siens s'inscrit dans divers syndromes neurologiques ou psychiatriques et s'associe de différentes sensations et attitudes relatives au corps (pour des revues : de Vignemont, 2010; Giummarra et al., 2008; Sattin et al., 2023). Dans le cadre des syndromes d'héminégligence, par exemple, les difficultés à détecter, à répondre ou

à s'orienter vers des informations présentées du côté opposé à la lésion cérébrale sont susceptibles de concerner le corps, aboutissant à une négligence de la région corporelle controlésionnelle (Heilman et al., 1984). La somatoparaphrénie constitue un autre exemple de perturbation de la conscience de soi corporelle ; celle-ci définit la croyance selon laquelle un ou plusieurs segments corporels appartiennent à autrui (pour des revues : Garbarini et al., 2020; Romano & Maravita, 2019; Vallar & Ronchi, 2009). Le trouble identitaire de l'intégrité corporelle fait, quant à lui, référence à un désir fort d'amputation d'un ou plusieurs segments corporels valides dans le but de faire correspondre la structure du corps « au vrai soi », c'est-à-dire à l'identité que les individus ont d'eux-mêmes (i.e., identité de personne physiquement handicapée ; First, 2005; pour une revue : First & Fisher, 2012).

En somme, les données issues de l'observation clinique témoignent d'un découplage possible entre la représentation corporelle et le corps biologique (de Vignemont, 2020), se manifestant sous la forme d'écarts structurels ou encore d'altérations de la conscience de soi corporelle. De manière intéressante, des arguments expérimentaux témoignent, à l'instar des observations cliniques, de déviations possibles entre la représentation corporelle et les frontières du corps biologique. Des études menées auprès d'individus sans distorsions pathologiques de la représentation corporelle permettent en effet d'induire des modifications de l'expérience corporelle au travers, notamment, de l'utilisation des paradigmes d'incorporation. Ces paradigmes reposent sur la manipulation de la conscience de soi corporelle, c'est-à-dire de la relation entre l'expérience de soi et l'expérience du corps, et visent à induire un sentiment de reconnaissance d'un segment corporel factice comme étant sien (e.g., Botvinick & Cohen, 1998; Petkova & Ehrsson, 2008). En d'autres termes, les paradigmes d'incorporation permettent l'intégration d'un segment factice à la représentation corporelle, constituant une forme de déviation expérimentale de cette dernière par rapport au corps biologique.

Synthèse

Percevoir et interagir de manière adaptée avec son environnement physique nécessite de posséder une représentation corporelle fiable, issue de l'intégration d'informations provenant de sources multiples (e.g., canaux sensoriels, somesthésie, système vestibulaire, système intéroceptif, connaissances sémantiques). Diverses conceptions théoriques sont proposées pour définir la nature, les propriétés et le nombre de représentations corporelles, sans pour autant parvenir à un consensus. Du reste, la représentation corporelle peut être définie comme « une structure interne qui a pour fonction de suivre l'état du corps et de l'encoder, qui peut le représenter de manière erronée et qui peut en être découplée » (de Vignemont, 2020). Cette définition souligne l'existence de déviations entre la représentation corporelle et les frontières du corps biologique, ce qui a été mis en évidence au travers des troubles de l'expérience corporelle observés dans le cadre d'affections physiques, neurologiques ou psychiatriques. Il apparaît que la représentation corporelle peut intégrer un membre ou de la matière corporelle physiquement non existants, comme cela est observé à la suite d'amputations (i.e., membres fantômes) et d'une perte de poids massive (e.g., anorexie mentale, chirurgie bariatrique), ou au travers du phénomène de membres surnuméraires. Il apparaît également que la représentation mentale de certaines régions corporelles peut-être déformée comparativement à la forme réelle du corps (e.g., micro-somatognosie, obsession d'une dysmorphie corporelle). Par ailleurs, les troubles de l'expérience corporelle peuvent se manifester sous la forme de perturbations de la reconnaissance d'un ou plusieurs segments corporels comme étant siens (e.g., hémignégligence corporelle, somatoparaphrénie, trouble identitaire de l'intégrité corporelle). Parallèlement, des arguments expérimentaux témoignent de déviations possibles entre la représentation corporelle et les frontières du corps biologique. Largement mis en évidence au travers des paradigmes d'incorporation, ces arguments illustrent des déplacements de la conscience de soi corporelle vers des objets externes au corps.

CHAPITRE II.

Manipulation expérimentale de la conscience de soi corporelle : les paradigmes d'incorporation

1. Manipulation de la conscience de soi corporelle : les illusions d'incorporation

1.1. Conscience de soi corporelle : définition et manipulation expérimentale

La conscience de soi corporelle fait référence à la conscience d'être le sujet d'une expérience (i.e., conscience de soi) vécue et perçue au travers du corps (pour une revue : Blanke et al., 2015). Les paradigmes d'incorporation permettent de faire émerger une conscience de soi corporelle pour des objets externes au corps (Longo et al., 2008 ; pour des revues : Longo & Haggard, 2012; Raoul & Grosbras, 2023) ; le paradigme de la main en caoutchouc en est la version originale (Botvinick & Cohen, 1998).

« Les sujets étaient assis, leur bras gauche reposant sur une petite table. Un écran était placé à côté du bras pour le cacher de la vue du sujet et un modèle de main et de bras gauches en caoutchouc grandeur nature était placé sur la table juste en face du sujet. Le sujet était assis, les yeux fixés sur la main factice, tandis que nous utilisions deux petits pinceaux pour toucher la main en caoutchouc et la main cachée du sujet, en synchronisant le plus étroitement possible le moment où les stimulations étaient appliquées. [...] Les questionnaires remplis indiquent que les sujets ont eu l'illusion de sentir le toucher non pas du pinceau caché, mais du pinceau vu, comme si la main en caoutchouc avait ressenti le toucher. [...] Les sujets [...] ont indiqué [...] avoir ressenti la main en caoutchouc comme leur appartenant [...] : 'Je me suis surpris à regarder la main factice en pensant que c'était vraiment la mienne' [...]. Un groupe contrôle dans lequel une légère asynchronie a été introduite entre les stimulations sur les deux mains a fait état d'une faible prévalence de l'illusion [...]. » (Botvinick & Cohen, 1998, p. 756)

L'expérience de Botvinick & Cohen (1998) fait état de l'attribution d'une main factice au soi, autrement dit de l'incorporation d'un objet externe au sein de la représentation corporelle.

Le paradigme original se base sur la corrélation entre des stimulations visuelles et tactiles pour témoigner du rôle de la correspondance entre les modalités sensorielles dans le processus d'incorporation. Les évolutions expérimentales du paradigme permettent de mettre en évidence la complexité de l'expérience corporelle en démontrant l'implication de mécanismes d'intégration de signaux sensoriels multiples (e.g., proprioceptifs, intéroceptifs, vestibulaires, tactiles) et d'informations motrices, ainsi que l'intervention de mécanismes cognitifs de plus haut niveau (Tsakiris, Hesse, et al., 2007 ; pour des revues : Blanke, 2012; Blanke et al., 2015; Kilteni et al., 2015; Raoul & Grosbras, 2023). Si ces diverses informations s'intègrent pour faire émerger, dans la plupart des cas, une expérience corporelle unifiée et cohérente, le processus d'incorporation se conçoit également au travers de sous-composantes distinctes, mais susceptibles d'interagir entre elles (pour une revue : Longo & Haggard, 2012). En se basant sur une analyse psychométrique des réponses subjectives rapportées dans un paradigme d'incorporation d'une main en caoutchouc, Longo et collaborateurs (2008) ont mis en évidence trois composantes dans le processus d'incorporation d'une main en caoutchouc : la possession corporelle, l'agentivité et la localisation du soi.

Note : Le modèle en trois composantes du processus d'incorporation, tel que proposé par Longo et collaborateurs (2008), ne constitue pas l'unique modèle d'étude de la conscience de soi corporelle. La conscience de soi corporelle a été étudiée d'un point de vue philosophique, psychologique et neurologique, avant d'être abordée selon une approche plus intégrative teintée des concepts et méthodologies issus des neurosciences cognitives (pour une revue : Raoul & Grosbras, 2023). En conséquence, les modèles conceptualisent la conscience de soi corporelle, d'une part au travers d'une terminologie qui leur est propre pour faire référence à l'expérience du corps, et d'autre part au travers de sous-composantes différentes en nombre et en nature (e.g., modèle *minimal phenomenal selfhood* en trois composantes : Blanke, 2012; Blanke & Metzinger, 2009 ; modèle en deux composantes : Zbinden et al., 2022). Dans la mesure où le présent travail de recherche s'inscrit spécifiquement sur une perspective de la conscience de soi corporelle basée sur les paradigmes d'incorporation, le modèle proposé par Longo et collaborateurs (2008), construit à partir de réponses subjectives récoltées dans un tel paradigme, est privilégié.

1.1.1 Possession corporelle

« *Ce corps est le mien et me procure des sensations.* »

Le sentiment de possession corporelle (*body ownership*) correspond au sentiment d'appartenance éprouvé à l'égard du corps, ce dernier est attribué au soi et est considéré comme la source des sensations perçues. Le sentiment de possession corporelle émerge de la contribution de processus d'intégration multisensorielle et de processus cognitifs relatifs à la représentation et à la sémantique corporelle, témoignant respectivement de l'influence *bottom-up* et *top-down* sur cette composante (Tsakiris & Haggard, 2005 ; pour des revues : Braun et al., 2018; Ehrsson, 2012; Kilteni et al., 2015; Kilteni, Groten, et al., 2012).

- ♦ Possession corporelle et intégration multisensorielle

Le paradigme original de la main en caoutchouc démontre l'émergence d'une illusion d'incorporation d'une main factice lorsque cette dernière est touchée au même moment que la main réelle (i.e., stimulations visuo-tactiles synchrones), et met en évidence une réduction de l'intensité de cette illusion lorsqu'un délai est appliqué entre les stimulations tactiles et visuelles (i.e., stimulations visuo-tactiles asynchrones ; Armel & Ramachandran, 2003; Botvinick & Cohen, 1998; Tsakiris et al., 2006). Plus précisément, il a été montré qu'un délai supérieur à 300 ms entre les stimulations provenant des deux modalités sensorielles entraîne une réduction de l'intensité de l'illusion comparativement à une situation de synchronie (Shimada et al., 2009, 2014). La diminution de l'intensité de l'illusion d'incorporation en situation d'asynchronie comparativement à une situation de synchronie entre les stimulations sensorielles est retrouvée lors de l'incorporation d'un bras virtuel (Slater et al., 2008, 2009) et d'un corps entier factice (Petkova et al., 2011; Petkova & Ehrsson, 2008). Ces résultats indiquent qu'un segment ou corps entier factice est incorporé lorsque les différentes informations sensorielles sont temporellement cohérentes pour faire émerger la sensation qu'elles proviennent de la même source. Autrement dit, si les informations visuelles provenant du segment factice et les informations tactiles provenant du segment réel sont simultanées alors celles-ci seront perçues comme ayant la même origine, à savoir le segment factice (Armel & Ramachandran, 2003 ; pour une revue : Kilteni et al., 2015). La corrélation temporelle entre les informations sensorielles joue donc un rôle important dans l'émergence d'un sentiment de possession

corporelle, bien que cette dernière ne soit pas suffisante à elle seule pour induire une illusion d'incorporation. En effet, les études démontrent l'importance de la congruence spatiale : l'intensité de l'illusion d'incorporation diminue lorsque les stimulations sur le corps réel sont appliquées à des localisations différentes de celles appliquées sur le segment factice (e.g., index de la main réelle et auriculaire de la main factice ; Kammers et al., 2009; Salomon et al., 2013).

Si le paradigme original de la main en caoutchouc est basé sur des stimulations visuo-tactiles, des illusions de possession corporelle pour un segment (ou corps entier) factice sont mises en évidence lors de la correspondance spatio-temporelle entre d'autres modalités sensorielles telles que visuo-proprioceptives (Kalckert & Ehrsson, 2014; Maselli & Slater, 2013, 2014; Walsh et al., 2011), proprio-tactiles (Ehrsson et al., 2005) ou encore visuo-intéroceptives (Allard et al., 2017; Aspell et al., 2013). Par ailleurs, les études démontrent l'émergence d'illusions de possession corporelle lors de la correspondance entre des informations afférentes et efférentes (i.e., corrélation visuo-motrice ; Kalckert & Ehrsson, 2012, 2014; Sanchez-Vives et al., 2010 ; voir *Chapitre II. Partie 1.1.2.*).

- ♦ Possession corporelle et représentation du corps

Parallèlement à la correspondance spatio-temporelle entre les stimulations issues du corps réel et de l'objet factice, les connaissances sémantiques relatives au corps contribuent au processus d'incorporation. Ces connaissances sémantiques, stockées en mémoire, correspondent à un modèle général de la représentation d'un corps humain en termes de propriétés visuelles, posturales et structurales, et constituent une contrainte aux illusions de possession corporelle (pour une revue : Kilteni et al., 2015). Les études démontrent que l'incorporation d'un segment (ou corps entier) factice nécessite que ce dernier atteigne un certain niveau de congruence sémantique avec le corps humain, en termes de forme corporelle, de texture et de plausibilité anatomique (pour une revue : Kilteni et al., 2015).

Dans une version revisitée du paradigme de la main en caoutchouc, Tsakiris & Haggard (2005) observent que des stimulations visuo-tactiles synchrones conduisent à l'émergence d'une illusion de possession corporelle lorsque l'objet factice est une main en caoutchouc mais pas lorsque ce dernier est un bâton. Ce premier résultat atteste que la correspondance multisensorielle ne suffit pas à elle seule à faire émerger une illusion d'incorporation ; l'objet factice doit présenter une forme corporelle humanoïde pour être attribué au soi. Cette contrainte de forme corporelle a été confirmée au travers d'études ayant mis en évidence une illusion

d'incorporation plus importante pour un main factice plutôt qu'une feuille de papier (Haans et al., 2008) ou qu'un morceau de bois grossièrement sculpté en forme de main (Tsakiris et al., 2010), ou encore pour un corps factice entier plutôt qu'un objet rectangulaire (Lenggenhager et al., 2007; Petkova & Ehrsson, 2008). De plus, il est montré qu'une texture corporelle réaliste permet d'augmenter l'intensité de l'illusion de possession d'un segment corporel factice (Bertamini & O'Sullivan, 2014; Haans et al., 2008). Il convient de mentionner que les contraintes de forme corporelle et de texture à l'émergence d'une illusion d'incorporation n'empêchent pas un certain degré de différence de longueur, de largeur ou de teinte entre les segments corporel et factice (Longo et al., 2009). La contrainte d'incorporation relative à la représentation corporelle « est une image corporelle générique, indépendante de la personne, représentant les mains en général [dans le cadre d'un paradigme d'incorporation d'une main en caoutchouc], plutôt qu'une image corporelle propre à soi, représentant ma main spécifiquement » (Longo et al., 2009, p. 19).

Au-delà du rôle de la forme corporelle sur l'illusion d'incorporation, Tsakiris & Haggard (2005) ont observé, malgré l'application de stimulations visuo-tactiles synchrones, que l'illusion émerge lorsque la main en caoutchouc est orientée de manière cohérente par rapport à la main réelle du participant mais pas lorsque celle-ci a subi une rotation de 90°. Des illusions de possession corporelle d'intensité plus importante sont retrouvées pour une main en caoutchouc ayant subi des rotations anatomiquement plausibles par rapport au corps du participant (e.g., 0°, 45°) comparativement à des rotations anatomiquement peu plausibles (e.g., 180°, 225° ; Ide, 2013 et Ehrsson et al., 2004). Par ailleurs, aucune illusion d'incorporation n'est observée lorsqu'une main en caoutchouc opposée à la main réelle est stimulée (e.g., stimulation d'une main en caoutchouc droite et de la main réelle gauche ; Tsakiris & Haggard, 2005). En somme, ces différents résultats illustrent l'intervention de contraintes relatives à la configuration spatiale ainsi qu'à la structure corporelle de l'objet corporel factice sur l'émergence d'une illusion d'incorporation.

1.1.2 Agentivité

« Je contrôle ce corps, ce qu'il fait est le résultat de mes intentions. »

Blanke & Metzinger (2009, p. 7) définissent l'agentivité (*agency*) comme « le contrôle moteur global, incluant l'expérience subjective de l'action, du contrôle, de l'intention, de la sélection motrice et de l'expérience consciente de la volonté ». Autrement dit, le sentiment d'agentivité correspond au sentiment d'initier et de contrôler une action motrice.

Le sentiment d'agentivité émerge principalement de la comparaison entre les copies d'efférences (i.e., copies des commandes motrices envoyées aux muscles) et les afférences issues de l'action motrice, telles que les informations proprioceptives, tactiles ou visuelles (i.e., modèle du comparateur ; pour des revues : Braun et al., 2018; David et al., 2008; Kilteni, Groten, et al., 2012; Tsakiris, Schütz-Bosbach, et al., 2007). La correspondance entre les conséquences sensorielles prédites sur la base des efférences et les conséquences sensorielles réelles contribue à la reconnaissance des actions comme étant siennes, tandis que l'absence de correspondance entre ces informations réduit le sentiment d'agentivité (Franck et al., 2001; A. Sato & Yasuda, 2005). En conséquence, les informations efférentes tout comme les informations sensorielles participent à la conscience de soi corporelle (Tsakiris et al., 2005 ; pour des revues : Blakemore et al., 2002; Tsakiris & Haggard, 2005a).

Dans un paradigme revisité de la main en caoutchouc, il est montré que l'exposition à une main factice réalisant un mouvement corrélé au mouvement de main réalisé par le participant, en termes de synchronisation temporelle, de direction, de vitesse et de trajectoire (i.e., synchronie visuo-motrice), entraîne une illusion d'incorporation plus importante comparativement à une situation où les mouvements sont décorrélés (i.e., asynchronie visuo-motrice ; Dummer et al., 2009). L'émergence d'illusions d'incorporation en situation de synchronie plutôt que d'asynchronie visuo-motrice a été retrouvée dans d'autres études employant le paradigme de la main en caoutchouc (Kalckert & Ehrsson, 2012, 2014), et a été confirmée dans des paradigmes d'incorporation de segments corporels virtuels (Guy et al., 2022; Sanchez-Vives et al., 2010) et de corps entiers virtuels (Hapuarachchi et al., 2023; Kim et al., 2020 ; pour des revues : Kilteni, Groten, et al., 2012; Slater et al., 2009). Ensemble, ces résultats expérimentaux démontrent que produire un mouvement et observer, en temps réel, un segment (ou corps entier) factice réaliser ce même mouvement favorise l'émergence d'une illusion d'incorporation. Plus précisément, Ismail & Shimada (2016) ont montré une réduction significative de l'illusion d'agentivité lors de l'introduction d'un délai de plus de 190ms entre les mouvements réalisés et perçus, puis une disparition totale de l'illusion au-delà de 490ms. Il est important de souligner que la synchronie visuo-motrice, comparativement à l'asynchronie visuo-motrice, favorise l'émergence à la fois d'un sentiment d'agentivité et d'un sentiment de

possession corporelle (Ismail & Shimada, 2016; Kalckert & Ehrsson, 2012, 2014; Kim et al., 2020; Sanchez-Vives et al., 2010), suggérant un lien entre ces deux composantes.

- ♦ Agentivité et possession corporelle : des composantes distinctes et interreliées ?

L'émergence d'un sentiment de possession corporelle se base principalement sur l'intégration de signaux sensoriels disponibles quelle que soit la dynamique corporelle (i.e., absence ou présence de mouvements ; e.g., signaux proprioceptifs, Walsh et al., 2011 ; voir *Chapitre II. Partie 1.1.1.*). Parallèlement, l'émergence d'un sentiment d'agentivité nécessite l'intervention de signaux moteurs qui sont dépendants de la production d'un mouvement (selon le modèle du comparateur ; pour des revues : Braun et al., 2018; David et al., 2008). Ainsi, le couplage visuo-moteur synchrone implique une correspondance d'une part entre les efférences et les afférences visuelles, participant à l'émergence du sentiment d'agentivité, et d'autre part entre les afférences proprioceptives et visuelles, participant à l'émergence du sentiment de possession corporelle. Selon certains auteurs, un sentiment d'agentivité impliquerait nécessairement l'émergence d'un certain degré de possession corporelle, tandis qu'un sentiment de possession corporelle n'impliquerait pas nécessairement l'émergence d'un sentiment d'agentivité (pour une revue : Tsakiris et al., 2007). De manière cohérente, il est montré que la production d'un mouvement actif (i.e., action volontaire impliquant l'envoi de commandes motrices), combinant des informations à la fois efférentes et afférentes, conduit à l'émergence d'un sentiment d'agentivité et d'un sentiment de possession corporelle pour une main en caoutchouc. En revanche, l'expérience d'un mouvement passif (i.e., mouvements générés par une source extérieure au corps, sans contrôle volontaire), sollicitant seulement la composante afférente, conduit à l'émergence d'un sentiment de possession corporelle uniquement (Kalckert & Ehrsson, 2012, 2014). Selon ces résultats, l'agentivité apparaîtrait en plus de la possession corporelle lors de la réalisation d'un mouvement actif (Tsakiris, Schütz-Bosbach, et al., 2007).

Toutefois, d'autres résultats expérimentaux attestent d'une relation inverse. Il a, par exemple, été montré que l'illusion de possession corporelle d'un segment (ou corps entier) factice conduit les participants à s'attribuer à tort les mouvements produits par ce dernier, ce qui suggère que le sentiment de possession corporelle favorise l'émergence d'un sentiment d'agentivité (Banakou & Slater, 2014; Burin et al., 2017).

Note. Il est à noter que les résultats expérimentaux qui illustrent l'émergence d'un sentiment d'agentivité en l'absence de mouvements produits (Banakou & Slater, 2014; Burin et al., 2017) ne concordent pas avec le modèle du comparateur proposé pour expliquer l'émergence du sentiment d'agentivité (pour des revues : Braun et al., 2018; David et al., 2008; Kiltani et al., 2015; Tsakiris, Schütz-Bosbach, et al., 2007). En effet, en l'absence d'action, et donc d'efférences, aucune comparaison entre les conséquences sensorielles attendues et effectives ne peut s'opérer. Les différents modèles d'émergence du sentiment d'agentivité ne sont pas analysés et/ou confrontés plus en détails dans ce manuscrit, mais il est intéressant de noter que Banakou & Slater (2014, p. 17681) proposent que « l'observation d'une action prétendument réalisée par soi entraîne l'activation des circuits de préparation à l'action qui donnent alors lieu au sentiment d'agentivité concernant l'acte spécifique ». Autrement dit, considérer un corps comme étant sien conduirait à se considérer rétrospectivement comme l'auteur des actions produites par ce corps : « puisqu'il s'agit d'une partie de mon corps, toute action est voulue par moi » (Burin et al., 2017, p. 21).

Certains résultats suggèrent également l'influence de l'agentivité sur la possession corporelle. Il a été montré que l'illusion de possession corporelle apparaît moins fragmentée en présence d'efférences motrices plutôt que sans (Tsakiris et al., 2006). En effet, des stimulations visuo-tactiles ou visuo-proprioceptives induites par des mouvements passifs conduisent à l'émergence d'une illusion de possession corporelle restreinte à la zone corporelle stimulée (Tsakiris et al., 2006; Tsakiris & Haggard, 2005b), tandis que la corrélation visuo-motrice permet d'étendre l'illusion à une zone plus large (Tsakiris et al., 2006). Les auteurs avancent que « s'il n'y a pas de sentiment d'agentivité sans sentiment de possession corporelle, il est également vrai que les signaux efférents qui contribuent au sentiment d'agentivité contribuent également à un sentiment de possession corporelle plus fluide et intégrée » (Tsakiris, Schütz-Bosbach, et al., 2007, p. 658). Cette fragmentation de l'illusion de possession corporelle en situation de stimulations visuo-tactiles n'a toutefois pas été retrouvée par Petkova & Ehrsson (2008) qui suggèrent une généralisation possible de l'illusion de possession corporelle au-delà de la zone tactilement stimulée.

En conclusion, le sentiment de possession corporelle et le sentiment d'agentivité correspondent à des phénoménologies distinctes dans la mesure où le premier traduit

l'attribution du corps au soi tandis que le second traduit l'attribution d'une action au soi. Si les études sur le sujet apparaissent variées en termes d'approches et aboutissent à des résultats parfois non consensuels, ces dernières supportent néanmoins la dissociation entre ces composantes (Kalckert & Ehrsson, 2012; A. Sato & Yasuda, 2005) et démontrent l'influence respective de l'une sur l'autre (Banakou & Slater, 2014; Burin et al., 2017; Tsakiris et al., 2006 ; voir Pia et al., 2019).

1.1.3 Localisation du soi

« Je me sens comme étant à l'intérieur de ce corps. »

Le sentiment de localisation du soi (*self-location*) fait référence à la position spatiale à laquelle un individu se sent localisé. Ce sentiment dépend de l'intégration des informations somatosensorielles et vestibulaires, et de la perspective visuo-spatiale (pour des revues : Blanke, 2012; Kilteni, Groten, et al., 2012).

La perspective visuo-spatiale correspond à la perspective à partir de laquelle un individu perçoit son corps et le monde. En situation normale, cette perspective est égocentrée, ou « perspective à la première personne », dans la mesure où elle est centrée sur le corps. En d'autres termes, la localisation du soi est classiquement associée au volume spatial déterminé par les frontières du corps, conduisant au sentiment d'être localisé à l'intérieur de son propre corps (i.e., colocalisation entre le soi et le corps biologique). Par opposition, des patients présentant une atteinte du système vestibulaire peuvent rapporter des expériences de sorties de corps au travers desquelles ils ont l'impression de voir leur propre corps et le monde à partir d'une perspective extérieure au corps (Blanke et al., 2004 ; pour une revue : Lopez et al., 2008). Ce type d'expérience traduit une illusion de changement de perspective visuo-spatiale, cette dernière est alors allocentrée, ou « perspective à la troisième personne » (i.e., pas de colocalisation entre le soi et le corps). Au-delà des atteintes neurologiques, la manipulation expérimentale des informations vestibulaires et/ou de la perspective visuo-spatiale, à travers l'induction d'une dissociation entre la position ressentie du soi et la position du corps biologique, produit une modification du sentiment de localisation du soi (Ehrsson, 2007; Lenggenhager et al., 2007; H.-P. Wu et al., 2023). Deux études ont proposé à des participants, assis, de porter un casque de réalité virtuelle leur projetant l'image filmée par une caméra

positionnée deux mètres derrière eux. Une perspective visuo-spatiale allocentrée de leur propre corps était donc projetée aux participants (i.e., vue de dos). Des stimulations tactiles étaient appliquées sur le dos du participant (Lenggenhager et al., 2007) ou bien sur la poitrine du participant (et en dessous de la caméra ; Ehrsson, 2007), et les images filmées par la caméra étaient présentées en temps réel ou non au participant (i.e., stimulations visuo-tactiles synchrones versus asynchrones). Ces deux expériences ont conduit les participants à ressentir l'illusion d'être situé derrière leur corps réel et d'observer ce dernier depuis cette localisation, ceci en condition de stimulations visuo-tactiles synchrones plutôt qu'asynchrones (Ehrsson, 2007; Lenggenhager et al., 2007). Ces résultats témoignent qu'en situation de conflit visuo-somatosensoriel, lié à l'incongruence entre les indices de localisation fournis par le corps (e.g., informations intéroceptives, proprioceptives) et la vision, une capture visuelle peut s'opérer et entraîner le sentiment d'être à l'extérieur de son propre corps (Lenggenhager et al., 2007).

Si percevoir le corps et le monde à partir d'une perspective visuo-spatiale allocentrée conduit à l'émergence d'un sentiment de localisation du soi en dehors des frontières du corps biologique, l'expérience d'une perspective visuo-spatiale centrée sur un corps factice conduit à un processus d'incorporation de ce dernier (e.g., Carey et al., 2019; Maselli & Slater, 2013; Petkova et al., 2011; Slater et al., 2010). Des illusions d'incorporation plus intenses sont rapportées lors de l'immersion à la première personne dans un corps factice plutôt que lors d'une perspective à la troisième personne de ce dernier (Gorisse et al., 2017; Guy et al., 2022; Kim et al., 2020; Kokkinara et al., 2016; Maselli & Slater, 2013; Petkova et al., 2011; Preston et al., 2015; Slater et al., 2010; Zhou & Won, 2023). Par ailleurs, en l'absence même de stimulations visuo-tactiles synchrones favorables à l'émergence d'un sentiment de possession corporelle (Carey et al., 2019), voire même en présence d'un conflit visuo-tactile ou visuo-moteur (i.e., asynchronie ; Debarba et al., 2017; Maselli & Slater, 2013), un sentiment d'incorporation a parfois été rapporté dès lors que le corps factice était observé avec une perspective à la première personne. Ces résultats suggèrent que la simple superposition entre les informations somatosensorielles provenant du corps réel et les informations visuelles provenant du corps factice peut conduire à l'émergence d'un sentiment d'incorporation (Carey et al., 2019), attestant de l'importance de la perspective égocentrée sur l'émergence des illusions d'incorporation. Selon Maselli & Slater (2013), la congruence visuo-proprioceptive (i.e., perspective égocentrée) serait suffisante à l'émergence d'une illusion d'incorporation sans qu'il soit nécessaire d'appliquer des stimulations visuo-sensorimotrices congruentes ou malgré la présence d'une incongruence entre ces dernières. En revanche, ils ajoutent qu'en présence de

conditions non-optimales à l'émergence d'une illusion d'incorporation (e.g., perspective allocentrée), la congruence multisensorielle serait nécessaire pour renforcer l'illusion d'incorporation.

1.2. Illusions d'incorporation d'entités corporelles variées

Si les paradigmes d'incorporation sont employés afin d'étudier les mécanismes de construction de la représentation corporelle, ceux-ci le sont aussi pour investiguer les limites et les possibilités de plasticité de l'expérience du corps. Les paradigmes originaux ont permis de faire émerger des illusions d'incorporation pour des segments corporels factices tels qu'une main en caoutchouc (Botvinick & Cohen, 1998; Dummer et al., 2009; Tsakiris et al., 2010; Tsakiris & Haggard, 2005b), une main réelle filmée (Tsakiris et al., 2006), un pied factice (Crea et al., 2015; Nguyen et al., 2023), des jambes factices (Tosi et al., 2022; van der Hoort et al., 2011; van der Hoort & Ehrsson, 2014), ainsi que pour des corps entiers factices tels qu'un mannequin (D'Angelo et al., 2019; Petkova et al., 2011; Petkova & Ehrsson, 2008). Les paradigmes d'incorporation appliqués ensuite en réalité virtuelle ont démontré l'émergence d'illusions d'incorporation pour des segments (Perez-Marcos et al., 2009; Slater et al., 2008) et des corps entiers virtuels (i.e., avatar ; Kim et al., 2020; Slater et al., 2009). Ces paradigmes, immersifs ou non, ont permis d'identifier des caractéristiques sensori-motrices spatio-temporelles ainsi que des caractéristiques cognitives intervenant dans le processus d'incorporation (voir *Chapitre II. Partie 1.1.*). Il convient de mentionner que, hormis pour les études ayant spécifiquement cherché à identifier les contraintes sémantiques relatives à la forme corporelle et à la plausibilité anatomique de l'objet factice (e.g., Bertamini & O'Sullivan, 2014; Haans et al., 2008; Petkova & Ehrsson, 2008; Tsakiris et al., 2010; Tsakiris & Haggard, 2005b ; voir *Chapitre II. Partie 1.1.1.*), les études ont initialement recouru à des objets corporels factices d'apparence relativement proche à celle des participants (e.g., main en caoutchouc humanoïde, de texture semblable à de la peau, de taille anatomiquement vraisemblable). En parallèle, certaines études se sont, quant à elles, employées à investiguer l'émergence d'illusions d'incorporation pour des segments (ou corps entiers) factices ou virtuels présentant des déviations par rapport au corps biologique en termes de morphologie, d'âge, de couleur de peau ou encore de genre.

Farmer et collaborateurs (2012) ont investigué la possibilité, pour des participants de couleur blanche, d'incorporer au sein de leur représentation corporelle une main en caoutchouc de couleur noire. Bien que l'illusion d'incorporation apparaît plus importante pour la main en caoutchouc de couleur blanche plutôt que pour celle de couleur noire, une illusion significative est rapportée pour cette dernière (Farmer et al., 2012). Des illusions d'incorporation pour des avatars de couleur noire chez des participants de couleur blanche sont aussi rapportées, avec cette fois des intensités généralement équivalentes quelle que soit la couleur de peau de l'avatar (Banakou et al., 2016, 2020; Hasler et al., 2017; Peck et al., 2013). Par ailleurs, des illusions d'incorporation pour des avatars d'âge différent de celui du participant, aussi bien plus âgés (Hershfield et al., 2011; Reinhard et al., 2019; Vahle & Tomasik, 2022; Vogel et al., 2022; Yee & Bailenson, 2006) que plus jeunes (Banakou et al., 2013; Falconer et al., 2014; Hamilton-Giachritsis et al., 2018; Slater et al., 2010; Tajadura-Jiménez et al., 2017; Tammy Lin & Wu, 2021), ainsi que pour des avatars ou mannequins de genre différent (Neyret et al., 2020; Peck et al., 2018; Tacikowski et al., 2020) sont démontrées. Normand et collaborateurs (2011) ont également observé que l'immersion en première perspective dans le corps d'un avatar présentant un ventre élargi, couplée à l'application de stimulations visuo-tactiles et visuo-motrices synchrones, entraîne une illusion d'expansion de son propre ventre. Cette illusion d'incorporation d'un avatar présentant une morphologie différente du participant en termes de poids (sous-poids ou surpoids) est retrouvée dans d'autres études en réalité virtuelle (Piryankova et al., 2014; Porrás Garcia et al., 2019; Provenzano et al., 2020; Rubo & Gamer, 2019; Tambone et al., 2021; Verhulst et al., 2018), tout comme des illusions pour un avatar présentant des caractéristiques athlétiques (Czub & Janeta, 2021; Themelis et al., 2022). Il est également montré que les paradigmes d'incorporation peuvent moduler la reconnaissance de son propre visage (Maister, Tsiakkas, et al., 2013; Sforza et al., 2010; Tajadura-Jiménez et al., 2012; Tsakiris, 2008). Ceux-ci peuvent en effet entraîner une modification de la représentation du visage des participants à travers l'inclusion des caractéristiques d'un autre visage (*enfacement illusion*; Sforza et al., 2010), au même titre que ceux-ci conduisent à une modification de la représentation corporelle à travers l'incorporation d'un segment corporel ou d'un corps entier factice (*embodiment illusion*). Si l'illusion d'incorporation d'un visage différent du sien est possible, l'illusion de possession corporelle reste malgré tout plus importante pour un avatar présentant le visage du participant plutôt qu'un autre (Gorisse et al., 2019; Suk & Laine, 2023).

De manière surprenante, des études mettent en évidence des processus d'incorporation pour des entités présentant des déviations notables par rapport à la structure corporelle humanoïde. Par exemple, il a été montré qu'un sentiment d'incorporation peut émerger pour un bras factice ou virtuel allongé de deux à trois fois la taille anatomique d'un bras (Kilteni, Normand, et al., 2012; Preston & Newport, 2012; Schaefer et al., 2007), pour un doigt supplémentaire (Cadete et al., 2022; Cadete & Longo, 2022; Newport et al., 2016), une main supplémentaire (Guterstam et al., 2011; Newport et al., 2010), voire un deuxième corps (Guterstam et al., 2020). L'émergence d'une illusion d'incorporation d'un corps ou un segment corporel invisible a également été rapportée (Guterstam et al., 2013, 2015; Kondo et al., 2018; van der Hoort & Ehrsson, 2016), tout comme celle d'un segment corporel non humanoïde tel qu'une queue (Steptoe et al., 2013). Ces démonstrations apparaissent en contradiction avec les études identifiant des contraintes sémantiques à l'émergence des illusions d'incorporation (e.g., Petkova & Ehrsson, 2008; Tsakiris et al., 2010; Tsakiris & Haggard, 2005b ; pour une revue : Kilteni et al., 2015 ; voir *Chapitre II. Partie 1.1.1.*). Selon certains auteurs, ces contraintes « ne sont pas des conditions nécessaires pour des changements illusoire [...]. Ce qui apparaît important pour le changement de possession corporelle est que le pattern spatio-temporel de signaux issus d'au moins deux modalités sensorielles obéisse aux principes de base de l'intégration multisensorielle et fournisse des informations qui ont du sens sur l'emplacement et la reconnaissance du membre comme étant sien » (Guterstam et al., 2013, p. 17). Ces études confirment toutefois que l'incorporation d'un objet éloigné de la sémantique corporelle reste soumise aux principes de congruence temporelle et spatiale de l'intégration multisensorielle (voir Guterstam et al., 2011).

En somme, la représentation corporelle est suffisamment plastique pour intégrer, par le biais des stimulations multisensorielles, des objets externes plus ou moins éloignés d'une sémantique corporelle en termes de texture et de structure. Le processus d'incorporation, construit sur la base d'une variété d'informations sensorielles, motrices et sémantiques, apparaît donc complexe, soumis à des règles non strictes, aboutissant ainsi à une phénoménologie variée, c'est-à-dire à des manifestations et des vécus divers lors de l'émergence d'une illusion.

2. Caractérisation des illusions d'incorporation

Les illusions d'incorporation sont des illusions corporelles qui se définissent comme « un phénomène psychologique au travers duquel la perception de son propre corps s'écarte de la configuration du corps physique, en termes de taille, de localisation ou de possession par exemple » (Kilteni et al., 2015, p. 2). Plus précisément, celles-ci correspondent à la phénoménologie associée au processus d'incorporation, c'est-à-dire au fait de traiter les propriétés d'un objet à la manière dont les propriétés du propre corps sont traitées (de Vignemont, 2011). Cette phénoménologie traduit à la fois le vécu associé à l'illusion (i.e., sensations) et les manifestations identifiées (pour une revue : Guy et al., 2023).

2.1. Mesures subjectives : les questionnaires d'incorporation

Les études cherchant à mettre en évidence un processus d'incorporation pour un segment corporel (ou corps) entier factice ou virtuel utilisent souvent des questionnaires visant à évaluer, de manière subjective, l'intensité de l'illusion d'incorporation. Classiquement, ces instruments intègrent des questions relatives aux composantes du phénomène d'incorporation telles que « J'ai eu l'impression que la main en caoutchouc était ma main » (i.e., possession corporelle ; Botvinick & Cohen, 1998), « J'avais le sentiment d'avoir le contrôle sur le corps virtuel » (i.e., agentivité ; Piryankova et al., 2014) ou encore « Il semblait que ma main se trouvait à l'endroit où se trouvait la main en caoutchouc » (i.e., localisation du soi ; Longo et al., 2008), et pour lesquelles les participants indiquent leur degré d'accord ou de désaccord.

Au travers d'une revue réalisée sur 111 études, Mottelson et collaborateurs (2023) identifient une variation importante des questionnaires utilisés pour mesurer les illusions d'incorporation ; ces derniers diffèrent en termes de nombre et de contenu des items, des échelles de réponse utilisées, et des procédures d'analyse des réponses. Les auteurs relèvent par ailleurs l'utilisation fréquente de questions issues de précédentes études (e.g., paradigme de la main en caoutchouc ; Botvinick & Cohen, 1998), éventuellement complétées par des questions spécifiques pour le protocole mis en place, et soulèvent la rareté des analyses de validation de questionnaires (pour une revue : Mottelson et al., 2023). Certains auteurs se sont employés à développer des instruments standardisés pour l'évaluation subjective des illusions d'incorporation (Dobricki & Rosa, 2013; Eubanks et al., 2021; Gonzalez-Franco & Peck, 2018; Peck & Gonzalez-Franco, 2021; Roth & Latoschik, 2020). Si ces questionnaires sont, pour certains, relativement récents et encore sous procédure de construction et d'évaluation

psychométrique, des biais relatifs à la nature, au nombre d'items ou à la structure factorielle sont d'ores et déjà identifiés. Des limites imputables aux mesures subjectives plus généralement sont également à considérer ; un biais de demande expérimentale sur les réponses aux questionnaires d'incorporation a pas exemple été mis en évidence (Forster et al., 2022). Enfin, l'analyse des mesures subjectives de l'incorporation fait état de confusions dans les terminologies des construits évalués (e.g., notion de possession corporelle *versus* d'incorporation : voir de Vignemont, 2011 ; notion de présence de soi *versus* d'incorporation : voir Biocca, 1997; Lee, 2004; Ratan, 2012 ; voir *Chapitre II. Partie 3.2.1.* ; pour une revue : Mottelson et al., 2023).

En somme, la variété des questionnaires d'incorporation employés, le manque d'évaluation psychométrique de ces instruments et le croisement des terminologies soulèvent des questions de validité de la mesure d'une part, et complexifient la comparaison des résultats expérimentaux d'autre part (pour une revue : Mottelson et al., 2023). Comme souligné par Slater et collaborateurs (2010, p. 8), « les questionnaires dans ce domaine sont problématiques à moins de n'être étayés par des données comportementales ou physiologiques », qui, ajoutés aux mesures subjectives, pourraient améliorer la validité des résultats (pour une revue : Mottelson et al., 2023).

2.2. Mesures objectives : indices perceptifs et physiologiques

2.2.1 Mesure proprioceptive

Dans le paradigme original de la main en caoutchouc, Botvinick & Cohen (1998) ont proposé, en complément de l'évaluation subjective de l'illusion d'incorporation, une tâche de perception de la localisation de la main en caoutchouc. Avant et après la période de stimulations visuo-tactiles de la main réelle et de la main en caoutchouc, les participants étaient invités à indiquer, les yeux fermés et avec l'index de la main non soumise à l'illusion, la position à laquelle il percevait l'index de leur main soumise à l'illusion. Il a été observé que l'estimation proprioceptive de la position de la main soumise à l'illusion était déplacée en direction de la main en caoutchouc. Autrement dit, le segment corporel soumis à l'illusion était perçu comme étant situé entre le segment réel et le segment factice, et ceci uniquement après les stimulations

visuo-tactiles synchrones (Botvinick & Cohen, 1998). Ce glissement proprioceptif (*proprioceptive drift*; Tsakiris & Haggard, 2005b), identifié comme une manifestation du processus d'incorporation plutôt qu'une cause (Abdulkarim & Ehrsson, 2016), témoigne de l'interaction entre les informations visuelles issues du segment factice et les informations tactiles issues du segment réel sur l'estimation de la position du segment réel. Le glissement proprioceptif, largement considéré et utilisé depuis comme une mesure objective de l'illusion d'incorporation (Abdulkarim & Ehrsson, 2016; Ehrsson et al., 2005; Guterstam et al., 2013; Kalckert & Ehrsson, 2012, 2014; Pyasik et al., 2018; Tsakiris et al., 2006; Tsakiris & Haggard, 2005b), est retrouvé lors de l'incorporation d'un corps entier (Kondo et al., 2018; Lenggenhager et al., 2007).

De manière intéressante, le degré de glissement proprioceptif est corrélé à la durée de l'illusion d'incorporation (Botvinick & Cohen, 1998) ainsi qu'à l'intensité de l'illusion d'incorporation évaluée au travers de mesures subjectives (Abdulkarim & Ehrsson, 2016; Ehrsson et al., 2005; Guterstam et al., 2013; Kalckert & Ehrsson, 2012, 2014; Longo et al., 2008). Malgré des études expérimentales ne retrouvant pas cette dernière corrélation (e.g., Pyasik et al., 2018), des preuves fortes en faveur de son existence ont été identifiées au travers d'une méta-analyse réalisée sur 19 études ($r = .35$, IC 95% [.29, .41]; Tosi et al., 2023). Ces mesures, certes corrélées, restent toutefois distinctes, ciblant des aspects différents de l'expérience d'incorporation, et sous-tendues par des mécanismes d'intégration multisensorielles partiellement propres : visuo-proprioceptifs pour le glissement proprioceptif et visuo-tactiles pour l'illusion subjective (Pyasik et al., 2018; Rohde et al., 2011; Tosi et al., 2023 ; voir Overgaard et al., 2023). En somme, il est préférable de considérer l'évaluation subjective de l'illusion d'incorporation et le glissement proprioceptif comme des mesures complémentaires de l'expérience d'incorporation plutôt que de considérer la dernière comme une mesure objective de la première.

2.2.2 Mesures de réactivité physiologique

Dans le but de déterminer si et dans quelle mesure un segment corporel factice est incorporé au sein de la représentation corporelle, Armel & Ramachandran (2003) ont proposé d'étudier les réactions physiologiques en réponse à une menace exercée sur ce segment. L'enregistrement d'un indice physiologique indépendant du contrôle volontaire constituerait

une mesure objective de l'illusion d'incorporation, s'affranchissant ainsi des biais relatifs aux mesures subjectives (e.g., biais de demande, limite des capacités introspectives). Par ailleurs, traiter le corps factice comme son propre corps reviendrait à présenter des réactions physiologiques d'anxiété lors de la menace du corps factice, à la manière de ce qui est observé lorsque le corps réel est menacé. En soumettant une main en caoutchouc à une agression (i.e., torsion extrême d'un des doigts), Armel & Ramachandran (2003) ont enregistré un niveau de conductance électrodermale plus élevé en condition de stimulations visuo-tactiles synchrones plutôt qu'asynchrones, traduisant une réactivité émotionnelle chez les participants (W. Sato et al., 2020 ; pour une revue : Sequeira et al., 2009). Un pattern de réactivité physiologique similaire a été observé lors de la menace d'un corps entier factice en condition de stimulations visuo-tactiles synchrones ou d'immersion avec une perspective à la première personne comparativement à des conditions de non-menace, de stimulations asynchrones ou encore d'immersion avec une perspective à la troisième personne (Petkova et al., 2011; Petkova & Ehrsson, 2008). La mesure de conductance électrodermale en réponse à la menace est interprétée comme une réponse d'anxiété qui traduit donc une évaluation objective de l'illusion d'incorporation. Ceci a été confirmé par l'observation d'une activation neuronale dans les régions cérébrales impliquées dans l'anticipation et l'expérience de la douleur lors d'une menace appliquée en situation de stimulations visuo-tactiles synchrones plutôt qu'asynchrones, confirmant un état d'anxiété (Ehrsson et al., 2007). Sous ces mêmes conditions, une activation neuronale dans les aires cérébrales motrices a été observée, ce qui est interprété comme l'envie des participants de retirer leur main pour éviter l'agression. Ces résultats témoignent que « lorsqu'une personne a l'impression qu'un membre factice fait partie de son propre corps, elle manifeste les mêmes réactions émotionnelles et comportementales de défense que lorsque son membre réel est menacé » (Ehrsson et al., 2007, p. 9830). Un certain nombre d'études ont dès lors introduit une mesure physiologique de réponse à la menace ou à un stimulus à leur paradigme d'incorporation telle qu'une mesure de conductance électrodermale (e.g., Guterstam et al., 2013), de fréquence ou de décélération cardiaque (e.g., Guterstam et al., 2015; Slater et al., 2010), ou encore de dilatation pupillaire (Falcone et al., 2022).

2.2.3 Mesure de la température corporelle

L'incorporation d'un segment factice dans la représentation corporelle implique de considérer ce dernier comme un segment corporel réel, mais des conséquences au niveau du segment corporel réel ont été identifiées. Moseley et collaborateurs (2008) ont mesuré une diminution de la température cutanée au niveau de la main réelle des participants lors de l'induction d'une illusion d'incorporation d'une main en caoutchouc comparativement à une situation contrôle (e.g., stimulations visuo-tactiles asynchrones, main réelle non stimulée, absence de main en caoutchouc). La diminution de la température cutanée est apparue corrélée à l'intensité de l'illusion subjective (Moseley et al., 2008). Si une relation entre l'incorporation d'un segment factice et la température corporelle a été retrouvée au travers d'autres études expérimentales (Bashford & Mehring, 2016; Hohwy & Paton, 2010; Llobera et al., 2013; Macaуда et al., 2015; Salomon et al., 2013), les mécanismes sous-jacents sont encore à préciser (e.g., relation entre conscience de soi corporelle et régulation homéostatique : Moseley et al., 2008 ; intervention de l'insula : Salomon et al., 2013). Il convient également de noter qu'une diminution de la température corporelle lors de l'incorporation d'un segment factice n'est pas systématiquement retrouvée (David et al., 2014; Grynberg & Pollatos, 2015; Hohwy & Paton, 2010; Lang et al., 2021; Rohde et al., 2013; Tieri et al., 2017), ou observée indépendamment de la synchronisation des stimulations visuo-tactiles (Rohde et al., 2013), ou encore identifiée uniquement lors de l'intervention de facteurs additionnels (e.g., latéralité de l'illusion, niveau de conscience intéroceptive ; Crivelli et al., 2023; Tsakiris et al., 2011). De plus, certaines études ont relevé une dissociation entre la mesure de température corporelle et les mesures subjectives de l'illusion d'incorporation, la première n'étant pas un indicateur strict de la seconde (Bashford & Mehring, 2016; Rohde et al., 2013). Enfin, sur la base d'une méta-analyse réalisée à partir de cinq études conduites par leur équipe, de Haan et collaborateurs (2017) argumentent en faveur de l'absence d'effet de l'incorporation d'une main en caoutchouc sur la température corporelle. En somme, l'inconsistance des résultats concernant la diminution de la température corporelle en condition d'incorporation d'un segment (ou corps) entier factice ainsi que le manque de clarté concernant les mécanismes sous-jacents interrogent la fidélité et la validité de cet indicateur en tant que mesure objective de l'expérience d'incorporation (de Haan et al., 2017; Hohwy & Paton, 2010; Rohde et al., 2013).

2.2.4 Mesure psychophysique

Afin de s'affranchir des limites relatives aux mesures subjectives, perceptives et physiologiques (e.g., biais de demande, dissociation entre les indices, validité et fidélité de la mesure), un protocole psychophysique a été développé (Chancel & Ehrsson, 2020; Lanfranco et al., 2022). Le protocole, construit à partir du paradigme d'incorporation d'une main en caoutchouc, vise à déterminer dans quelle mesure des variations fines dans la nature des stimulations visuo-tactiles (e.g., différents degrés de synchronisation temporelle ou de congruence spatiale) peuvent entraîner des changements de perception du segment corporel factice comme étant sien. Par exemple, Chancel & Ehrsson (2020) ont ainsi observé que l'illusion d'incorporation diminuait dès lors que la main en caoutchouc était positionnée à plus de cinq centimètres de la main réelle du participant ou dès lors qu'un délai de 200ms était introduit entre les stimulations visuelles et tactiles. Les résultats issus de ce protocole confirment les contraintes spatio-temporelles de l'émergence des illusions d'incorporation (voir *Chapitre II. Partie 1.1.1.*) tout en caractérisant ces dernières de manière plus précise encore comparativement aux études antérieures (e.g., délai de plus de 300ms selon Shimada et al., 2009 ; identification d'un effet de congruence tactile sur l'illusion d'incorporation : Chancel & Ehrsson, 2020 *versus* Schütz-Bosbach et al., 2009; Ward et al., 2015). En somme, la méthode psychophysique permet d'affiner la compréhension des contraintes perceptives intervenant dans le processus d'incorporation, quand bien même la sensibilité de la mesure comparativement à celle des évaluations subjectives et proprioceptives reste à définir (Chancel & Ehrsson, 2020).

3. Construction et utilisation des paradigmes d'incorporation

Les paradigmes d'incorporation sont utilisés pour deux grands types d'objectifs scientifiques qui se distinguent en termes de place accordée au processus d'incorporation. Certaines études emploient un paradigme d'incorporation dans le but d'améliorer la compréhension des processus de conscience de soi corporelle ; l'expérience d'incorporation constitue la question de recherche en tant que telle. Dans ce cadre, l'utilisation d'un paradigme d'incorporation vise à identifier les paramètres techniques (pour une revue : Spanlang et al., 2014) et les mécanismes perceptifs et psychologiques (voir *Chapitre II. Partie 1.1.*) favorisant l'émergence d'un sentiment d'incorporation, ainsi que les corrélats neurologiques sous-jacents (Chancel et al., 2022; Crucianelli et al., 2023; Ehrsson et al., 2004). Parallèlement, certaines

études utilisent un paradigme d'incorporation afin d'investiguer des phénomènes psychologiques annexes, et considèrent le processus d'incorporation comme un outil méthodologique nécessaire à l'expérimentation d'une variable d'intérêt (pour une revue : Furlan & Spagnolli, 2021).

3.1. Paramètres techniques et technologiques des paradigmes expérimentaux

3.1.1 Caractéristiques techniques des paradigmes d'incorporation

Le paradigme d'incorporation originel proposé par Botvinick & Cohen (1998) visait à intégrer à la représentation corporelle un segment corporel unique, en caoutchouc, sur la base de stimulations visuelles et tactiles appliquées par l'expérimentateur. Depuis, les paradigmes d'incorporation ont été soumis à un certain nombre d'évolutions techniques et technologiques concernant l'objet incorporé, la technologie utilisée, les stimulations proposées ainsi que les procédures d'induction des illusions d'incorporation.

Tout d'abord, des paradigmes d'incorporation d'une zone corporelle plus étendue sont désormais proposés, avec l'incorporation de jambes (Tosi et al., 2022; van der Hoort et al., 2011), de ventre (Normand et al., 2011), voire de corps entier par exemple (Kim et al., 2020; Petkova et al., 2011; Petkova & Ehrsson, 2008). Parallèlement, les paradigmes d'incorporation sont marqués par des évolutions technologiques : s'ils étaient initialement développés à partir d'objets factices (e.g., une main ou un pied en caoutchouc, un mannequin en plastique ; Botvinick & Cohen, 1998; Nguyen et al., 2023; Petkova et al., 2011), ils évoluent vers l'utilisation de projections vidéos de segments corporels (ou corps entier) filmés (e.g., vidéo d'un mannequin en plastique, vidéo de sa propre main filmée ; Petkova & Ehrsson, 2008; Tsakiris et al., 2005, 2006), puis vers l'utilisation de segments et corps entiers virtuels (e.g., avatar ; Kim et al., 2020; Slater et al., 2008, 2010). Les études explorent également l'émergence des illusions d'incorporations en recrutant d'autres modalités sensorielles que les modalités visuelles et tactiles (Botvinick & Cohen, 1998; Lenggenhager et al., 2007) ; des stimulations visuo-proprioceptives (Kalckert & Ehrsson, 2014; Maselli & Slater, 2013, 2014; Walsh et al., 2011), proprio-tactiles (Ehrsson et al., 2005) ou encore visuo-intéroceptives (Allard et al., 2017; Aspell et al., 2013) sont utilisées. Si ces stimulations étaient initialement appliquées par un

expérimentateur, le manque de précision relative au moment et au lieu de la stimulation a conduit au développement de protocoles de stimulations basés sur des systèmes automatisés (e.g., robots ; Chancel & Ehrsson, 2020; Salomon et al., 2013). Il apparaît pertinent de noter qu'il existe une variabilité importante entre les études concernant la durée d'application des stimulations visant à faire émerger les illusions d'incorporation (i.e., période classiquement identifiée sous la notion de « phase d'incorporation »). Si Ehrsson et collaborateurs (2004) rapportent l'émergence d'une illusion d'incorporation d'une main en caoutchouc à partir de 11 secondes d'application de stimulations visuo-tactiles synchrones, une durée moyenne de 190 ± 146 secondes est observée dans les études conduites en réalité virtuelle (pour une revue : Mottelson et al., 2023). Aucune corrélation n'est retrouvée entre la durée de la phase d'incorporation et le sentiment de possession corporelle (pour une revue : Mottelson et al., 2023).

Au-delà des protocoles d'incorporation basés sur les stimulations multisensorielles, un grand nombre d'études reposent désormais sur la corrélation entre les informations visuelles et motrices pour induire des illusions d'incorporation (Dummer et al., 2009; Kalckert & Ehrsson, 2012, 2014; Kim et al., 2020; Sanchez-Vives et al., 2010). La corrélation visuo-motrice repose sur l'animation du corps factice à partir des mouvements réalisés par le participant. Initialement, ce couplage était permis en reliant mécaniquement le segment corporel factice au segment corporel réel de façon à synchroniser les mouvements du premier aux mouvements du second (Kalckert & Ehrsson, 2014). Désormais, ce couplage est classiquement mis en place au travers de l'enregistrement des mouvements du participant et l'utilisation de ces signaux pour animer le corps virtuel en temps réel (Guy et al., 2022; Kim et al., 2020; Sanchez-Vives et al., 2010). Différents systèmes d'enregistrement du mouvement sont utilisés, ciblant les mouvements d'une zone corporelle plus ou moins étendue (e.g., capture des mouvements de doigts, de la tête, du corps entier ; Kim et al., 2020; Sanchez-Vives et al., 2010; Slater et al., 2010), et variant en termes de technologie employée (pour une revue : Spanlang et al., 2014). Il est à noter que l'incorporation d'un corps entier ne nécessite pas la capture des mouvements sur l'ensemble du corps du participant, ceci grâce à la corrélation visuo-motrice qui permet l'extension des illusions au-delà des zones corporelles stimulées (voir Tsakiris et al., 2006 ; voir *Chapitre II. 1.1.2.*). Par exemple, le couplage des mouvements de tête de l'avatar à ceux du participant (au moyen des capteurs de mouvements placés dans le casque de réalité virtuelle) suffit à l'émergence d'une illusion d'incorporation (Piryankova et al., 2014; Slater et al., 2010 ; pour une revue : Furlan & Spagnolli, 2021). Par ailleurs, le sentiment d'incorporation du corps

virtuel ne dépend pas du nombre de capteurs de mouvements placés sur le corps du participant (Yun et al., 2023), mais apparaît davantage sensible à la fidélité de la capture du mouvement (i.e., précision et latence du mouvement ; voir Eubanks et al., 2020; Waltemate et al., 2016 ; pour une revue : Spanlang et al., 2014). Si l'alignement entre les mouvements du participant et ceux du corps virtuel est favorable au sentiment d'incorporation, il apparaît que de légères divergences sont tolérées, voire bénéficient à l'illusion lorsqu'elles permettent d'éviter de compromettre les principes physiques de l'interaction entre le corps et l'environnement (e.g., éviter de traverser des objets ; Tao et al., 2023).

Le couplage visuo-moteur est aisément observable par le participant lorsqu'il concerne les mouvements des segments corporels (e.g., regarder le bras du corps virtuel comme si le participant regardait son propre bras, lors d'une immersion avec une perspective à la première personne). En revanche, le couplage des mouvements de la tête, qui peut être inféré à partir de la mise à jour du flux visuel présenté dans le casque, n'est réellement visible que lors de la présentation d'un miroir dans l'environnement virtuel. Dans les paradigmes d'incorporation en réalité virtuelle, la présence d'un miroir permet au participant d'observer le reflet du corps de l'avatar en entier lorsque ce dernier est présenté depuis une perspective égocentrée. Le couplage visuo-moteur synchrone (plutôt qu'asynchrone) avec le corps d'un avatar perçu au travers d'un miroir virtuel conduit d'ailleurs à une illusion d'incorporation de cet avatar, suggérant la possibilité d'incorporer un corps virtuel sur la simple présentation de son reflet (i.e., sans que ce corps virtuel ne soit également superposé au corps du participant; Gonzalez-Franco et al., 2010). Cependant, lorsqu'une perspective à la première personne du corps de l'avatar est proposée, l'illusion d'incorporation de l'avatar n'est pas plus forte en présence d'un miroir virtuel (Bartl et al., 2022). Mottelson et collaborateurs (2023) ont même identifié que l'effet de la synchronisation visuo-tactile ou visuo-motrice sur l'illusion de possession corporelle était plus élevé dans les études n'utilisant pas de miroir virtuel comparativement à celles en utilisant un. La présence d'un miroir virtuel reste toutefois pertinente dans le cadre de certains paradigmes afin de renforcer la conscience du couplage visuo-moteur, notamment concernant les mouvements de tête, et afin de fournir des informations visuelles relatives à l'apparence de l'avatar (e.g., traits du visage ; Bartl et al., 2022; pour une revue : Mottelson et al., 2023).

3.1.2 Paradigmes d'incorporation d'avatars en réalité virtuelle : intérêts et limites

La réalité virtuelle permet d'isoler les utilisateurs du monde physique et de leur proposer des expériences multisensorielles à travers l'immersion dans un monde numérique. Cette expérience de simulation apparaît tout particulièrement appropriée au développement de paradigmes d'incorporation (pour des revues : Bohil et al., 2011; Pan & Hamilton, 2018; Parsons et al., 2017; Spanlang et al., 2014; Yuan, 2023).

La réalité virtuelle, et plus précisément l'utilisation d'un casque d'immersion, permet de créer une dissociation entre les informations visuelles relatives au corps factice et les informations somesthésiques et motrices provenant du corps réel. Dans le cadre des paradigmes d'incorporation, ce paramètre technique offre une méthodologie commode pour la manipulation des stimulations visuo-somesthésiques ou visuo-motrices intervenant dans l'émergence des illusions d'incorporation (voir *Chapitre II. Partie 1.1.*). Par exemple, l'application de stimulations tactiles sur le corps des participants ou la réalisation de mouvements par ce dernier, peuvent être reproduites ou non, en temps réel ou non, sur un corps virtuel présenté dans le casque (i.e., stimulations synchrones et asynchrones). Concernant l'immersion dans l'environnement virtuel, et plus précisément dans le corps virtuel, elle peut être proposée depuis une perspective égocentrée ou allocentrée, permettant la manipulation expérimentale de la perspective visuo-spatiale impliquée dans le sentiment de localisation du soi (voir *Chapitre II. Partie 1.1.3.*). Par ailleurs, la technologie de réalité virtuelle peut s'associer à des outils de capture du mouvement ou d'enregistrements physiologiques (pour des revues : Pan & Hamilton, 2018; Spanlang et al., 2014), permettant respectivement l'induction (via le couplage visuo-moteur ; voir *Chapitre II. Partie 1.1.2.*) et la mesure des illusions d'incorporation (voir *Chapitre II. 2.2.2.*). Enfin, la réalité virtuelle repose sur l'utilisation de logiciels de modélisation permettant de construire des environnements et des corps virtuels avec un degré de personnalisation quasi-infini. Cette technologie offre ainsi la possibilité de proposer des protocoles expérimentaux variés, permettant de dépasser certaines limites techniques, physiques ou encore éthiques imputables aux paradigmes traditionnels (« rendre l'impossible possible », de la Rosa & Breidt, 2018; Loomis et al., 1999; Pan & Hamilton, 2018; Parsons et al., 2017). L'évolution des paradigmes d'incorporation en réalité virtuelle a donc permis d'étendre l'étude des mécanismes de plasticité de la représentation corporelle en investiguant les processus d'incorporation pour des entités corporelles virtuelles variées en termes de caractéristiques morphologiques et visuelles (voir *Chapitre II. Partie 1.2.*). Le niveau élevé de contrôle expérimental offert par la réalité virtuelle favorise également la validité et la réplicabilité des résultats (pour des revues : de la Rosa & Breidt, 2018; Loomis et al., 1999; Pan

& Hamilton, 2018; Parsons et al., 2017), ce qui pourrait d'ailleurs bénéficier aux études sur les processus d'incorporation au sein desquelles des problématiques méthodologiques ont été identifiées (e.g., répliquabilité, puissance, mesures ; pour une méta-analyse : Mottelson et al., 2023).

Toutefois, l'utilisation de la réalité virtuelle est associée à certaines limites (pour des revues : Behr et al., 2005; Loomis et al., 1999; Pan & Hamilton, 2018; Parsons et al., 2017). Premièrement, si le réalisme de l'expérience de simulation offert par la réalité virtuelle constitue un argument en faveur de l'utilisation de cette technologie, il s'agit également d'une caractéristique responsable de certains effets indésirables. Par exemple, la théorie de la vallée de l'étrange (*uncanny valley* ; Mori, 1970, traduit par MacDorman & Kageki, 2012) postule que lorsqu'un avatar (ou prothèse, robot, personnage de synthèse ; e.g., Latoschik et al., 2017; Lugrin et al., 2015; Seyama & Nagayama, 2007; Shin et al., 2019) présente des caractéristiques humanoïdes réalistes à l'extrême, un sentiment d'étrangeté voire d'inquiétude émerge envers cette entité corporelle (pour des revues : Kätsyri et al., 2015; Zhang et al., 2020). Par ailleurs, le degré élevé de réalisme offert par la réalité virtuelle associé à son caractère immersif expose les individus à des expériences vécues avec intensité et fidélité pouvant ainsi solliciter voire mettre à mal les capacités d'adaptation. Les expériences virtuelles peuvent être d'une telle qualité que leurs frontières avec la réalité deviennent floues, conduisant ainsi à une potentielle indifférenciation entre la virtualité et la réalité (notion de *super-réalisme* ; pour une revue : Slater et al., 2020). Deuxièmement, l'utilisation de la réalité virtuelle est susceptible d'induire des malaises de simulation (*simulation sickness* ou *cybersickness*), favorisés entre autre par certaines caractéristiques techniques du casque immersif (e.g., stabilité, latence ; pour une revue : Spanlang et al., 2014). En somme, Behr et collaborateurs (2005) associent à la réalité virtuelle des risques de surcharge de l'information (i.e., informations sensorielles nombreuses, complexes, parfois confuses), d'intensification de l'expérience, et de perturbations lors de la réinsertion dans l'environnement réel (i.e., réadaptation aux paramètres physiques et sociaux de l'environnement réel). De tels effets indésirables peuvent conduire à l'apparition d'émotions négatives (e.g., anxiété, frustration, peur) et à des perturbations cognitives et comportementales (e.g., désorientation, confusion, modifications de la perception spatiale et corporelle). La réalité virtuelle ne reste donc pas sans conséquences pour les individus, conduisant à l'émergence de nombreux questionnements éthiques quant à son utilisation (pour des revues : Behr et al., 2005; Madary & Metzinger, 2016; Pan & Hamilton, 2018; Parsons, 2021; Parsons et al., 2017; Slater et al., 2020). Parallèlement, le pouvoir de la réalité virtuelle à influencer le fonctionnement de

l'individu fait de cette technologie un outil méthodologique pour l'investigation de mécanismes psychologiques.

3.2. Instrumentalisation des paradigmes d'incorporation

Lorsque le paradigme d'incorporation est utilisé comme un outil méthodologique, les processus d'intérêt ne concernent pas les mécanismes sous-jacents à l'émergence des illusions d'incorporation. L'intérêt est porté sur des processus psychologiques annexes, pouvant notamment concerner les conséquences de ces expériences corporelles (pour des revues : Chen et al., 2023; Furlan & Spagnoli, 2021).

3.2.1 Processus psychologiques interreliés à la notion d'incorporation

L'utilisation de la réalité virtuelle implique l'intervention de processus psychologiques spécifiquement associés aux expériences immersives dans un environnement virtuel. La présentation de ces processus, et notamment la clarification de ces derniers vis-à-vis du processus d'incorporation, apparaît pertinente car des terminologies variées sont parfois utilisées pour faire référence à des construits similaires, tandis que des construits différents sont parfois évoqués sous une même notion (pour une revue : Mottelson et al., 2023).

La notion de présence dans l'environnement virtuel est centrale lors de l'utilisation d'une technologie de réalité virtuelle. Le sentiment de présence correspond à « la croyance de se trouver dans un monde autre que celui où se trouve le corps réel » (Slater & Usoh, 1993). Dans le cadre d'une expérience immersive, le sentiment de présence fait référence à l'illusion « d'être là » dans l'environnement virtuel (pour une revue : Biocca, 1997), autrement qualifié d'illusion de place (pour une revue : Slater, 2009), et il constitue ainsi la réponse à l'immersion offerte par un outil technologique (pour une revue : Slater, 2003). Si la définition du concept de présence manque encore de consensus dans la littérature, elle se distingue toutefois du concept de localisation du soi intégrée au processus d'incorporation (voir *Chapitre II. Partie 1.1.3.*) : « le sentiment de localisation du soi fait référence à l'expérience spatiale d'être dans un corps, [tandis que le sentiment de présence] fait référence à l'expérience spatiale d'être dans un

monde » (Kilteni, Groten, et al., 2012, p. 375). Certaines définitions étendent le concept de présence au-delà d'une notion purement spatiale. Trois formes de présence ont ainsi été proposées : la présence physique, la présence sociale, et la présence de soi (pour des revues : Biocca, 1997; Lee, 2004). Selon les définitions de Lee (2004), ces notions correspondent respectivement aux états psychologiques au travers desquels les objets virtuels, les acteurs sociaux virtuels et le soi virtuel sont vécus comme des objets physiques réels, comme des acteurs sociaux réels, et comme le soi réel. Concernant plus spécifiquement le concept de présence de soi, des aspects corporels, émotionnels et identitaires de l'expérience du soi ont été intégrés à la définition (pour une revue : Ratan, 2012). La présence de soi traduit ainsi la mesure dans laquelle une représentation de soi virtuelle est intégrée dans le schéma corporel, à la mesure dans laquelle les interactions entre la représentation numérique de soi et l'environnement virtuel entraînent des réponses émotionnelles, et la mesure dans laquelle certains aspects de la représentation numérique de soi sont liés à l'identité personnelle (pour une revue : Ratan, 2012).

Note. Bien que non abordé par l'auteur de cette définition (Ratan, 2012), le concept de présence de soi apparaît proche du processus d'incorporation qui, pour rappel, correspond à l'intégration d'un objet à la représentation corporelle (voir *Chapitre II. Partie 1.1.*) et aboutit à des conséquences subjectives, perceptives et émotionnelles (voir *Chapitre II. Partie 2.*). Par conséquent, il est pertinent de s'interroger sur la spécificité respective de chacun des concepts, ce qui, à notre connaissance, n'a pas été fait. Le concept d'incorporation a été étudié conjointement aux sentiments de présence physique et sociale, confirmant qu'il s'agit de phénomènes distincts mais en interrelation (Arora et al., 2022; Suk & Laine, 2023 ; pour des revues : Herbelin et al., 2016; Slater, 2009). En revanche, si une étude a mis en évidence une corrélation positive entre chacune des composantes de l'incorporation et le sentiment de présence de soi relative au schéma corporel (Rosa et al., 2019), aucune donnée ne semble démontrer le caractère similaire ou dissocié de ces phénomènes.

Plus récemment, Müsseler et collaborateurs (2022) ont proposé de privilégier la notion de fusion entre l'avatar et le soi (*avatar-self merging*) à la notion d'incorporation, et définissent cette dernière comme l'influence réciproque entre l'individu et un avatar. L'individu exerce une influence sur l'avatar dans la mesure où il utilise ce dernier comme un outil afin d'interagir

avec l'environnement virtuel et d'atteindre des buts (e.g., contrôle des mouvements de l'avatar ; pour une revue : Müsseler et al., 2022). Ce contrôle de l'avatar par l'individu aboutit à une intégration de l'avatar au sein de la représentation corporelle, faisant ainsi référence au processus d'incorporation. Parallèlement, les auteurs considèrent l'influence de l'avatar sur l'individu. Au-delà des manifestations subjectives et perceptives des illusions d'incorporation (voir *Chapitre II. Partie 2.*), des conséquences à ces expériences corporelles ont en effet été mises en évidence sur la cognition, la perception et le comportement.

3.2.2 Conséquences de l'incorporation d'un corps factice

- ♦ Conséquences du déplacement de la conscience de soi corporelle sur un corps factice soumis à des stimulations

Les paradigmes d'incorporation d'un corps factice ou virtuel peuvent être employés afin de soumettre ce dernier à des stimuli qu'il serait difficile de présenter avec des paradigmes expérimentaux traditionnels, ceci afin d'étudier la réponse des participants à ces stimuli. Premièrement, certaines études ont investigué les réponses physiologiques associées à l'exposition à une situation de menace (Armel & Ramachandran, 2003; Ehrsson et al., 2007; Guterstam et al., 2015; Petkova et al., 2011; Petkova & Ehrsson, 2008; Slater et al., 2010), reproduisant les conséquences physiologiques enregistrées lors de la menace du corps réel. Ces réponses physiologiques à la menace sont d'ailleurs classiquement employées comme mesures de l'expérience d'incorporation (voir *Chapitre II. Partie 2.2.2.*). Il a été observé que la réponse aux stimuli environnementaux pouvait être modulée par les caractéristiques du corps factice ou virtuel incorporé. Par exemple, l'incorporation d'un corps invisible (Guterstam et al., 2015) ou d'apparence différente de celle du participant (Aymerich-Franch et al., 2014) réduit le niveau subjectif de stress et la fréquence cardiaque lors de l'exposition à une situation socialement anxiogène.

Deuxièmement, certaines études ont étudié la réponse à des stimuli provenant du corps virtuel incorporé. La possibilité de dissocier les signaux somesthésiques provenant du corps réel des signaux visuels projetés dans le casque de réalité virtuelle a été saisie afin d'en investiguer les conséquences sur la perception des mouvements et l'exécution motrice (pour des revues : Barra et al., 2020; Pyasik et al., 2022). Par exemple, le déplacement des bras

virtuels d'un avatar incorporé, tandis que les bras du participant sont statiques, conduit à l'émergence d'illusions kinesthésiques (i.e., sensation de déplacement du bras réel ; Dupraz et al., 2022, 2024; Giroux et al., 2018, 2021). Autrement dit, les informations visuelles de mouvement issues du corps de l'avatar incorporé participent à la construction de la kinesthésie, au même titre que les informations issues du corps réel (pour une revue : Barra et al., 2020). Si ces résultats témoignent de l'influence des caractéristiques dynamiques de l'avatar incorporé sur la perception du mouvement, des conséquences sur l'exécution motrice ont également été démontrées (pour une revue : Pyasik et al., 2022). Par exemple, Burin et collaborateurs (2019) ont observé, lors d'une tâche motrice en réalité virtuelle, que la présentation d'une incongruence entre les mouvements de l'avatar incorporé (i.e., dessin d'une ellipse) et ceux réalisés par les participants (i.e., consignes de dessiner une ligne verticale) influence la production motrice de ces derniers en direction des mouvements vus (i.e., ovalisation des lignes verticales). Cet effet de contagion motrice de l'avatar sur le participant a été qualifié de *self-avatar follower effect* (Gonzalez-Franco et al., 2020) et démontre que les mouvements de l'avatar incorporé impactent le fonctionnement moteur des participants (pour une revue : Pyasik et al., 2022).

- ♦ Conséquences du déplacement de la conscience de soi corporelle sur un corps factice présentant des déviations par rapport au corps biologique

Des études ont employé un paradigme d'incorporation afin d'investiguer les effets d'une déviation expérimentale de la représentation corporelle par rapport au corps biologique sur la perception du propre corps, de l'espace et des objets externes (pour une revue : Pyasik et al., 2022). Tout d'abord, l'incorporation d'un corps élargi conduit les participants à surestimer la taille de leur propre ventre (Normand et al., 2011), de leurs hanches (Tambone et al., 2021), et à augmenter les distances entre le corps et un obstacle (Rubo & Gamer, 2019). Parallèlement, l'incorporation d'un corps factice ou virtuel affiné comparativement au corps réel des participants conduit à une sous-estimation de la taille corporelle (Preston & Ehrsson, 2014; Serino et al., 2016; Tambone et al., 2021). Si l'estimation de la taille corporelle est impactée par les dimensions du corps factice ou virtuel incorporé, il en est de même des attitudes relatives aux corps. Une augmentation de la satisfaction corporelle a été enregistrée consécutivement à l'incorporation d'un ventre affiné (Preston & Ehrsson, 2014), tandis qu'une augmentation du niveau d'émotions, d'attitudes et de cognitions dysfonctionnelles à l'égard de la forme corporelle a été mesurée consécutivement à l'incorporation d'un corps élargi (Porrás Garcia et

al., 2019). Il apparaît ainsi que l'incorporation d'un avatar présentant certaines caractéristiques morphologiques influence la représentation corporelle des participants ainsi que leurs attitudes vis-à-vis de cette dernière, et que cette influence s'opère en direction des caractéristiques de l'avatar. Il est important de souligner que certains résultats expérimentaux ne confirment pas cette influence ou manquent de consistance, soulevant ainsi des questionnements relatifs aux mécanismes à l'origine des changements perceptifs consécutifs aux processus d'incorporation (Piryankova et al., 2014; Porrás Garcia et al., 2019; Preston & Ehrsson, 2014; Serino et al., 2016, 2020; Tosi et al., 2022). Par exemple, plusieurs études ont observé une modification de la perception corporelle consécutivement à l'incorporation d'un avatar présentant des caractéristiques morphologiques spécifiques, mais ceci indépendamment de la synchronisation visuo-tactile ou visuo-motrice (Piryankova et al., 2014; Porrás Garcia et al., 2019; Serino et al., 2016; Tosi et al., 2022). Il a été proposé que ces inconsistances puissent être liées à la variété des procédures employées pour estimer la perception corporelle (Keizer et al., 2016; Piryankova et al., 2014). Une standardisation de ces procédures pourrait bénéficier à la compréhension de la relation qu'il existe entre les dimensions corporelles et la représentation qui en est faite.

Outre l'influence des caractéristiques du corps factice ou virtuel incorporé sur la perception de son propre corps, un impact sur la perception des dimensions de l'espace et des objets a été identifié. L'incorporation des jambes d'une poupée de petite taille conduit les participants à percevoir les objets comme étant plus gros et plus éloignés, tandis que l'incorporation de jambes d'une poupée de grande taille conduit les participants à percevoir les objets comme étant plus petits et plus proches (van der Hoort et al., 2011; van der Hoort & Ehrsson, 2014). Cet effet de la dimension du corps sur la perception spatiale est retrouvé lors de l'incorporation d'un bras virtuel ou d'un corps invisible de petite ou de grande taille (Linkenauger et al., 2015; van der Hoort & Ehrsson, 2016), et lors de l'incorporation d'un avatar d'âge adulte ou d'enfant (Banakou et al., 2013; Tajadura-Jiménez et al., 2017). En effet, si l'incorporation d'un avatar en réalité virtuelle suffit à entraîner une surestimation de la taille des objets virtuels, cette surestimation est plus importante lorsque l'avatar incorporé est celui d'un enfant plutôt que celui d'un adulte (Banakou et al., 2013; Tajadura-Jiménez et al., 2017). De manière intéressante concernant ce dernier résultat, les avatars incorporés étaient tous deux de taille similaire (i.e., même hauteur dans l'environnement virtuel), seuls les traits relatifs à l'enfance ou à l'âge adulte transparaissaient de ces avatars. Les auteurs avancent ainsi que « des processus cognitifs de haut niveau (i.e., aspects de la forme du corps en termes de représentation de l'âge) peuvent influencer l'interprétation perceptive de la taille des objets dans le monde

extérieur autrement que par la seule taille du corps. » (Banakou et al., 2013, p. 12849). Il apparaît ainsi que les caractéristiques d'apparence des avatars et les représentations mentales qui y sont associées influencent la perception. Ce phénomène a également été étudié sur le comportement des individus : des effets de conformisme aux croyances relatives aux caractéristiques de l'avatar incorporé ont été démontrés et qualifiés d'effet Proteus (Yee & Bailenson, 2007). La mise en évidence d'illusions d'incorporation d'entités corporelles variées en termes d'apparence (voir *Chapitre II. Partie 1.2.*) interroge sur la nature et l'ampleur de ce type d'influence comportementale.

Synthèse

L'étude expérimentale de la conscience de soi corporelle repose largement sur les paradigmes d'incorporation qui visent à intégrer un objet externe au sein de la représentation corporelle, autrement dit à faire émerger une illusion d'incorporation. Ces illusions, évaluées au travers de mesures subjectives, proprioceptives, physiologiques, autonomiques ou encore psychophysiques, émergent lorsque les propriétés de l'objet externe sont traitées à la manière de celles du corps biologique. Ce processus d'incorporation est classiquement abordé au travers de trois composantes : la possession corporelle, l'agentivité, et la localisation du soi. Le sentiment de possession corporelle, fait référence au sentiment d'appartenance éprouvé à l'égard de l'objet factice qui est alors considéré comme la source des sensations perçues. Il émerge de processus d'intégration multisensorielle (e.g., corrélation spatio-temporelle) et de processus relatifs à la représentation et à la sémantique corporelle (i.e., forme corporelle, texture et plausibilité anatomique). Le sentiment d'agentivité fait référence au sentiment d'initier et de contrôler une action motrice réalisée par l'objet factice, et repose principalement sur la cohérence entre l'envoi d'une commande motrice et les retours sensoriels issus de l'action motrice (i.e., corrélation visuo-motrice). Le sentiment de localisation du soi fait référence à la position spatiale à laquelle un individu se sent localisé, et, dépendant de la perspective visuo-spatiale, il peut émerger lors d'une immersion avec une perspective à la première plutôt qu'à la troisième personne dans un corps factice.

Les paradigmes d'incorporation traditionnels (e.g., paradigme de la main en caoutchouc) ainsi que les évolutions en réalité virtuelle, mettent en évidence des illusions d'incorporation d'entités corporelles factices variées. Des processus d'incorporation sont rapportés pour des segments ou corps entiers factices ou virtuels présentant des déviations par rapport au corps biologique en termes de sémantique corporelle, de texture, de structure, de morphologie, d'âge, de couleur de peau ou encore de genre. Si l'utilisation des paradigmes d'incorporation apparaît efficace pour démontrer et investiguer plus encore la plasticité de la représentation corporelle et les mécanismes sous-jacents à l'émergence de la conscience de soi corporelle, ils offrent également une méthodologie de choix pour l'étude des conséquences perceptives, cognitives et comportementales des déviations expérimentales de la représentation corporelle par rapport au corps biologique. Des études expérimentales démontrent l'impact d'une telle déviation sur la perception du corps, de l'espace et des objets. Des conséquences comportementales d'une déviation expérimentale de la représentation corporelle sont également mises en évidence et sont notamment étudiées dans le cadre de l'effet Proteus : phénomène de conformisme aux croyances relatives aux caractéristiques de l'avatar.

CHAPITRE III.

L'effet Proteus, des avatars qui nous influencent

1. D'un avatar à l'effet Proteus : présentation et illustrations du phénomène

1.1. L'avatar comme représentation du soi : définition et typologies

Les avatars sont des représentations numériques facilitant les interactions avec l'environnement virtuel (e.g., autrui, objets ; Bailenson & Blascovich, 2004, cité par Weidner et al., 2023; pour une revue : Nowak & Fox, 2018). A la différence des agents virtuels qui sont contrôlés par un système informatique, les avatars sont contrôlés par un individu (Bailenson & Blascovich, 2004, cité par Weidner et al., 2023; Biocca, 2014) ; ceux-ci constituent la représentation numérique de ce dernier. Un avatar peut donc être défini comme une « représentation de soi médiatisée qu'un utilisateur intelligent contrôle lors d'interactions dynamiques » (Ratan & Pandita, 2023, p. 3).

Le format des avatars est marqué par une grande variabilité, allant d'une simple image ou illustration, passive et non-interactive, à une représentation en trois dimensions articulée et dynamique (Biocca, 2014). Les avatars proposés dans les technologies numériques peuvent être caractérisés en termes de fidélité visuelle définie selon trois critères : l'anthropomorphisme, le réalisme, et la véracité (pour des revues : Garau, 2003; Nowak & Fox, 2018). Premièrement, le degré d'anthropomorphisme correspond à la mesure dans laquelle la morphologie de l'avatar se rapproche d'une morphologie humanoïde. Par exemple, un avatar présentant deux bras et deux jambes présente un degré d'anthropomorphisme plus important qu'un avatar de chien. Concernant le comportement, le degré d'anthropomorphisme correspond à la mesure dans laquelle le comportement de l'avatar est cohérent à un comportement humain (e.g., parler). Deuxièmement, le degré de réalisme correspond au niveau de détails dans l'apparence (ou le comportement) de l'avatar, et caractérise la mesure dans laquelle cette apparence (ou ce comportement) est plausible en dehors de l'environnement virtuel. Par exemple, un personnage de dessin animé présente un degré de réalisme moins important qu'un personnage de film. Troisièmement, le degré de véracité traduit la mesure dans laquelle l'avatar ressemble à

l'individu dont il est la représentation numérique, et caractérise ainsi le degré de similarité entre l'avatar et l'utilisateur. Par exemple, un avatar sosie (*doppelganger avatar* ; pour une revue : Bailenson & Segovia, 2010) présente un degré de véracité plus important qu'un avatar générique. Sur la base de 72 articles, Weidner et collaborateurs (2023) ont proposé une classification des représentations numériques en dix catégories selon leurs caractéristiques de fidélité visuelle. Ils ont identifié les modèles abstraits caractérisés par des formes géométriques basiques, les robots caractérisés par des proportions humaines associées à une apparence mécanique, les modèles en nuage de points (*point light display*) caractérisés par un ensemble de points plus ou moins nombreux représentant une forme humaine générale, etc. La fidélité visuelle des avatars dépend largement des possibilités et contraintes de personnalisation des outils de création utilisés. « Le choix d'un avatar dans un monde virtuel est à certains égards analogue au processus de choix d'une tenue dans un monde physique, bien que les sélections dépendent des limitations technologiques plutôt que des vêtements dans l'armoire d'une personne » (Nowak & Fox, 2018, p. 40). Il a été montré que le degré de fidélité visuelle impacte le sentiment d'incorporation des avatars, et plus précisément de possession corporelle. Ce dernier est plus élevé pour un avatar anthropomorphique réaliste plutôt que non réaliste (Latoschik et al., 2017; Salagean et al., 2023; dans la limite du phénomène de vallée de l'étrange ; e.g., Lugin et al., 2015; voir *Chapitre II. 3.1.2.*), et pour un avatar similaire à l'individu plutôt que générique (Gorisse et al., 2019; Salagean et al., 2023).

Au-delà des paramètres de fidélité visuelle, la création d'un avatar dépend également des caractéristiques qu'un utilisateur souhaite faire transparaître de l'avatar. Les choix de personnalisation peuvent témoigner du souhait de l'individu de représenter fidèlement des aspects de l'identité personnelle ou sociale (e.g., morphologie, rôle, genre, personnalité). A l'inverse, ceux-ci peuvent témoigner d'une motivation à masquer des éléments de l'identité voire explorer d'autres identités (Lin & Wang, 2014 ; pour des revues : Biocca, 2014; Cheymol et al., 2023; Nowak & Fox, 2018). La personnalisation aboutit ainsi à la création d'un avatar présentant des caractéristiques physiques, psychologiques ou sociales correspondant ou non à celles de l'individu. De manière intéressante, et de façon analogue à ce qui est observé au sein des relations interpersonnelles, les caractéristiques d'apparence d'un personnage virtuel véhiculent des informations sociales et sont associées à des stéréotypes (pour une revue : Nowak & Fox, 2018). Par exemple, des participants présentent une réactivité physiologique plus importante ainsi qu'une distance sociale plus élevée envers des agents virtuels à la peau de couleur noire qu'envers des agents virtuels à la peau de couleur blanche (Dotsch & Wigboldus,

2008), ou sont moins susceptibles d'apporter leur aide aux premiers comparativement aux seconds (Eastwick & Gardner, 2009). Si ces résultats témoignent qu'un agent virtuel peut faire l'objet d'une catégorisation sociale suivie de comportements discriminatoires, son propre avatar peut également subir ce même processus de catégorisation et conduire à un phénomène d'influence comportementale. En effet, le comportement de l'individu peut être influencé par les caractéristiques d'apparence de sa propre représentation numérique, ce qui est notamment étudié dans le cadre de l'effet Proteus (Yee & Bailenson, 2007).

1.2. Définition et démonstrations du phénomène d'effet Proteus

L'effet Proteus correspond au phénomène à travers lequel les individus se conforment « aux attentes et aux stéréotypes de l'identité de leurs avatars » (Yee & Bailenson, 2007, p. 274), autrement dit, ils « adoptent des attitudes et des comportements qui sont congruents à l'apparence de leur soi virtuel (avatar) » (Clark, 2020, p. 2). Yee et Bailenson ont nommé l'effet Proteus en référence à Protée, divinité de la mythologie grecque dotée du don de métamorphose, et ayant donné naissance à l'adjectif protéen ou protéiforme, qualifiant une entité capable de se présenter sous des aspects variables. Dans le cadre de l'effet Proteus, l'avatar de l'individu constitue cette entité dont les caractéristiques peuvent varier et être associées à des stéréotypes.

Les stéréotypes sont des « croyances concernant les caractéristiques, les attributs et les comportements des membres de certains groupes » (Hilton & von Hippel, 1996, p. 240). Ces derniers peuvent avoir une connotation positive (e.g., « les personnes âgées sont sages ») ou négative (e.g., « les personnes âgées sont grincheuses »), et peuvent refléter des traits réalistes (e.g., « les femmes ont moins de force physique que les hommes » ; voir Roberts et al., 2016) ou arbitraires (e.g., « les enseignants à l'université portent des pantalons en velours côtelé » ; Hilton & von Hippel, 1996). De plus, on parle d'auto-stéréotypes lorsque ceux-ci font référence au groupe social d'appartenance, et d'hétéro-stéréotypes lorsque ceux-ci concernent un autre groupe social (pour une revue : Wheeler & Petty, 2001). Les stéréotypes ne sont pas de simples images mentales associées à des groupes sociaux, ces derniers sont susceptibles d'influencer le comportement des individus. Cette influence peut s'exercer dans la direction du stéréotype, il s'agit des effets d'assimilation aux stéréotypes, ou dans la direction opposée, il s'agit des effets de contraste (pour une revue : Wheeler & Petty, 2001). Dans la mesure où l'effet Proteus traduit un phénomène de conformisme au stéréotype associé aux caractéristiques de l'avatar, c'est-à-

dire une influence en direction du stéréotype, il s'inscrit parmi les effets d'assimilation au stéréotype.

Depuis la mise en évidence du phénomène, les recherches sur l'effet Proteus ont été nombreuses et variées (pour des revues et méta-analyses : Beyea et al., 2023; Clark, 2020; Y. Liu, 2023; Poleac, 2023; Praetorius & Görlich, 2020; Ratan et al., 2019; Walther & Lew, 2022). Les traits de l'avatar ont été manipulés en termes de taille, d'attractivité, d'origine ethnique, de genre, d'âge, de morphologie, de style vestimentaire ou encore de traits relatifs à des célébrités. Les conséquences de ces caractéristiques visuelles ont été investiguées sur des aspects comportementaux (e.g., interactions, activité motrice), cognitifs (e.g., performances, pensées) et attitudeaux (e.g., âgisme, racisme) divers, et étudiées au travers de mesures comportementales, auto-rapportées, implicites ou encore physiologiques. Enfin, les outils techniques et les environnements virtuels utilisés dans les études sont variés. Certaines expériences s'appuient sur des technologies d'immersion en réalité virtuelle tandis que d'autres s'équipent d'un écran d'ordinateur, les unes comme les autres utilisant soit des environnements virtuels créés en laboratoire soit des environnements virtuels issus de logiciels commerciaux disponibles et applicables à l'étude de l'effet Proteus (pour une méta-analyse : Beyea et al., 2023).

Note : Concernant ce dernier point, certaines études investiguent l'effet Proteus au travers de paradigmes d'incorporation d'avatar en réalité virtuelle (voir *Chapitre II. Partie 3.1.2.*), tandis que d'autres études utilisent des protocoles dont les outils de personnalisation, d'immersion et de contrôle des avatars offrent une expérience virtuelle qualifiée de moins réaliste (e.g., contrôler les mouvements de l'avatar au travers d'un couplage avec ses propres mouvements, d'un joystick, d'un clavier). Dans le manuscrit, afin d'apporter, lorsque cela est possible, des précisions quant à la technologie employée, les études basées sur un paradigme immersif sont présentées comme ayant investigué l'effet de « *l'incorporation* » d'un avatar, tandis que celles basées sur un paradigme non immersif sont présentées comme ayant investigué l'effet de « *l'utilisation* » d'un avatar.

1.2.1 Comportements et interactions

Yee & Bailenson (2007) sont, à notre connaissance, les premiers à avoir spécifiquement investigué l'effet de la manipulation expérimentale des traits de l'avatar sur le comportement des individus. Conformément aux stéréotypes relatifs à la beauté (Langlois et al., 2000), ils ont observé que l'incorporation d'un avatar attractif conduit les participants à se montrer plus confiants et extravertis aux cours des échanges avec un complice que l'incorporation d'un avatar peu attractif. Par ailleurs, les participants se montrent plus affirmés dans une tâche de négociation face à un complice lors de l'incorporation d'un avatar de grande taille que lors de l'incorporation d'un avatar de plus petite taille (Yee & Bailenson, 2007). Plusieurs études menées depuis ont confirmé ces premiers résultats (Bian et al., 2015; Yee et al., 2009), et ont permis d'étendre l'observation de l'effet Proteus sur d'autres aspects comportementaux relatifs aux interactions sociales. Par exemple, conformément aux stéréotypes relatifs aux comportement agressifs, une augmentation de l'agressivité a été observée lors de l'utilisation d'un avatar de malfaiteur plutôt que de héros (Peña, Craig, et al., 2022), et lors de l'utilisation d'un avatar de couleur noire plutôt que de couleur blanche (pour des participants de couleur blanche ; Yang et al., 2014). Parallèlement, l'utilisation d'un avatar présentant des traits de directeur démocratique plutôt qu'autoritaire conduit les participants à plus d'altruisme (Peña, Aridi Barake, et al., 2022). Palomares & Lee (2010) ont montré que l'utilisation d'un avatar de genre féminin, plutôt que masculin, conduit les participantes à employer un langage considéré stéréotypiquement plus féminin, empreint de plus d'émotions notamment.

Plusieurs études expérimentales se sont également employées à investiguer l'effet Proteus sur l'activité motrice et attestent de l'influence des caractéristiques de l'avatar relatives à l'âge (Reinhard et al., 2019; Tammy Lin & Wu, 2021; Vahle & Tomasik, 2022; Vogel et al., 2022), au poids (Li et al., 2014; Peña et al., 2016; Peña & Kim, 2014) ou encore à la musculature (Czub & Janeta, 2021; Kocur, Kloss, et al., 2020; Kocur et al., 2021; Tammy Lin et al., 2021) sur la performance motrice. Une présentation plus détaillée des résultats de ces expériences ainsi que de leurs limites fait spécifiquement l'objet de la *Partie 2.2.1.* de ce manuscrit.

1.2.2 *Cognitions*

Suite à la mise en évidence de l'effet Proteus sur le comportement (Yee & Bailenson, 2007), les expérimentations ont étendu l'étude du phénomène sur des aspects cognitifs (Peña et al., 2009). Une augmentation des pensées et intentions agressives ainsi qu'une diminution des

pensées positives ont été observées lors de l'utilisation d'un avatar portant une cape noire ou une cape associée au Ku Klux Klan plutôt qu'une cape blanche (Peña et al., 2009). Toujours conformément aux stéréotypes relatifs à l'agressivité, davantage de pensées agressives ont été mesurées consécutivement à l'utilisation d'un avatar de couleur noire plutôt que de couleur blanche, ceci chez des participants de couleur blanche (Eastin et al., 2009). Les pensées, les émotions (Aymerich-Franch et al., 2014) et la perception de ses compétences (Frisanco et al., 2022) se sont également révélées sensibles aux caractéristiques des avatars. Par exemple, l'étude de Frisanco et collaborateurs (2022) démontre que l'incorporation d'un avatar représentant le Dieu chrétien entraîne une réactivité physiologique moins élevée lors d'un évènement menaçant et une estimation plus importante de ses capacités comparativement à l'incorporation d'un avatar contrôle.

Les conséquences de la manipulation des caractéristiques de l'avatar sur les performances cognitives des individus ont également été investiguées. Conformément aux stéréotypes de genre (voir Halpern, 2014), l'utilisation d'un avatar masculin conduit les participants à mieux réussir une tâche arithmétique que l'utilisation d'un avatar féminin (Lee et al., 2014), ce qui a été retrouvé chez les individus ayant eu la possibilité de personnaliser leurs avatars (Ratan & Sah, 2015). Les auteurs ont interprété leurs résultats en termes d'effet de menace du stéréotype (voir *Chapitre II. Partie 2.2.2.*). Une équipe de chercheurs s'est employée à étudier l'impact de l'utilisation d'un avatar associé à des caractéristiques d'ingéniosité et de créativité sur les performances de créativité. Ils ont observé que l'utilisation d'un avatar « créatif » plutôt que neutre permet aux participants de générer davantage d'idées et des idées de meilleure qualité (Buisine & Guegan, 2019; Guegan et al., 2016; pour revue: J. Liu et al., 2023). Enfin, conformément aux attentes de performance intellectuelle associées à Albert Einstein, utiliser un avatar représentant ce dernier conduit les participants à mieux performer sur une tâche de raisonnement qu'utiliser un avatar représentant un jeune homme (Banakou et al., 2018).

1.2.3 Attitudes

D'autres études se sont employées à investiguer l'effet Proteus sur les attitudes. Une attitude correspond à une association entre un objet ou groupe social et un attribut de valence, c'est-à-dire une évaluation positive ou négative (Greenwald et al., 2002). Compte tenu que les individus présentent des attitudes plus favorables envers leur propre groupe social

d'appartenance (i.e., endo-groupe) qu'envers un autre groupe social (i.e., exo-groupe ; Doise et al., 1972; Fazio et al., 1995; Greenwald et al., 1998), Yee & Bailenson (2006) ont investigué dans quelle mesure l'incorporation d'un avatar incarnant l'exo-groupe influençait les attitudes des individus envers ce groupe social. Ils ont observé que de jeunes participants associaient davantage d'attributs positifs au vieillissement consécutivement à l'incorporation d'un avatar âgé plutôt que jeune (Yee & Bailenson, 2006), traduisant des attitudes plus positives envers les personnes âgées après l'incorporation d'un avatar incarnant ce groupe social. Ce changement favorable a été retrouvé vis-à-vis des attitudes relatives au vieillissement (Ayalon et al., 2022; Banakou et al., 2018), des attitudes racistes ou encore des attitudes sexistes. En effet, une réduction des attitudes implicites négatives envers les personnes de couleur noire a été observée chez des participants de couleur blanche ayant incorporé un avatar de couleur noire plutôt que blanche (Banakou et al., 2016; Marini & Casile, 2022; Peck et al., 2013). De même, des participants de genre masculin présentent des attitudes implicites plus positives envers les femmes après l'incorporation d'un avatar de femme plutôt que d'homme (L. Wu & Chen, 2022). Si ces résultats témoignent d'un changement d'attitudes relatives à des groupes sociaux (e.g., personnes âgées, personnes de couleur noire), un changement d'attitudes envers le personnage incarné par l'avatar a également été observé. En effet, des participants ayant incorporé un avatar de Kim Kardashian ont démontré des attitudes explicites plus positives envers cette dernière que ceux ayant incorporé un avatar neutre (McCain et al., 2018).

Il est pertinent de souligner que ces premiers résultats sur les attitudes interrogent sur le fait même de les considérer comme l'illustration d'un effet Proteus. En effet, un changement favorable d'attitudes envers le groupe social ou personnage incarné par l'avatar ne reflète pas un stéréotype spécifiquement associé à un groupe social plutôt qu'à un autre compte tenu qu'une préférence pour le propre groupe d'appartenance est attendue, quel que soit le groupe social considéré (Fazio et al., 1995; Greenwald et al., 1998). Néanmoins, ce changement attitudinal reste cohérent à ce qui pourrait être attendu des membres du groupe incarné par l'avatar, légitimant ainsi, selon certains auteurs, de considérer ces résultats expérimentaux comme un effet Proteus (pour une méta-analyse : Ratan et al., 2019). D'autres auteurs interprètent la réduction des attitudes négatives envers le groupe social incarné par l'avatar non pas en termes d'effet Proteus, mais en termes d'effet de prise de perspective (pour une méta-analyse : Clark, 2020 ; voir *Chapitre III. Partie 2.2.1.*).

Une expérience s'est employée à investiguer l'effet de l'incorporation d'un avatar sur les attitudes relatives, non pas au groupe social (ou personnage) incarné par l'avatar, mais à un

objet ou groupe social pour lequel il est stéréotypiquement attendu que les membres du groupe social incarné par l'avatar détiennent des attitudes. Il a ainsi été observé que, conformément au stéréotype selon lequel les personnes minces sont plus favorables à la consommation de nourriture saine plutôt que non saine, l'incorporation d'un avatar de morphologie plus mince que le participant a conduit à un évitement des aliments présentant un indice calorique élevé, traduisant des attitudes plus négatives envers ce type de nourriture (Tambone et al., 2021).

1.3. Existence de l'effet Proteus : synthèse

Un effet Proteus est susceptible d'apparaître 1) lorsqu'un individu est représenté par un avatar dans un environnement virtuel, 2) que cet avatar présente des caractéristiques d'apparence associées à des stéréotypes, et 3) que l'individu a l'opportunité de produire un comportement (ou performance cognitive, pensée, émotion, attitude ; pour une méta-analyse : Clark, 2020). Dans ces conditions, l'effet Proteus a été démontré un grand nombre de fois et sur des mesures variées, mais certaines études ne parviennent pas à identifier le phénomène (e.g., Ash, 2016; Cummins & Schofield, 2023; de Rooij et al., 2017; Fox et al., 2013; Joo & Kim, 2017; McCain et al., 2018; Otono et al., 2021; Sherrick et al., 2014; Skowronski et al., 2021; van der Waal et al., 2021; Verhulst et al., 2018; Via, 2016), ou identifient des effets comportementaux allant dans la direction opposée aux prédictions (Groom et al., 2009; S. Lopez et al., 2019; McCain et al., 2018; Van Der Heide et al., 2013; Yang et al., 2014). Du reste, ces effets de contraste aux stéréotypes associés à l'avatar ont été expliqués par l'intervention d'autres phénomènes que l'effet Proteus (e.g., effet de compensation comportementale ; Van Der Heide et al., 2013), par le scénario expérimental proposé (voir Peck et al., 2013 pour l'étude de Groom et al., 2009; Lopez et al., 2019), ou encore par le rôle de la désirabilité des traits de l'avatar sur l'effet Proteus (McCain et al., 2018). Concernant cette dernière interprétation, McCain et al. (2018) proposent que l'apparition d'un effet Proteus est soumise à la désirabilité des traits de l'avatar incorporé ; les participants se distancieraient des traits non désirables de leur avatar (e.g., narcissisme) afin de maintenir une perception de soi positive, réduisant ainsi la probabilité d'observer un effet Proteus. Si ce facteur modérateur peut être à l'origine des résultats observés dans cette étude, nombre de résultats expérimentaux témoignent toutefois d'un effet Proteus conforme à l'assimilation à des traits non désirables de l'avatar (e.g.,

agressivité, Peña, Craig, et al., 2022 ; réduction des performances physiques, Reinhard et al., 2019).

Afin d'analyser la consistance et la puissance de l'effet Proteus, Ratan et collaborateurs (2019) ont réalisé une méta-analyse sur la base de 46 études expérimentales ayant spécifiquement investigué l'effet des caractéristiques de l'avatar sur une mesure comportementale ou attitudinale. Les chercheurs ont mis en évidence une taille d'effet moyenne de $r = .24$ avec un intervalle de confiance à 95% de $[.21, .27]$, traduisant un effet de taille moyenne (Funder & Ozer, 2019). Ce résultat a été confirmé dans une plus récente méta-analyse conduite sur 56 études ($r = .23$, IC 95% $[.20, .26]$), avec une légère diminution de la taille d'effet moyenne une fois ajustée pour potentiel biais de publication ($r = .20$; Beyea et al., 2023). Ratan et collaborateurs (2019) ont identifié une taille d'effet moyenne proche entre les études ayant investigué l'effet Proteus sur une variable comportementale ($r = .23$, IC 95% $[.20, .27]$) et attitudinale ($r = .26$, IC 95% $[.21, .31]$), avec cependant un pourcentage de variance inexplicée par la manipulation des caractéristiques de l'avatar légèrement plus important pour les études ciblant une mesure comportementale plutôt qu'attitudinale. Les auteurs expliquent cette différence par la grande hétérogénéité au sein des mesures comportementales, comparativement aux mesures attitudinales davantage similaires entre elles (pour une méta-analyse : Ratan et al., 2019).

En somme, il apparaît que l'effet Proteus constitue un phénomène valide, intervenant de manière relativement consistante aussi bien sur les mesures comportementales qu'attitudinales. Si l'effet Proteus constitue à l'heure actuelle un phénomène reconnu et riche de démonstrations, les explications théoriques du phénomène sont plus partagées.

2. Comprendre l'effet Proteus : des mécanismes non consensuels

Deux principales théories ont été proposées pour expliquer l'effet Proteus : la théorie de l'auto-perception (Bem, 1972; Yee & Bailenson, 2007), et la théorie de l'amorçage (Bargh et al., 1996; Peña et al., 2009). Certains mécanismes tels que l'effet de prise de perspective (Galinsky & Moskowitz, 2000) et l'effet de menace du stéréotype (Steele, 1997; Steele & Aronson, 1995) ont été proposés comme explications alternatives lors de démonstrations de l'effet Proteus dans des contextes et/ou sur des mesures spécifiques. D'autres mécanismes

d'influence, tels que l'effet de confirmation comportementale (Snyder et al., 1977) ou de conformisme à une norme en situation de désindividualisation dans les environnements virtuels (pour une revue : Postmes et al., 1998; Reicher et al., 1995), ont, au contraire, été distingués de l'effet Proteus. Ainsi, au-delà de la présentation des mécanismes explicatifs de l'effet Proteus, il apparaît nécessaire de contextualiser l'effet au sein des phénomènes voisins afin d'en étudier les spécificités.

Note. Il convient de souligner que la présentation des effets d'influence comportementale et attitudinale proposée ici n'est pas exhaustive ; une attention est portée aux phénomènes ayant été discutés, investigués ou confrontés dans le cadre de la littérature sur l'effet Proteus.

2.1. Théories explicatives de l'effet Proteus

2.1.1 Théorie de l'auto-perception

La théorie de l'auto-perception constitue la première explication théorique proposée pour expliquer l'effet Proteus (Yee & Bailenson, 2007). Cette théorie postule que les individus infèrent leurs attitudes, leurs émotions et leurs états internes à partir de l'observation de leur propre comportement et/ou de la situation dans laquelle ces comportements se produisent (pour une revue : Bem, 1972). Selon cette théorie, l'individu utilise des indices externes pour inférer des états internes, comme pourrait le faire un observateur extérieur. Autrement dit, « ils [les individus] examinent leur propre comportement [...] et se posent ensuite la question (implicitement) : 'Quelle doit être mon attitude si je suis prêt à me comporter de cette manière dans cette situation ?' » (Bem, 1972, p. 7). Plusieurs résultats sont interprétés au travers de la théorie de l'auto-perception. Par exemple, dans l'étude de Valins (1966), un stimulus sonore intégrant ou non des variations de rythme était présenté à des participants visionnant des photos de femmes. Les participants, ayant interprété à tort le stimulus sonore comme étant le feedback de leur propre rythme cardiaque, ont jugé les femmes présentées simultanément à un changement de rythme comme étant plus attractives que celles présentées en l'absence de changement de rythme. Selon la théorie de l'auto-perception, les participants auraient inféré des dispositions internes (i.e., attitude envers une femme) en se basant sur des indices externes

(i.e., stimulus auditif interprété comme étant le rythme cardiaque) plutôt que des indices internes (pour une revue: Bem, 1972). Par ailleurs, Frank & Gilovich (1988) ont observé que les joueurs d'équipes sportives vêtus d'un uniforme de couleur noire jouaient de manière plus agressive que les joueurs portant des uniformes de couleur blanche. Ces résultats ont en partie été attribués à un effet d'auto-perception : les joueurs inféreraient leurs dispositions au travers de leur uniforme dont la couleur est associée à des attentes d'agressivité (Frank & Gilovich, 1988).

Dans le cadre de l'effet Proteus, l'immersion dans un environnement virtuel entraîne une situation de désindividualisation. L'individu n'existe alors plus qu'au travers de son avatar qui constitue le principal indice identitaire au sein de l'environnement virtuel. Dans une telle situation, l'individu observerait son avatar, et, sur la base d'un mécanisme d'auto-perception, en infèrerait une nouvelle identité (Yee & Bailenson, 2007). L'individu se conformerait alors aux croyances associées à ces caractéristiques identitaires. En conclusion, selon la théorie de l'auto-perception, l'effet Proteus correspond à un phénomène de conformisme à des nouveaux indices identitaires fournis par l'avatar. Ce dernier est considéré comme la représentation du soi dans l'environnement virtuel (pour une méta-analyse : Ratan et al., 2019; Yee & Bailenson, 2007).

2.1.2 *Principe d'amorçage*

La théorie de l'amorçage a été proposée comme interprétation alternative à celle de l'auto-perception pour expliquer l'effet Proteus : le phénomène serait la conséquence de l'amorçage des stéréotypes associés aux caractéristiques de l'avatar (Peña, 2011; Peña et al., 2009). L'amorçage correspond à une situation dans laquelle un stimulus situationnel (i.e., amorce) active de manière automatique des représentations mentales stockées en mémoire, telles que des concepts, des stéréotypes, des souvenirs, des buts ou encore des représentations comportementales (Bargh, 1994; Bargh et al., 1996; Perdue & Gurtman, 1990). Le principe d'amorçage repose sur le modèle de diffusion de l'activation (Collins & Loftus, 1975) postulant, sur la base d'une organisation en réseau de la mémoire sémantique, que l'activation d'une information se diffuse aux informations reliées, facilitant ensuite le traitement de ces dernières. Par exemple, l'activation du mot « artichaut » conduit à une diffusion de l'activation vers les informations sémantiquement liées telles que « légume » ou « cœur » et facilite ainsi le

traitement de ces dernières. En ce sens, l'amorçage du concept de vieillissement favorise le traitement et le rappel de traits de valence négative (e.g., cupide, méfiant) comparativement à positive (e.g., gaieté, ouvert d'esprit ; et inversement pour l'amorçage du concept de jeunesse ; Perdue & Gurtman, 1990), ceci conformément aux associations qui existent entre le concept de vieillissement et la valence négative (Nosek et al., 2002). Si le traitement des construits liés au stéréotype amorcé est facilité, le traitement des construits non conformes au stéréotype est quant à lui inhibé (i.e., allongement du temps de traitement ; Dijksterhuis & van Knippenberg, 1996). Au-delà de la modulation de l'accessibilité et du traitement des informations, la présentation d'une amorce augmente la probabilité que l'individu agisse, pense et perçoive de manière cohérente avec le stéréotype qui lui est associé (pour des revues et méta-analyses : Bargh, 2006; Dai et al., 2023; Loersch & Payne, 2014; Molden, 2014a, 2014b; Smeesters et al., 2010; Weingarten et al., 2016; Wheeler & DeMarree, 2009; Wheeler & Petty, 2001). Bargh et collaborateurs (1996) ont illustré ce phénomène en identifiant un ralentissement de la vitesse de marche chez des participants préalablement amorcés avec des mots relatifs au vieillissement comparativement à des participants amorcés avec des mots non reliés au vieillissement. Bien que cette étude ait fait l'objet de remises en question suite à l'échec des études de réplification (voir Doyen et al., 2012), des effets d'amorçage aux stéréotypes ont été retrouvés sur le comportement moteur (e.g., Follenfant et al., 2005; Hull et al., 2002) et sur des comportements de plus haut niveau tels que les performances cognitives (e.g., Dijksterhuis & van Knippenberg, 1998), les attitudes (e.g., Kawakami et al., 2003), la perception de soi et d'autrui (e.g., Peña & Blackburn, 2013), ou encore la perception de l'environnement (e.g., Chambon, 2009).

Des mécanismes plus ou moins directs entre la présentation de l'amorce et les réponses comportementales associées sont proposés pour expliquer les effets d'amorçage (Molden, 2014a, 2014b; Smeesters et al., 2010; Wheeler & DeMarree, 2009). La théorie idéomotrice postule un lien direct entre la perception et l'action motrice : penser à une action ou percevoir autrui réaliser cette action conduit à engager ce comportement, par le biais d'une activation des représentations comportementales (James, 1890, cité par Dijksterhuis & Bargh, 2001). Dans la mesure où les amorces ne correspondent pas systématiquement à l'imagination ou l'observation d'une action, il a été ajouté que les représentations comportementales peuvent s'activer par l'exposition à un construit social. Par exemple, l'amorçage du construit de vieillissement active des stéréotypes qui activent ensuite, par un mécanisme de diffusion de l'activation, les représentations comportementales (e.g., lenteur ; Bargh et al., 1996). C'est pour cette raison que des effets d'amorçage comportemental sont observés aussi bien consécutivement à l'exposition

à des amorces comportementales que non comportementales (i.e., concepts plus ou moins liés à un comportement ; pour une méta-analyse : Dai et al., 2023). Si ce modèle d'amorçage propose un lien direct entre l'activation des construits par l'amorce et la sélection des représentations comportementales à l'origine du comportement observé, des mécanismes d'amorçage indirects sont également proposés (pour des revues : Molden, 2014a, 2014b; Smeesters et al., 2010; Wheeler & DeMarree, 2009). La théorie du concept de soi actif est l'un de ces modèles (pour des revues : Wheeler et al., 2007, 2014; Wheeler & DeMarree, 2009). Selon cette théorie, l'amorce influence le pattern d'activation du concept du soi en activant sélectivement des informations relatives à soi (i.e., modèle d'activation biaisée) ou en y associant temporairement de nouvelles informations (i.e., modèles d'expansion). Le concept de soi actif influence ensuite l'activation des représentations comportementales, elles-mêmes à l'origine du comportement observé (pour des revues : Wheeler et al., 2007, 2014). Des résultats confirment l'effet médiateur du changement de concept de soi sur la relation entre l'activation du construit et le changement comportemental (Liu et al., 2017; Wyer et al., 2011). Cette théorie postule également que la mesure dans laquelle le concept de soi est modifié en réponse à l'amorce impacte l'intensité des effets d'assimilation comportementale (pour une revue ; Wheeler et al., 2007). En ce sens, les caractéristiques dispositionnelles et situationnelles favorisant l'intégration des traits relatifs à l'amorce dans le concept de soi actif renforcent les effets d'assimilation comportementale, tandis que celles réduisant une telle intégration diminuent les changements comportementaux. Par exemple, les individus présentant un niveau de contrôle de soi faible plutôt qu'élevé, c'est-à-dire intégrant davantage les informations situationnelles au sein de leur concept de soi et se reposant sur ce dernier plutôt que sur les attentes sociales pour guider leur comportement, sont plus sensibles aux effets d'assimilation comportementale (DeMarree et al., 2005; Wheeler et al., 2008). Un effet d'amorçage comportemental plus important est retrouvé chez les individus ayant tendance à traiter les informations en référence à soi, et chez les individus peu conscients de leurs états internes et caractéristiques personnelles (Wheeler et al., 2008). Ces résultats s'expliquent par le fait que traiter les informations en référence à soi favorise la modification du concept de soi actif en réponse à l'amorce, ce qui augmente la sensibilité aux effets d'amorçage comportemental. Parallèlement, le fait d'avoir conscience de ses propres états internes et de ses caractéristiques personnelles augmente la résistance du concept de soi actif aux amorces, ce qui diminue la sensibilité aux effets d'amorçage comportemental. De manière cohérente, la manipulation expérimentale de l'attention portée sur soi constitue une caractéristique situationnelle modératrice des effets d'assimilation à l'amorce. Une situation de focalisation sur soi telle que

l'exposition à un miroir (Carver & Scheier, 1978) ou à une projection vidéo de soi-même favorise la mise en place de comportements cohérents aux standards personnels (Macrae et al., 1998), et, en conséquence, réduit la sensibilité aux effets d'assimilation comportementale (Dijksterhuis & van Knippenberg, 2000; Hutton & Baumeister, 1992; Kaufman & Libby, 2012; Sohn et al., 2019). En somme, « bien que la parcimonie et l'élégance des modèles les plus simples [effet d'amorçage comportemental direct] soient certainement désirables, la diversité des modérateurs et des médiateurs, empiriquement établis, souligne l'utilité d'envisager des mécanismes d'amorçage comportemental plus complexes » (Wheeler & DeMarree, 2009, p. 574).

Dans le cadre de l'effet Proteus, il a été proposé que les caractéristiques de l'avatar constituent des amorces à l'origine d'un effet d'amorçage comportemental. Ainsi, selon la théorie de l'amorçage, l'effet Proteus correspond à un phénomène d'amorçage comportemental aux stéréotypes relatifs aux caractéristiques de l'avatar, ce dernier étant considéré comme un indice situationnel présenté dans l'environnement virtuel (Peña, 2011; Peña et al., 2009).

2.2. Théories alternatives spécifiques à certains contextes expérimentaux

Parallèlement à la théorie de l'auto-perception et à la théorie de l'amorçage, l'effet Proteus a été discuté au travers de mécanismes alternatifs : l'effet de prise de perspective (Galinsky & Moskowitz, 2000) et l'effet de menace du stéréotype (Steele, 1997; Steele & Aronson, 1995). Si l'effet Proteus peut effectivement s'expliquer par l'intervention de l'un de ces deux mécanismes, ceci n'est envisageable que dans des contextes expérimentaux spécifiques : l'observation d'un effet Proteus sur les attitudes pour l'effet de prise de perspective, l'observation d'un effet Proteus dans une situation où la performance est menacée par des stéréotypes négatifs pour l'effet de menace du stéréotype.

2.2.1 Effet de prise de perspective

Une situation de prise de perspective traduit une situation dans laquelle il est demandé à un individu d'imaginer comment une personne peut se sentir, ou encore d'imaginer comment il

se sentirait s'il était cette personne (cible). Ce type de situation conduit à une augmentation des attitudes positives envers le groupe social auquel appartient la personne cible (Galinsky & Moskowitz, 2000). Ce changement attitudinal est expliqué par le rapprochement entre le concept de soi et autrui permis par l'exercice de prise de perspective. Les attitudes positives associées à soi-même et à son propre groupe d'appartenance s'étendent alors à la cible, et par extension à son groupe social d'appartenance (Galinsky & Moskowitz, 2000).

Initialement étudié au travers de situations d'imagination, l'effet de prise de perspective a ensuite été évoqué dans le cadre de paradigmes d'incorporation de segment corporel (e.g., Maister et al., 2013) ou de corps entier (e.g., Seinfeld et al., 2018). La réduction des attitudes racistes et âgistes respectivement observée chez des participants de couleur blanche lors de l'incorporation d'une main en caoutchouc de couleur noire (Maister, Sebanz, et al., 2013), et chez de jeunes participants lors de l'incorporation d'un bras virtuel de personne âgée (La Rocca et al., 2020) a été attribuée à un effet de prise de perspective. Par ailleurs, de manière cohérente aux conséquences interindividuelles attendues dans le cadre d'une situation de prise de perspective, une augmentation de l'empathie (Hoter & Nagar, 2022; Kishore et al., 2021) et des capacités de reconnaissance des émotions (Seinfeld et al., 2018) envers les membres de groupes sociaux incarnés par les avatars, et une préférence pour les attributs associés à l'avatar incorporé (Ahn & Bailenson, 2011) sont rapportées. Conformément à l'interprétation de l'effet de prise de perspective (Galinsky & Moskowitz, 2000), Maister et collaborateurs (2015) proposent que les attitudes positives associées à soi-même et à son propre groupe d'appartenance s'étendent au groupe social incarné par le segment corporel factice incorporé.

Dans le cadre des études sur l'effet Proteus, les résultats attestant d'une réduction des attitudes négatives envers le groupe social incarné par l'avatar incorporé (e.g., Banakou et al., 2016, 2018 ; voir *Chapitre III. Partie 1.2.3.*) sont interprétés par certains comme un effet de prise de perspective. L'évolution des paradigmes d'imagination utilisés pour étudier l'effet de prise de perspective vers des paradigmes d'incorporation d'avatar peut expliquer le rapprochement voire la confusion entre ce phénomène et l'effet Proteus observé sur les attitudes. Si les prédictions attitudinales des deux phénomènes apparaissent équivalentes, la confrontation des mécanismes impliqués pour chacun d'eux n'a, à notre connaissance, pas fait l'objet d'investigation.

2.2.2 *Effet de menace du stéréotype*

Une situation de menace du stéréotype correspond à une situation dans laquelle un stéréotype négatif associé au groupe social d'appartenance d'un individu est rendu saillant, exposant ce dernier au risque de confirmer le stéréotype. L'effet de menace du stéréotype apparaît lorsque, dans cette situation, la crainte du jugement est suffisamment prégnante pour interférer avec la performance de l'individu, aboutissant à un effet d'assimilation au stéréotype (Spencer et al., 1999; Steele, 1997; Steele & Aronson, 1995). Si les preuves empiriques restent mitigées, il est proposé qu'une situation de menace du stéréotype augmente l'anxiété, les pensées négatives ainsi que la distraction, ce qui diminue les ressources nécessaires à la réussite de la tâche (pour une revue : Pennington et al., 2016). Steele & Aronson (1995) ont investigué l'effet de menace du stéréotype en exposant des participants de couleur blanche et des participants de couleur noire à une situation présentée comme étant soit une évaluation diagnostique des capacités intellectuelles (i.e., situation de menace pour les participants de couleur noire), soit une étude sur les facteurs psychologiques (i.e., situation de non-menace). Ils ont observé que les participants de couleur noire présentaient des performances inférieures à celles des participants de couleur blanche dans la situation de menace, tandis que les performances étaient similaires dans la condition de non-menace, confirmant le rôle de la pression à performer dans l'effet de menace du stéréotype. Ce phénomène n'étant pas spécifique à un groupe social (Steele, 1997), des résultats similaires sont retrouvés chez des participants issus d'autres groupes sociaux (e.g., adultes âgés : Abrams et al., 2006; Hess et al., 2003; Kang & Chasteen, 2009 ; femmes : Spencer et al., 1999).

Dans le cadre de l'effet Proteus, l'utilisation d'un avatar de femme conduit des participants à moins bien réussir une tâche de mathématiques que l'utilisation d'un avatar d'homme (Lee et al., 2014; Ratan & Sah, 2015). Les auteurs ont interprété cet effet Proteus en termes d'effet de menace du stéréotype car la connexion établie entre le participant et son avatar (Ratan & Dawson, 2016) impliquerait de se sentir menacé par les stéréotypes relatifs aux caractéristiques de son avatar (Ratan & Sah, 2015). En d'autres termes, les stéréotypes ciblant le groupe social représenté par l'avatar incorporé deviendraient des auto-stéréotypes, ce qui serait susceptible d'entraîner un effet de menace du stéréotype. Il est important de souligner que l'ensemble des effets Proteus observés dans la littérature ne peuvent pas être interprétés en termes d'effet de menace du stéréotype. Le rapprochement entre ces deux phénomènes d'assimilation au stéréotype n'est pertinent que lors de l'investigation de l'effet Proteus dans

une situation respectant les caractéristiques d'une situation de menace du stéréotype : lors de l'exposition à une situation menaçante (e.g., évaluation diagnostique des performances, tâche difficile) et lors de l'activation de stéréotypes négatifs (pour des revues : Marquet et al., 2016; Wheeler & Petty, 2001).

2.3. Distinguer l'effet Proteus d'autres phénomènes d'influence comportementale

Le contexte expérimental permettant de mettre en évidence un effet Proteus est, dans certains cas, favorable à l'apparition d'autres phénomènes d'influence. Par exemple, lors de la présence et de l'interaction avec autrui, un effet de confirmation comportementale peut s'observer (Snyder et al., 1977). Par ailleurs, dans le cadre de l'utilisation d'environnements virtuels, qui favorisent la désindividualisation, des effets de conformisme aux normes groupales sont mis en évidence (modèle d'identité sociale des effets de désindividualisation ; pour une revue : Postmes et al., 1998; Reicher et al., 1995). Si ces deux phénomènes peuvent aboutir à des conséquences comportementales similaires à celles de l'effet Proteus (e.g., effet d'assimilation comportementale), les mécanismes sous-jacents ainsi que les conditions d'apparition restent distincts.

2.3.1 Effet de confirmation comportementale

Lorsque les individus possèdent des attentes sur les personnes avec qui ils interagissent, le comportement qu'ils mettent en place entraîne, chez la personne ciblée, une tendance à confirmer les attentes de l'individu : on parle de confirmation comportementale (Snyder et al., 1977). Snyder et collaborateurs (1977) ont étudié les interactions sociales téléphoniques entre des paires d'hommes et de femmes. Les hommes étaient préalablement informés, au travers d'une photo, de la prétendue apparence attractive ou peu attractive de leur partenaire d'interaction. Des évaluateurs neutres ont jugé que les femmes présentées comme étant attractives se comportaient de manière plus sympathique, agréable et sociable que les femmes présentées comme étant peu attractives, confirmant les attentes initiales de leur partenaire masculin. Il est proposé que le comportement des femmes ait été influencé par le niveau de sociabilité manifesté par les hommes lors des échanges ; le comportement des hommes ayant

effectivement été jugé plus sociable, chaleureux ou extravertis lorsque ces derniers pensaient interagir avec des femmes attractives plutôt que non attractives. L'effet de confirmation comportementale est retrouvé au travers d'une plus grande agressivité comportementale observée chez des individus lorsque leur partenaire d'interaction s'attend à rencontrer des personnes hostiles comparativement à lorsque ces derniers n'ont pas d'attentes (Snyder & Swann, 1978). Selon les auteurs, « les stéréotypes peuvent orienter l'interaction dyadique de manière à créer leur propre réalité sociale » (Snyder et al., 1977, p. 663), à la manière d'un effet Pygmalion (Rosenthal, 2002) et plus généralement des prophéties auto-réalisatrices (Merton, 1948).

Dans leur étude sur l'effet Proteus, Yee & Bailenson (2007) ont observé que des participants assignés à un avatar attractif ou de grande taille se montrent respectivement plus extravertis ou plus agressifs aux cours des échanges avec un complice que des participants assignés à un avatar peu attractif ou de plus petite taille. Afin d'écartier tout effet de confirmation comportementale, le complice était aveugle à la condition expérimentale relative à l'apparence de l'avatar. L'effet d'assimilation aux stéréotypes observé dans cette étude n'est donc pas imputable aux attentes du partenaire et traduit l'effet spécifique des caractéristiques de l'avatar sur le comportement des participants. Ces résultats confirment la nature intrapersonnelle de l'effet Proteus (Yee & Bailenson, 2007).

2.3.2 *Effet de conformisme en situation de désindividualisation*

Le modèle d'identité sociale des effets de désindividualisation postule que les situations de désindividualisation renforcent l'importance du groupe et, en conséquence, favorisent les effets de conformisme aux normes de groupe (Reicher et al., 1995). Selon les auteurs, « en devenant membre d'un groupe, les individus [...] passent du niveau d'identification personnel au niveau social. Il s'ensuit que [...] les critères d'action passent du niveau catégoriel personnel au niveau social » (Reicher et al., 1995, p. 177). En d'autres termes, les environnements propices à la désindividualisation favorisent le recrutement de l'identité sociale (i.e., concept de soi relatif à l'appartenance à des groupes sociaux ; Tajfel & Turner, 2004) plutôt que de l'identité personnelle, et conduit l'individu à agir davantage selon les standards du groupe plutôt que les standards personnels. Le modèle d'identité sociale des effets de désindividualisation a été appliqué aux environnements en ligne car ces derniers offrent des conditions de

désindividualisation telles que l'anonymat (McKenna & Bargh, 2000 ; pour une revue : Postmes et al., 1998). En accord avec les prédictions du modèle, des comportements conformes aux normes du groupe sont observés dans une tâche de communication médiée par ordinateur, ceci en condition d'anonymat seulement (Postmes et al., 2001).

Si l'effet de désindividualisation et l'effet Proteus interviennent tous deux dans les environnements virtuels, ceux-ci présentent des conditions d'apparition et des prédictions propres. Comme souligné par Yee & Bailenson (2007), les deux phénomènes se distinguent selon deux critères. Premièrement, le modèle d'identité sociale des effets de désindividualisation prédit le conformisme aux normes du groupe tandis que l'effet Proteus prédit le conformisme aux stéréotypes relatifs aux indices personnels de l'avatar. Par exemple, dans une situation où l'individu possède un avatar d'apparence A dans un environnement virtuel présentant des avatars d'apparence B, le modèle d'identité sociale des effets de désindividualisation prédit un effet de conformisme aux normes relatives à l'identité sociale B, tandis que l'effet Proteus prédit un effet de conformisme aux stéréotypes relatifs à l'identité A. Deuxièmement, le modèle d'identité sociale des effets de désindividualisation postule un effet de conformisme aux normes du groupe, celui-ci n'est donc pertinent que dans un contexte de présence d'autrui. En revanche, l'effet Proteus étant basé sur les caractéristiques d'apparence de l'avatar, celui-ci est susceptible d'intervenir aussi bien en présence qu'en l'absence d'autres avatars ou agents virtuels dans l'environnement.

En somme, l'effet Proteus a été discuté et/ou confronté au regard d'un certain nombre de mécanismes théoriques relatifs à l'influence comportementale et attitudinale. Du reste, deux principales théories sont privilégiées pour expliquer le phénomène : la théorie de l'auto-perception (Bem, 1972; Yee & Bailenson, 2007) et la théorie de l'amorçage (Bargh et al., 1996; Peña et al., 2009). Les mécanismes alternatifs ayant été proposés ne sont en effet pas généralisables à l'ensemble des démonstrations de l'effet Proteus (e.g., menace du stéréotype), ou ont d'ores et déjà été identifiés comme différents en termes de prédictions et/ou de mécanismes sous-jacents (e.g., confirmation comportementale). Toutefois, aucune preuve empirique ne permet à l'heure actuelle d'orienter définitivement la compréhension de l'effet Proteus vers la théorie de l'auto-perception plutôt que la théorie de l'amorçage, ou inversement.

3. Réflexions critiques sur la compréhension de l'effet Proteus

3.1. Confronter et discuter les théories proposées

Certains arguments expérimentaux ont été apportés dans le but de confronter la théorie de l'auto-perception (Bem, 1972; Yee & Bailenson, 2007) et la théorie de l'amorçage (Bargh et al., 1996; Peña et al., 2009) dans leur pouvoir explicatif de l'effet Proteus.

Peña et collaborateurs (2009) ont observé que des participants utilisant un avatar vêtu d'une cape du Ku Klux Klan écrivaient des histoires teintées d'un niveau d'agressivité plus important que les participants ayant utilisé un avatar contrôle. Les histoires présentaient également un niveau d'affiliation (i.e., relation affective) moins élevé que les participants ayant utilisé un avatar incarnant un docteur. Ces résultats traduisent que l'avatar utilisé a favorisé l'émergence de pensées conformes aux caractéristiques de l'avatar (i.e., agressivité) tout en inhibant l'émergence de pensées non conformes (i.e., affiliation), illustrant respectivement l'effet activateur (Bargh et al., 1996) et inhibiteur (Dijksterhuis & van Knippenberg, 1996) de l'exposition à des amorces. Selon Peña et collaborateurs (2009), la théorie de l'auto-perception permet d'expliquer les effets d'activation des comportements conformes aux stéréotypes associés à l'avatar, mais celle-ci est insuffisante pour expliquer les effets d'inhibition des comportements non conformes. En d'autres termes, « les mécanismes d'amorçage [comparativement aux mécanismes d'auto-perception] étendent la palette de prédiction des effets associés à la perception et à l'utilisation des avatars en soulignant non seulement les principes de diffusion de l'activation cognitive et comportementale, mais également de diffusion de l'inhibition » (Peña, 2011, p. 156). Ce résultat expérimental constitue ainsi un argument en faveur de la théorie de l'amorçage comme mécanisme explicatif de l'effet Proteus.

Parallèlement, Yee & Bailenson (2009) ont spécifiquement cherché à distinguer la contribution de l'auto-perception et de l'amorçage dans l'apparition de l'effet Proteus. En se basant sur le paradigme d'effet Proteus sur les comportements de sociabilité en fonction de l'attractivité des avatars (i.e., comportements plus sociables et plus confiants lors de l'incorporation d'un avatar attractif plutôt que moins attractif ; voir Yee & Bailenson, 2007), les auteurs ont manipulé la relation entre le participant et l'avatar. Les participants réalisaient soit une condition d'incorporation de l'avatar (i.e., couplage visuo-moteur synchrone et relation identitaire à l'avatar), soit une condition d'observation de ce dernier (i.e., couplage visuo-

moteur asynchrone et pas de relation identitaire à l'avatar). Les participants étaient donc tous soumis aux mêmes indices situationnels (i.e., caractéristiques de l'avatar), mais ces indices variaient en termes de référence à l'identité du participant. Un changement comportemental conforme à l'effet Proteus a été observé dans la condition d'incorporation de l'avatar tandis qu'aucun changement n'a été observé dans la condition d'observation (Yee & Bailenson, 2009). Il apparaît des résultats de Yee & Bailenson (2009) que l'incorporation d'un avatar produit un changement comportemental plus important que l'observation de ce dernier, ce qui suggère l'intervention d'un mécanisme additionnel à celui de l'amorçage dans l'apparition de l'effet Proteus. Selon les auteurs, ce mécanisme reposerait sur l'auto-perception car « les indices d'identité fournis par la représentation numérique de soi augmentent les effets comportementaux au-delà de ceux créés par l'amorçage et l'assimilation comportementale » (Yee & Bailenson, 2009, p. 206). Du reste, démontrer l'intervention d'un mécanisme additionnel à celui de l'effet d'amorçage ne constitue par une preuve empirique de l'intervention d'un effet d'auto-perception.

Il est important de souligner que l'application de la théorie de l'auto-perception à l'effet Proteus a été questionnée. Comme rappelé dans la revue de Walther & Lew (2022), la théorie de l'auto-perception postule que l'observation de son comportement conduit à définir ses états internes (pour une revue : Bem, 1972) tandis que l'effet Proteus suppose que l'observation de son apparence (virtuelle) conduit à mettre en place un certain comportement. Les auteurs soulèvent ainsi deux problématiques (pour une revue : Walther & Lew, 2022). Premièrement, le comportement constitue la cause dans la théorie de l'auto-perception tandis que celui-ci correspond à la conséquence dans l'effet Proteus. Deuxièmement, le processus d'influence est à l'origine de l'observation du comportement dans la théorie de l'auto-perception tandis que ce dernier est à l'origine de l'observation de l'apparence dans l'effet Proteus. Walther & Lew (2022) proposent donc de distinguer la théorie de l'auto-perception du concept d'auto-perception, la première étant le processus d'inférence à partir de l'observation du comportement, et le second étant le processus d'activation des stéréotypes à partir de l'observation de l'apparence. Enfin, bien que des réponses comportementales soient raisonnablement attendues lors de changements d'états internes, la théorie de l'auto-perception ne les prédit pas et ne permet pas de les expliquer (pour une revue : Bem, 1972). Autrement dit, la théorie de l'auto-perception attribue les états internes à l'observation du comportement, mais celle-ci ne permet pas d'expliquer les conséquences comportementales de cette attribution qui relèvent d'autres mécanismes théoriques.

Note. Dans le cadre de ce travail de recherche, la théorie de l'auto-perception est évoquée malgré les critiques quant à son applicabilité à l'effet Proteus (pour des revues : Bem, 1972; Walther & Lew, 2022). Toutefois, cette analyse critique est prise en considération car les discussions font davantage référence au concept d'auto-perception plutôt qu'à la théorie de l'auto-perception. Cette notion est utilisée pour évoquer un processus d'observation de soi au sens large, incluant l'apparence, et conduisant à l'activation d'informations relatives à soi telles que les stéréotypes et les attentes (pour une revue : Walther & Lew, 2022).

3.2. Réconcilier les théories proposées

Dans le but de réconcilier les deux approches théoriques de l'effet Proteus, Ratan et collaborateurs ont proposé une théorie hybride impliquant à la fois un mécanisme lié à la perception de soi et un mécanisme relatif à l'activation de concepts : la théorie de la pertinence de l'avatar pour le soi (pour une méta-analyse : Ratan et al., 2019; Ratan & Dawson, 2016; Ratan & Sah, 2015). Selon les auteurs, l'utilisation d'un avatar entraîne un mécanisme de pertinence de l'avatar pour le soi correspondant à une connexion entre le schéma de concepts relatifs à soi et le schéma de concepts relatifs à l'avatar. Plus cette connexion serait forte, plus la probabilité d'observer un effet Proteus serait élevée. Par ailleurs, l'effet Proteus s'expliquerait par un mécanisme d'auto-perception ou un mécanisme d'amorçage selon le degré de connexion entre le schéma de concepts relatifs à soi et celui relatif à l'avatar (Ratan & Dawson, 2016). Une connexion importante entre ces deux schémas entraînerait un effet Proteus par le biais d'un processus d'auto-perception en raison d'une confusion, pour l'individu, entre ses propres caractéristiques et celles de l'avatar. En revanche, une connexion moins intense conduirait à un effet Proteus par un mécanisme d'amorçage.

Si ce mécanisme de pertinence de l'avatar pour le soi permettrait de concilier les deux théories proposées pour expliquer l'effet Proteus, ce dernier n'est, à notre connaissance, encore associé à aucune donnée empirique robuste permettant de confirmer sa validité. Des réactions physiologiques ont été enregistrées chez des participants pendant qu'ils observaient leur avatar en situation de danger, ce qui a été interprété comme un indice de pertinence de l'avatar pour le soi (Ratan & Dawson, 2016). Cependant, ces réactions physiologiques ne sont pas

systématiquement retrouvées dans les situations pourtant censées être favorables à la pertinence de l'avatar pour le soi (e.g., personnalisation de l'avatar, contrôle de l'avatar, consistance de genre entre le participant et l'avatar). Par ailleurs, cet indice de pertinence de l'avatar pour le soi n'a pas été mis en relation avec les conséquences comportementales attendues dans le cadre de l'effet Proteus.

Il convient de mentionner qu'un modèle proche de la théorie de la pertinence de l'avatar pour le soi prédit également l'établissement d'associations automatiques entre un utilisateur et un personnage de jeux-vidéo : le modèle d'identification au personnage numérique (pour une revue : Klimmt et al., 2009). Les auteurs définissent le processus d'identification comme « une altération temporaire du concept de soi de l'utilisateur d'un média, au travers de l'adoption de caractéristiques perçues d'un personnage médiatique » (Klimmt et al., 2009, p. 356). Basée sur la théorie du concept de soi actif (voir *Chapitre III. Partie 2.1.2.*), l'identification correspondrait à une modification du concept de soi actif par l'intégration des caractéristiques du personnage numérique. En ce sens, il a été montré que des participants ayant joué à un jeu-vidéo de guerre avec un personnage de soldat présentent des patterns d'associations plus fortes entre les concepts relatifs au soi et les concepts relatifs à la guerre plutôt que relatifs à la vitesse. Le pattern inverse est observé chez des participants ayant joué à un jeu-vidéo de course de voiture avec un personnage de pilote automobile (Klimmt et al., 2010). Des résultats similaires sont observés consécutivement à l'incorporation d'un avatar en réalité virtuelle : Banakou et collaborateurs (2013) rapportent des associations plus fortes entre le concept de soi et les stimuli relatifs à la catégorie sociale de l'avatar incorporé plutôt que non incorporé. Du reste, le modèle d'identification au personnage numérique n'a, à notre connaissance, que peu été considéré dans le contexte théorique de l'effet Proteus.

En somme, l'analyse des résultats apportés en faveur de l'une ou l'autre des théories de l'effet Proteus souligne le manque de preuves empiriques nécessaires pour une compréhension approfondie du phénomène. La conceptualisation théorique et l'étude des mécanismes sous-jacents restent largement délaissées au profit des démonstrations expérimentales du phénomène, contribuant sans doute à cette faiblesse théorique.

« Ma critique a été plutôt cinglante à l'égard des recherches actuelles, mais cela ne signifie pas qu'il n'y a pas de place pour les preuves d'existence ou les démonstrations, mais celles-ci devraient idéalement contribuer à construire la théorie [...]. Un tel programme de recherche

pourrait considérer ces démonstrations comme des répliques conceptuelles et inclure une extension dans la méthodologie [...] » (Clark, 2020, p. 49).

3.3. Des modérateurs à l'effet Proteus ?

Dans l'objectif d'apporter des éléments à la compréhension de l'effet Proteus, Ratan et collaborateurs (2019) ont exploré, dans leur méta-analyse, l'existence de modérateurs du phénomène. Sur la base de neuf études parmi les 46 incluses, il est apparu que les facteurs contribuant à l'association entre l'avatar et le participant étaient susceptibles de favoriser l'apparition de l'effet Proteus. Par exemple, une étude met en évidence un effet Proteus uniquement chez les participantes ayant personnalisé leur avatar (Ratan & Sah, 2015). D'autres études démontrent un changement perceptif, attitudinal et comportemental chez des participants ayant le contrôle sur les mouvements des avatars tandis qu'aucun changement n'est observé chez les participants exposés à ces mêmes avatars, mais n'ayant pas ce niveau de contrôle moteur (Banakou et al., 2013; Peck et al., 2013; Yee & Bailenson, 2009). Dans une plus récente méta-analyse, visant à identifier les caractéristiques techniques susceptibles d'impacter l'effet Proteus, il est observé que les études proposant une immersion en réalité virtuelle conduisent à un effet Proteus de taille significativement plus importante ($r = .29$, IC 95% [.24, .34]) comparativement aux études réalisées sur ordinateur ($r = .20$, IC 95% [.17, .23] ; Beyea et al., 2023). Ce résultat est attribué au fait que « [la réalité virtuelle] facilite une plus grande immersion et une plus grande présence dans l'environnement virtuel, ainsi qu'un sentiment plus fort d'incorporation et d'identification à l'avatar » (Beyea et al., 2023, p. 13). En d'autres termes, cette méta-analyse apparaît cohérente à l'hypothèse selon laquelle l'effet Proteus est modéré par le processus d'incorporation.

En somme, ces méta-analyses avancent des arguments en faveur du rôle de la proximité entre le participant et l'avatar, et notamment du processus d'incorporation, sur l'apparition de l'effet Proteus (pour des méta-analyses : Beyea et al., 2023; Ratan et al., 2019). Les auteurs invitent désormais à de nouvelles investigations pour confirmer cette proposition basée pour l'heure sur un nombre limité d'études (pour une méta-analyse : Ratan et al., 2019).

Synthèse

L'effet Proteus correspond à un phénomène de conformisme aux stéréotypes associés aux caractéristiques d'apparence de l'avatar utilisé dans un environnement virtuel. Les démonstrations de l'effet Proteus sont nombreuses et réalisées au travers de méthodologies variées en termes de caractéristiques de l'avatar manipulées (e.g., taille, attractivité, âge, morphologie), de conséquences étudiées (e.g., comportements, cognitions, attitudes), de mesures (e.g., comportementales, auto-rapportées, physiologiques), et d'outils techniques (e.g., ordinateur, réalité virtuelle) utilisés. Bien que l'effet Proteus constitue à l'heure actuelle un phénomène reconnu, l'étude des mécanismes sous-jacents reste largement délaissée au profit de nouvelles démonstrations expérimentales du phénomène. Deux principales théories sont proposées pour expliquer l'effet Proteus : la théorie de l'auto-perception, et la théorie de l'amorçage, et prévalent sur des mécanismes alternatifs qui apparaissent insuffisants (menace du stéréotype, prise de perspective) ou inadéquats (confirmation comportementale, effet de conformisme selon le modèle d'identité sociale des effets de désindividualisation) pour expliquer le phénomène. Selon la théorie de l'auto-perception, l'individu observerait son avatar pour en inférer une nouvelle identité à laquelle il se conformerait au niveau comportemental. Cette interprétation de l'effet Proteus repose sur le fait de considérer l'avatar comme la représentation du soi dans l'environnement virtuel. Selon la théorie de l'amorçage, l'effet Proteus serait la conséquence de l'amorçage aux stéréotypes associés aux caractéristiques de l'avatar. Cette interprétation repose sur le fait de considérer l'avatar comme un indice situationnel présenté dans l'environnement virtuel. Aucune preuve empirique ne permet pour l'instant d'inscrire définitivement l'effet Proteus dans l'une ou l'autre des théories. Si les résultats d'une étude suggèrent l'intervention d'un mécanisme additionnel à celui de l'amorçage dans l'apparition de l'effet Proteus, aucun résultat confirme l'intervention d'un mécanisme d'auto-perception. Dans l'objectif d'approfondir la compréhension de l'effet Proteus, deux méta-analyses se sont intéressées aux modérateurs du phénomène. Il a été proposé que les variables favorisant la proximité entre l'utilisateur et l'avatar, telles que le contrôle sur les mouvements de l'avatar ou la personnalisation de celui-ci, peuvent modérer l'effet Proteus. Par ailleurs, compte tenu que les études en réalité virtuelle conduisent à un effet Proteus plus fort comparativement aux études réalisées sur ordinateur, les variables telles que le sentiment de présence, d'incorporation et d'identification à l'avatar, favorisées par les technologies d'immersion virtuelle, pourraient jouer un rôle dans l'apparition de l'effet Proteus. De nouvelles études sont nécessaires pour confirmer ces propositions.

CHAPITRE IV.

Introduction aux études expérimentales : contexte, problématique, objectifs, hypothèses

Note. L'effet Proteus a été investigué au travers de nombreuses études et continue de l'être, comme en témoignent les publications récentes sur le sujet. Dans le but de faciliter la compréhension de l'argumentaire ayant conduit au développement des études de ce travail de recherche, seuls les résultats expérimentaux disponibles au moment de la construction des protocoles sont présentés dans cette partie. Les études menées dès lors sont intégrées dans les parties de discussion du manuscrit.

1. Améliorer la compréhension des mécanismes explicatifs de l'effet Proteus

Deux principales théories ont été utilisées pour expliquer l'effet Proteus : la théorie de l'auto-perception et la théorie de l'amorçage (voir *Chapitre III. Partie 2.1.*). Peña et collaborateurs (2009) argumentent en faveur de la théorie de l'amorçage pour expliquer l'effet Proteus ; la théorie de l'auto-perception ne permettant pas d'expliquer l'effet d'inhibition comportementale mis en évidence. Parallèlement, Yee & Bailenson (2009) suggèrent l'intervention d'un mécanisme additionnel à celui de l'amorçage dans l'apparition de l'effet Proteus en raison de l'observation d'un changement comportemental en situation d'incorporation, mais pas en situation d'observation de l'avatar. Sans que cela ne puisse être confirmé, ils ajoutent que ce mécanisme est vraisemblablement un mécanisme d'auto-perception permis par l'intervention d'un processus d'incorporation (voir *Chapitre III. Partie 3.1.*). En somme, les arguments empiriques manquent pour conclure définitivement à la supériorité d'une théorie plutôt que de l'autre dans l'explication du phénomène, et pour attester de l'intervention de l'un ou l'autre des processus explicatifs.

Dans la démarche d'amélioration de la compréhension de l'effet Proteus, une méta-analyse apporte des arguments en faveur du rôle modérateur de la proximité entre le participant et l'avatar dans l'apparition du phénomène (pour une méta-analyse : Ratan et al., 2019), le

processus d'incorporation étant l'un de ces facteurs. Toutefois, l'analyse des arguments empiriques soulève des points de discussion. Premièrement, l'intérêt porté à la relation entre l'incorporation de l'avatar et l'effet Proteus reste tout relatif car le processus d'incorporation n'est, en somme, que rarement examiné en comparaison du nombre d'études investiguant l'effet Proteus. Une explication possible réside dans le biais de publication ; il est envisageable qu'une telle relation soit effectivement investiguée mais non rapportée dans les articles au regard de l'absence de résultat. Deuxièmement, parmi les études qui investiguent la relation entre le sentiment d'incorporation de l'avatar et l'intensité de l'effet Proteus, certaines observent une corrélation positive (Kilteni et al., 2013), seulement tendancielle parfois (Ash, 2016), tandis que d'autres n'en n'observent pas (Kocur, Kloss, et al., 2020; Reinhard et al., 2019; Verhulst et al., 2018), voire identifient une corrélation négative (Ratan & Sah, 2015). Reinhard et collaborateurs (2019) ont par exemple identifié une corrélation entre l'effet Proteus et le sentiment de présence dans l'environnement virtuel, mais aucune avec le sentiment d'incorporation de l'avatar âgé. Troisièmement, si ces études observationnelles aboutissent à des résultats inconsistants, les études expérimentales qui attestent d'une relation causale entre le processus d'incorporation et l'effet Proteus sont peu nombreuses et présentent, pour certaines, des limites qu'il convient de souligner (Banakou et al., 2013; Peck et al., 2013; Yee & Bailenson, 2009; Yoon & Vargas, 2014).

L'étude de Yoon & Vargas (2014) a fait l'objet d'une analyse critique quant à la vraisemblance des données apportées (Hilgard, 2016) et n'est donc pas davantage discutée. Les études de Yee & Bailenson (2009) et de Peck et collaborateurs (2013), qui identifient toutes deux un effet Proteus plus fort dans des conditions favorables plutôt que défavorables à l'incorporation de l'avatar (i.e., couplage visuo-moteur synchrone *versus* asynchrone), présentent des facteurs confondus avec le processus d'incorporation. Dans l'étude de Peck et collaborateurs (2013), les conditions de synchronisation visuo-motrice différaient également en termes d'exposition visuelle au corps de l'avatar (i.e., perspective à la première personne doublée du reflet dans un miroir virtuel dans la condition de synchronie *versus* reflet du miroir seul dans la condition d'asynchronie). Par ailleurs, les auteurs ont observé que la différence d'effet Proteus identifiée entre les conditions d'incorporation pouvait s'expliquer, non par le processus d'incorporation en tant que tel, mais par l'intervention d'un facteur, mal identifié, relatif à la nervosité des participants. Dans l'étude de Yee & Bailenson (2009), l'avatar était présenté comme la représentation numérique du participant dans la condition d'incorporation (i.e., couplage visuo-moteur synchrone), et comme la représentation numérique d'autrui dans

la condition d'observation (i.e., couplage visuo-moteur asynchrone). Ce format de présentation de l'avatar implique l'établissement d'une relation entre les participants et l'avatar qui diffère entre les conditions : une association entre le soi et l'avatar est établie dans la condition d'incorporation, ce qui n'est pas le cas dans la condition d'observation. Les conditions expérimentales diffèrent donc en termes de processus d'incorporation d'une part, et en termes de traitement relatif à soi d'autre part. Si les auteurs interprètent leurs résultats comme un argument en faveur du rôle de l'incorporation dans l'apparition de l'effet Proteus, il est nécessaire de prendre en considération ce rôle alternatif de la relation identitaire à l'avatar qui n'a pas été mesuré ou contrôlé dans cette étude. La différence de changement comportemental observée entre la condition d'incorporation et d'observation pourrait non pas s'expliquer par le processus d'incorporation, mais par l'effet du traitement des caractéristiques de l'avatar en référence à soi. Il a d'ailleurs été montré que le traitement des informations en référence à soi favorise les effets d'assimilation comportementale (voir Hull et al., 2002; Wheeler et al., 2008). Au vu des facteurs confondants discutés, ces deux études ne permettent pas de conclure définitivement quant à l'intervention du processus d'incorporation sur l'apparition de l'effet Proteus. Une dernière étude a, à notre connaissance, investigué l'effet spécifique du processus d'incorporation de l'avatar, sur une mesure de perception spatiale (Banakou et al., 2013). Les auteurs ont observé une surestimation de la taille des objets virtuels lors de l'incorporation d'un avatar d'enfant plutôt que d'adulte, ceci exclusivement lors d'un couplage visuo-moteur synchrone. Dans cette même condition d'incorporation, des associations implicites plus fortes entre le soi et des stimuli relatifs à l'avatar ont été mesurées. Ainsi, l'étude de Banakou et collaborateurs (2013) supporte l'hypothèse de l'effet modérateur du processus d'incorporation sur l'apparition de l'effet Proteus dans une tâche de perception spatiale. Celle-ci apporte également des arguments en faveur d'un changement de perception de soi implicite lors de l'incorporation d'un avatar. Ce dernier élément est tout particulièrement pertinent dans le cadre de l'approfondissement théorique de l'effet Proteus, rattachant le phénomène aux mécanismes relatifs à la perception de soi (Yee & Bailenson, 2007). Cet éclairage n'a cependant, à notre connaissance, pas fait l'objet d'investigations approfondies. En somme, des arguments corrélationnels, expérimentaux, et méta-analytiques soulèvent la question du rôle joué par la proximité entre le participant et l'avatar, et notamment du processus d'incorporation, sur l'apparition de l'effet Proteus (pour une méta-analyse : Ratan et al., 2019). Toutefois, au regard des limites relatives aux preuves empiriques disponibles, de nouvelles investigations sont nécessaires pour le confirmer.

En conclusion, l'analyse des études sur l'effet Proteus souligne le manque d'arguments disponibles pour définitivement confirmer ou écarter l'intervention des processus d'amorçage ou d'auto-perception. Par ailleurs, la compréhension du rôle du processus d'incorporation sur l'apparition de l'effet Proteus reste limitée en raison des inconsistances et biais méthodologiques identifiés dans la littérature. **Le premier objectif de ce travail de thèse était donc d'approfondir la compréhension des mécanismes explicatifs de l'effet Proteus.** Il était envisagé d'examiner, au travers de l'expérimentation et/ou de la mesure, le pouvoir explicatif des processus supposés intervenir dans l'effet Proteus. Cette démarche s'inscrit dans la recommandation de Clark (2020) d'aller au-delà des démonstrations simples du phénomène et de proposer des extensions méthodologiques afin de construire la théorie.

1.1. L'effet Proteus : au-delà d'un effet d'amorçage situationnel ?

Si l'étude de Yee & Bailenson (2009) ne permet pas de conclure quant au rôle du processus d'incorporation sur l'effet Proteus, celle-ci apporte toutefois des résultats en faveur de l'intervention d'un mécanisme additionnel à celui de l'effet d'amorçage situationnel dans l'apparition du phénomène. Le changement comportemental plus important mis en évidence dans la condition d'incorporation plutôt que d'observation de l'avatar, malgré des indices situationnels (i.e., avatar) équivalents entre les conditions, suggère que l'effet Proteus est davantage qu'un effet d'amorçage direct aux caractéristiques de l'avatar (pour une revue : Wheeler & DeMarree, 2009 ; voir *Chapitre III. Partie 2.1.2.*).

Le travail de thèse visait à confirmer l'intervention d'un mécanisme additionnel à celui d'un effet d'amorçage situationnel dans l'apparition de l'effet Proteus, comme cela a été proposé par Yee & Bailenson (2009). **Nous faisons l'hypothèse que l'effet Proteus apparaît au-delà d'un effet d'amorçage aux stéréotypes relatifs aux caractéristiques d'apparence d'un avatar.** Il était attendu que l'incorporation d'un avatar associé à des stéréotypes entraîne un changement comportemental comparativement à l'incorporation d'un avatar non associé à de tels stéréotypes, mais en situation d'amorçage de ces derniers.

Cet objectif a été investigué au travers du Chapitre V (études 1, 2 et 3).

1.2. L'effet Proteus : le processus d'incorporation au cœur du phénomène ?

Si l'effet Proteus est étudié au travers des paradigmes d'incorporation d'un avatar, en réalité virtuelle tout particulièrement, le rôle spécifique du processus d'incorporation sur le phénomène reste peu étudié. Par ailleurs, l'analyse des études ayant effectivement investigué cette relation témoigne d'inconsistances (e.g., corrélations non systématiques voire divergentes) et de biais méthodologiques (e.g., facteurs confondants).

Le travail de thèse visait à confirmer le rôle du processus d'incorporation sur l'apparition de l'effet Proteus en réduisant l'intervention de mécanismes additionnels tels que l'effet d'une relation identitaire à l'avatar (Yee & Bailenson, 2009). **Nous faisons l'hypothèse que le processus d'incorporation de l'avatar joue un rôle causal sur l'apparition de l'effet Proteus.** Il était attendu qu'il soit nécessaire de considérer le corps de l'avatar comme étant sien pour qu'apparaisse un effet Proteus. Cette démarche participe à l'invitation à confirmer le rôle modérateur de la proximité entre l'utilisateur et l'avatar, favorisée par l'incorporation de l'avatar notamment, sur l'effet Proteus (pour une méta-analyse : Ratan et al., 2019).

Cet objectif a été investigué au travers du Chapitre VI (études 4 et 4bis).

1.3. L'effet Proteus : la conséquence d'un changement de perception de soi ?

La théorie de l'auto-perception est considérée comme une explication de l'effet Proteus, aux côtés de la théorie de l'amorçage. Cependant, l'intervention d'un changement de perception de soi dans l'apparition de l'effet Proteus n'a, à notre connaissance, pas été examinée. Les résultats en faveur de l'intervention d'un mécanisme additionnel à celui de l'amorçage dans l'apparition de l'effet Proteus sont attribués à un mécanisme relatif à la perception de soi, sans que des données empiriques ne permettent d'en attester (Yee & Bailenson, 2009). Parallèlement, Banakou et collaborateurs (2013) identifient un changement de perception de soi implicite lors de l'incorporation d'un avatar, mais ces résultats ne sont pas mis en relation avec l'effet Proteus.

Le travail de thèse visait à confirmer l'intervention d'un changement de perception de soi dans l'apparition de l'effet Proteus. **Nous faisons l'hypothèse que l'apparition de l'effet**

Proteus est sous-tendue par un changement de perception de soi. Il était attendu que l'incorporation d'un avatar associé à des stéréotypes entraîne un changement de perception de soi dans le sens de ces stéréotypes, conduisant à l'apparition d'un effet Proteus.

Cet objectif a été investigué au travers des Chapitres VI et VII (études 4, 4bis et 5).

2. Poursuivre l'étude de l'effet Proteus sur les performances cognitives et motrices

La démarche d'approfondissement théorique de l'effet Proteus est dépendante de l'utilisation d'un protocole d'étude du phénomène. Ce paradigme doit permettre à un individu d'avoir un avatar associé à des stéréotypes, et de lui offrir la possibilité de mettre en place un comportement afin d'identifier tout effet d'assimilation comportementale caractéristique de l'effet Proteus (pour une revue : Clark, 2020). Un grand nombre de protocoles a été construit, variant en termes de caractéristiques d'apparence de l'avatar (e.g., âge, morphologie), de conséquences mesurées (e.g., comportement, attitude), et de plateformes technologiques employées (e.g., réalité virtuelle, ordinateur ; voir *Chapitre III. Partie 1.2.*). Il apparaît également que les protocoles d'études de l'effet Proteus s'inscrivent dans des objectifs différents : le phénomène fait tantôt l'objet de pures explorations (e.g., conséquences de l'incorporation d'une célébrité, d'un animal ; McCain et al., 2018; Oyanagi & Ohmura, 2019), est tantôt investigué dans le cadre de jeux-vidéo (Christou & Michael, 2014; Yee et al., 2009), ou encore employé pour la prévention des comportements de santé (Joo & Kim, 2017; pour une revue : Rhee et al., 2020). Il est intéressant de mentionner que les protocoles d'étude de l'effet Proteus, lorsqu'ils sont basés sur des paradigmes d'incorporation en réalité virtuelle notamment, offrent une méthodologie pour investiguer les conséquences d'une déviation expérimentale de la représentation corporelle (voir *Chapitre II. Partie 3.2.2.*). En d'autres termes, ceux-ci permettent de simuler l'expérience d'un corps présentant des caractéristiques précises (e.g., âge, morphologie, genre) pour en étudier les conséquences sur le comportement et la cognition. Cette approche expérimentale apparaît tout particulièrement intéressante pour appréhender les processus d'influence des stéréotypes sur les performances motrices et cognitives ; ces derniers aboutissent à des conséquences fonctionnelles impactantes chez les individus de certaines catégories sociales. C'est le cas pour les adultes âgés qui sont ciblés par des stéréotypes relatifs au déclin cognitif et moteur et chez qui des effets délétères de ces stéréotypes sont identifiés (e.g., Abrams et al., 2006; Bouazzaoui et al., 2016; Emile et al., 2014;

Hausdorff et al., 1999; Hess et al., 2003; Kang & Chasteen, 2009; Kirchner et al., 2015; Levy, 2000; Levy et al., 1999, 2000; O'Brien & Hummert, 2006; Robertson et al., 2016 ; pour des revues et méta-analyses : Chang et al., 2020; Dionigi, 2015; Levy, 2003, 2009; Meisner, 2012). L'étude des conséquences des stéréotypes sur le fonctionnement des adultes âgés s'inscrit dans l'approche psycho-sociale du vieillissement qui participe, en complément de l'étude des changements physiologiques survenant avec l'avancée en âge, à la compréhension des modifications comportementales et cognitives associées au vieillissement (pour des revues : Levy, 2003, 2009).

En conclusion, si l'étude de l'effet Proteus est intéressante d'un point de vue théorique pour comprendre les effets de l'usage du numérique (e.g., relation à un avatar), celle-ci l'est également d'un point de vue pratique pour investiguer l'influence des stéréotypes associés aux caractéristiques corporelles sur le comportement. Parallèle à la démarche d'approfondissement théorique de l'effet Proteus, **le second objectif de ce travail de thèse était donc de poursuivre l'investigation des conséquences de l'incorporation d'un avatar associé à des stéréotypes sur les compétences motrices et cognitives.** Pour les raisons détaillées dans la partie suivante, cet objectif a été mené au travers de l'étude des conséquences de l'incorporation d'un avatar âgé sur le fonctionnement moteur et cognitif. Autrement dit, il était envisagé de reproduire, par l'expérimentation et sur des adultes jeunes, les conséquences fonctionnelles des stéréotypes du vieillissement identifiées chez les adultes âgés (pour des revues : Levy, 2003, 2009).

2.1. Effet Proteus et stéréotypes du vieillissement

2.1.1 Stéréotypes du vieillissement : conséquences chez les individus âgés

Les stéréotypes relatifs aux caractéristiques et aux comportements des individus appartenant à un groupe social défini en termes d'âge sont qualifiés de stéréotypes âgistes, et plus précisément de stéréotypes du vieillissement lorsque ceux-ci font référence au groupe social d'adultes âgés. Les stéréotypes du vieillissement impactent la manière dont les individus se comportent avec les adultes âgés, pouvant donner lieu à des comportements discriminatoires (pour un chapitre : Levy & Banaji, 2002), et influencent le fonctionnement des adultes âgés eux-mêmes (pour des revues : Chang et al., 2020; Dionigi, 2015). En raison de l'existence de

stéréotypes du vieillissement aussi bien positifs que négatifs (e.g., « les personnes âgées sont sages », « les personnes âgées sont séniles »), des effets respectivement bénéfiques ou délétères sont identifiés. Toutefois, les stéréotypes négatifs du vieillissement conduisent à des effets comportementaux plus forts que les stéréotypes positifs (pour une méta-analyse : Meisner, 2012), pouvant s'expliquer par une mise en avant plus systématique, dans les médias par exemple, des capacités déficitaires plutôt que préservées des adultes âgés (Ng, 2021).

Une étude a identifié des scores plus importants à une évaluation mnésique chez des adultes âgés issus d'une culture possédant une image positive du vieillissement que chez des adultes âgés issus d'une culture possédant une image plus négative du vieillissement (Levy & Langer, 1994). Une étude longitudinale a également montré que la perception négative que les participants âgés ont du vieillissement prédit leur niveau de capacités cognitives deux ans après, l'effet de la santé physique et mentale étant contrôlé (Robertson et al., 2016). Des études menées en laboratoires confirment l'impact des stéréotypes du vieillissement sur les performances cognitives (Abrams et al., 2006; Bouazzaoui et al., 2016; Hess et al., 2003; Kang & Chasteen, 2009; Kirchner et al., 2015; Levy, 1996; O'Brien & Hummert, 2006; Shih et al., 2002), les performances motrices (Hausdorff et al., 1999; Levy, 2000), la prise de décision (Levy et al., 1999), ou encore les réponses neurovégétatives (Levy et al., 2000) de participants âgés. Par exemple, des participants âgés amorcés avec des stéréotypes négatifs du vieillissement, plutôt que positifs, performant moins bien à une tâche mnésique (Levy, 1996), tandis que ceux amorcés avec des stéréotypes positifs, plutôt que négatifs, montrent une accélération de la vitesse de marche (Hausdorff et al., 1999).

Deux théories ont été proposées pour expliquer l'influence des stéréotypes du vieillissement sur le fonctionnement des adultes âgés : la théorie de la menace du stéréotype (Steele, 1997 ; voir *Chapitre III. Partie 2.2.2*), et la théorie de l'internalisation des stéréotypes ou auto-stéréotypisation (pour des revues : Levy, 2003, 2009; Marquet et al., 2016). Selon cette dernière, le facteur déterminant aux processus d'influence serait la résonance des stéréotypes du vieillissement avec l'identité personnelle d'adulte âgé. Autrement dit, « le stéréotype activé (positif vs négatif) entrerait en résonance avec les représentations internes de la personne, c'est-à-dire la vision qu'elle a d'elle-même en tant que personne qui vieillit » (Marquet et al., 2016, p. 183). Ce mécanisme de résonance interviendrait une fois que l'individu s'identifie lui-même comme étant un adulte âgé. Dès lors, les stéréotypes du vieillissement, renforcés depuis le plus jeune âge, deviennent des auto-stéréotypes (pour une revue : Levy, 2009). En conséquence, si des effets d'assimilation aux stéréotypes du vieillissement sont mis en évidence chez les adultes

jeunes (Banfield et al., 2003; Bargh et al., 1996; Follenfant et al., 2005), ceux-ci restent plus importants chez les adultes âgés (Levy, 1996; Levy et al., 1999; Marques et al., 2014; Shih et al., 2002) et cela d'autant plus chez ceux qui s'identifient effectivement comme étant âgés (O'Brien & Hummert, 2006). Ces résultats attestent de l'effet de cette résonance des stéréotypes à l'identité personnelle sur l'influence de ces derniers sur le fonctionnement.

« Les personnes âgées sont le seul exogroupe qui devient inévitablement un endogroupe pour les individus qui vivent suffisamment longtemps [...]. Les stéréotypes du vieillissement sont maintenant dirigés vers des individus qui ne sont plus exclus, mais désormais considérés comme faisant partie de ce groupe d'appartenance » (Levy, 2003, p. 204).

Ces résultats interrogent sur la possibilité de manipuler les effets d'assimilation aux stéréotypes en modulant le niveau de résonance de ces derniers avec l'identité personnelle. Cette question apparaît tout particulièrement intéressante dans le cadre de l'approche psychosociale du vieillissement pour envisager, par exemple, une diminution des conséquences fonctionnelles délétères des stéréotypes du vieillissement (pour des revues : Levy, 2003, 2009). Cette ambition justifie de poursuivre l'étude des effets d'assimilation aux stéréotypes du vieillissement. L'utilisation d'un paradigme d'étude de l'effet Proteus apparaît pertinente dans cette démarche. Il est proposé que l'incorporation d'un avatar âgé permette d'accentuer la résonance des stéréotypes du vieillissement avec l'identité personnelle des adultes jeunes, favorisant ainsi les effets d'assimilation comportementale chez ces derniers.

2.1.2 Effet Proteus appliqué aux stéréotypes du vieillissement : état des lieux

Des conséquences de l'incorporation d'un avatar âgé comparativement à jeune ont été investiguées sur les attitudes âgistes, la prise de décision, ainsi que les performances motrices de jeunes participants. Une réduction des attitudes négatives âgistes est observée consécutivement à l'incorporation d'un avatar âgé plutôt que jeune (Yee & Bailenson, 2006). Il est également observé que des adultes jeunes allouent davantage d'argent au profit de la retraite (Hershfield et al., 2011), ou sélectionnent davantage de produits destinés aux personnes âgées plutôt que jeunes (Yoo et al., 2015) lors de l'incorporation ou de l'utilisation d'un avatar âgé comparativement à jeune. Des conséquences au niveau du comportement moteur sont également observées. Contrôler un avatar âgé, au travers des touches du clavier, conduit les

participants à explorer plus lentement l'environnement virtuel comparativement à une situation d'exploration avec un avatar jeune (Yoo et al., 2015). De manière intéressante, Reinhard et collaborateurs (2019) démontrent un effet de l'incorporation d'un avatar âgé sur la vitesse de marche réelle. Dans leur étude, de jeunes participants réalisaient une condition d'incorporation d'un avatar âgé ou jeune. La phase d'incorporation consistait en une immersion, en réalité virtuelle, avec une perspective à la première personne dans le corps de l'avatar associée au couplage visuo-moteur synchrone. Une condition contrôle sans immersion était également proposée. Consécutivement à cette phase d'incorporation, le temps de déplacement nécessaire aux participants pour traverser une distance donnée était enregistré. Les résultats démontrent que les participants ayant incorporé l'avatar âgé sont plus lents que ceux ayant incorporé un avatar jeune et que ceux ayant réalisé la condition contrôle, les temps dans ces deux dernières conditions n'étant pas différents. Il convient de préciser que le ralentissement de la vitesse de marche consécutivement à l'incorporation de l'avatar âgé n'a été observé que sur la première moitié de la distance à parcourir, pour disparaître ensuite (voir *Chapitre IV. Partie 2.2.1.* pour une suggestion d'explication).

En somme, ces études attestent d'un effet Proteus en démontrant, chez de jeunes individus ayant incorporé un avatar âgé, des comportements conformes à ce qui est attendu d'un adulte âgé (e.g., diminution des biais pour son propre groupe social, orientation vers des activités de personnes âgées, ralentissement moteur). Les études restent toutefois peu nombreuses, et seuls les ralentissements observés sur la vitesse de navigation dans un environnement virtuel (Yoo et al., 2015) et sur la vitesse de marche réelle (Reinhard et al., 2019) illustrent véritablement un stéréotype du vieillissement (i.e., lenteur ; Hummert, 1990). Le fonctionnement moteur des participants semble ainsi sensible aux caractéristiques de l'avatar incorporé, et plus précisément aux stéréotypes qui y sont associés.

2.2. Effet Proteus et comportement moteur

2.2.1 Effet Proteus sur le comportement moteur : état des lieux et limites

L'influence des caractéristiques relatives au style vestimentaire, au vieillissement, à la morphologie et au poids, ainsi qu'à la musculature de l'avatar incorporé a été investiguée sur

les performances physiques des individus. Par exemple, l'incorporation d'un avatar de couleur noire présentant un style vestimentaire décontracté conduit à des patterns de mouvements plus rythmés dans une tâche de percussions comparativement à l'incorporation d'un avatar de couleur blanche présentant un style vestimentaire habillé (Kilteni et al., 2013). Comme présenté plus tôt, l'étude de Reinhard et collaborateurs (2019) démontre, pour sa part, un ralentissement de la vitesse de marche réelle lors des premiers mètres de déplacement suite à l'incorporation d'un avatar âgé, conformément aux stéréotypes négatifs relatifs au fonctionnement physique des adultes âgés (Lineweaver et al., 2017). Les paramètres de marche, tels que la longueur des pas et l'intensité des flexions du genou, apparaissent également impactés par l'incorporation d'un avatar semblable à Godzilla comparativement à un avatar humanoïde (Charbonneau et al., 2017). De manière consistante aux stéréotypes négatifs relatifs aux performances motrices des personnes en surpoids (Greenleaf & Weiller, 2005), l'utilisation d'un avatar en surpoids plutôt que normo-pondéré conduit à une réduction du niveau d'activité physique chez des adultes normo-pondérés lors d'un jeu vidéo sportif (Peña et al., 2016; Peña & Kim, 2014). A l'inverse, la performance de course lors d'un tel jeu vidéo est améliorée chez des enfants en surpoids utilisant un avatar normo-pondéré plutôt qu'en surpoids (Li et al., 2014).

Si ces premiers résultats expérimentaux apportent des éléments en faveur de l'influence des caractéristiques de l'avatar sur l'activité motrice, certaines limites sont toutefois à souligner. Il convient en premier lieu de noter que l'expérience de Charbonneau et collaborateurs (2017) a été conduite auprès d'un échantillon de participants restreint ($N = 10$) et n'a pas fait l'objet de statistiques inférentielles, fournissant ainsi des éléments seulement descriptifs en faveur de l'influence des caractéristiques de l'avatar sur les paramètres de marche. Les résultats des études de Peña et collaborateurs (2016) et de Peña & Kim (2014) apparaissent certes en faveur de l'existence d'un effet Proteus sur le niveau d'activité physique, mais manquent de consistance. En effet, si l'utilisation d'un avatar en surpoids plutôt que normo-pondéré entraîne, chez les femmes, une réduction de l'intensité de l'activité physique mesurée au niveau de la taille, aucun effet n'est observé au niveau du poignet (Peña & Kim, 2014), et le pattern strictement inverse est enregistré chez les hommes (Peña et al., 2016). De plus, une étude investiguant également l'influence des caractéristiques de poids de l'avatar utilisé sur le niveau de performance physique mesuré après le jeu n'a pas permis de mettre en évidence l'effet Proteus attendu (Joo & Kim, 2017).

En somme, les preuves en faveur de l'impact des caractéristiques des avatars sur le fonctionnement moteur apparaissent peu robustes. Plusieurs facteurs relatifs à la méthodologie

expérimentale sont susceptibles d'expliquer ces inconsistances. Tout d'abord, ces dernières peuvent être mises en lien avec l'utilisation de technologies non immersives dans les expériences (e.g., console Nintendo Wii, logiciel Sims ; Joo & Kim, 2017; Li et al., 2014; Peña et al., 2016; Peña & Kim, 2014), pouvant réduire la probabilité d'observer des effets comportementaux. Par ailleurs, la tâche motrice en tant que telle peut être à l'origine des inconsistances observées entre les résultats expérimentaux. La réalisation d'une tâche motrice est associée à un ensemble de retours sensoriels issus de cette exécution motrice (e.g., retours proprioceptifs, haptiques, visuels). Selon le modèle interne prévisionnel du contrôle moteur, une prédiction de ces conséquences sensorielles est établie par le système nerveux central à partir de l'état initial du corps (e.g., position et dynamique corporelle) et de la copie des commandes motrices (Miall & Wolpert, 1996). Les estimations sensorielles qui résultent de ce processus sont susceptibles d'être comparées aux afférences effectives issues de l'action motrice. Cette comparaison peut conduire, par exemple, à un ajustement des mouvements dans le but d'optimiser les interactions motrices au sein de l'environnement. Dans le cadre d'une déviation expérimentale de la représentation corporelle, et plus précisément de l'incorporation d'un avatar présentant des caractéristiques physiques associées à des stéréotypes relatifs aux performances motrices, il pourrait être attendu que le processus d'estimation des conséquences sensorielles de l'action motrice prenne en compte cet état corporel virtuel. Par exemple, l'incorporation d'un avatar âgé ou en surpoids peut conduire à prédire des sensations corporelles témoignant de difficultés motrices (e.g., sensation d'effort, de lourdeur, de douleur), conformément aux stéréotypes négatifs relatifs aux performances physiques des adultes âgés ou en surpoids. En revanche, la réalisation effective du mouvement s'accompagne pour sa part de sensations corporelles cohérentes, non pas aux capacités motrices attendues du corps virtuel incorporé, mais aux capacités motrices du corps biologique (i.e., facilité à réaliser un mouvement chez un individu jeune et/ou normo-pondéré). La comparaison entre les conséquences sensorielles prédites et effectives aboutirait ainsi à une incohérence sensorielle susceptible d'altérer l'illusion d'incorporation de l'avatar et, par conséquent, l'effet des caractéristiques de ce dernier sur la motricité. Cette interprétation peut rendre compte du ralentissement de la vitesse de marche consécutif à l'incorporation d'un avatar âgé observé seulement sur les premiers pas (Reinhard et al., 2019). En effet, interprétée par les auteurs en termes de dissolution rapide de l'effet Proteus au sortir de la phase d'incorporation, la disparition du phénomène pourrait autrement s'expliquer par l'altération de l'illusion d'incorporation de l'avatar âgé en raison de l'incongruence des retours sensoriels issus de la marche avec les attendus. Cette explication aux inconsistances observées quant à l'effet des

caractéristiques de l'avatar sur la motricité pourrait être neutralisée en utilisant une tâche motrice n'impliquant pas de retours sensoriels. Toute exécution motrice étant associée à des conséquences sensorielles chez les individus ne présentant pas de pathologies neurologiques associées, il serait pertinent de considérer une tâche motrice n'impliquant pas de production effective du mouvement, autrement dit une tâche d'imagerie motrice.

2.2.2 Comportement moteur réel et imagerie motrice : les parallèles

L'imagerie motrice correspond à une représentation mentale d'un mouvement sans que celle-ci ne soit accompagnée d'une production motrice réelle (pour une revue : Jeannerod, 1995; Loison et al., 2013). Deux types d'imagerie motrice sont considérés dépendamment de la stratégie de représentation mentale employée : l'imagerie motrice visuelle et l'imagerie motrice kinesthésique (Solodkin et al., 2004). L'imagerie motrice visuelle correspond à une représentation visuelle et spatiale du mouvement à travers laquelle l'individu s'observe réaliser le mouvement, depuis une perspective à la troisième personne (« image externe » ; Jeannerod, 1995). L'imagerie motrice kinesthésique correspond davantage à une simulation mentale du mouvement depuis une perspective à la première personne, à laquelle l'individu associe les sensations kinesthésiques qui sont les sensations somatosensorielles éprouvées lors de la production du mouvement (« image interne » ; Jeannerod, 1995).

L'imagerie motrice et la production motrice partagent des caractéristiques cérébrales, neurovégétatives et comportementales communes (pour des revues : Decety, 1996a; Jeannerod, 1995; Lotze & Halsband, 2006; Munzert et al., 2009). La simulation mentale du mouvement est sous-tendue par l'activation de régions cérébrales impliquées dans la production motrice volontaire, telles que le cortex moteur primaire, le cortex prémoteur, l'aire motrice supplémentaire, le cervelet ou encore les centres sous-corticaux (pour des revues : Collet et al., 2011; Guillot & Collet, 2005; Jeannerod, 2001). De même, la représentation mentale du mouvement est associée à des réponses neurovégétatives similaires à celles observées lors de la réalisation d'un mouvement (pour des revues : Collet et al., 2011, 2013; Decety, 1996b; Guillot & Collet, 2005). Par exemple, des indices de réactivité physiologique (e.g., augmentation de la fréquence cardiaque et de la ventilation pulmonaire) sont observés lors de la réalisation d'une tâche d'imagerie motrice comparativement à une période de repos (Decety et al., 1991; Papadelis et al., 2007). Ces changements neurovégétatifs sont d'ailleurs corrélés à

l'effort imaginé tel que la vitesse de marche (Decety et al., 1991). Enfin, l'imagerie motrice et l'exécution motrice partagent des caractéristiques comportementales communes, ce qui a notamment été démontré au travers des tâches de chronométrie mentale consistant en la représentation mentale d'un mouvement. Les études démontrent que l'exécution et l'imagerie motrice présentent des patterns temporels similaires, régis par des contraintes spatiales communes : les participants mettent un temps équivalent pour effectuer réellement ou simuler le déplacement sur une distance donnée, avec un temps de déplacement qui augmente avec la distance à parcourir et avec la difficulté du mouvement à réaliser (Bakker et al., 2007; Decety et al., 1989; Decety & Jeannerod, 1995). Il est à noter que le respect des caractéristiques temporelles du mouvement lors de la représentation mentale de celui-ci est considéré comme un témoin des capacités d'imagerie motrice d'un individu (pour des revues : Collet et al., 2011; McAvinue & Robertson, 2008). Il est par ailleurs conseillé de coupler ce type de mesure à une évaluation psychométrique de la difficulté de simulation mentale ou de la vivacité des sensations kinesthésiques associées (Loison et al., 2013 ; pour une revue : Collet et al., 2011). Comme souligné toutefois par Lotze & Halsband (2006, p. 389), « il faut admettre que ces mesures ne fournissent que des informations très élémentaires, et un contrôle précis de ce que fait réellement le sujet pendant l'imagerie reste illusoire ». Les auteurs ajoutent qu'un moyen de contrôler la performance d'imagerie motrice serait, chez les individus non entraînés, de privilégier la représentation de mouvements simples, de basses fréquences (pour une revue : Lotze & Halsband, 2006).

En somme, l'imagerie motrice correspond à une forme de motricité dans la mesure où sa réalisation est dépendante de régions cérébrales, de réactions neurovégétatives et de contraintes spatio-temporelles liées à l'action motrice, sans pour autant aboutir à une production réelle de mouvements. L'utilisation d'une tâche d'imagerie motrice apparaît pertinente dans le cadre de l'étude de l'effet Proteus sur le comportement moteur car celle-ci permet d'éviter l'émergence d'afférences susceptibles d'altérer le sentiment d'incorporation de l'avatar. Par ailleurs, l'investigation de l'effet Proteus sur une tâche d'imagerie motrice permet d'étudier l'effet des caractéristiques de l'avatar sur une action motrice dont les mouvements qui la composent sont personnalisables selon les besoins méthodologiques d'une part (e.g., mouvements simples), et dont la réalisation est relativement fidèle d'autre part. Concernant ce dernier point, cela se distingue de précédentes études investiguant l'effet Proteus sur le comportement moteur au moyen de jeux-vidéo sportifs dont la performance globale (e.g., courir) est inférée à partir d'une

activité réalisée au niveau local (e.g., secousses des manettes ; Li et al., 2014; Peña et al., 2016; Peña & Kim, 2014).

2.3. Récapitulatif : développement du protocole d'étude de l'effet Proteus

Un protocole d'étude de l'effet Proteus a été développé afin d'étudier l'effet de l'incorporation d'un avatar âgé, en réalité virtuelle, sur les performances de marche en imagerie motrice et sur les performances cognitives. Le développement d'un paradigme d'incorporation en réalité virtuelle a été privilégié afin de favoriser l'émergence d'un sentiment d'incorporation de l'avatar (voir *Chapitre II. Partie 3.1.2.*). Par ailleurs, au-delà d'une simple exploration de l'effet Proteus, il était envisagé d'étudier le phénomène dans l'objectif pratique d'appréhender les relations existantes entre les stéréotypes relatifs aux caractéristiques corporelles et les performances. L'étude de l'effet Proteus dans le cadre des stéréotypes du vieillissement est donc apparue intéressante pour plusieurs raisons. Premièrement, les stéréotypes du vieillissement entraînent des conséquences fonctionnelles chez les adultes âgés (voir *Chapitre IV. Partie 2.1.1.*). Deuxièmement, la pluralité des stéréotypes du vieillissement en ce qui concerne les domaines de fonctionnement ciblés (e.g., capacités cognitives, performances motrices, humeur, traits de personnalité ; Hummert, 1990), permet d'investiguer l'effet Proteus sur des mesures diverses au travers d'un protocole commun. Des effets de l'incorporation d'un avatar âgé sont donc attendus à la fois sur le fonctionnement moteur et sur le fonctionnement cognitif. Troisièmement, des études montrent l'effet de l'incorporation ou de l'utilisation d'un avatar âgé sur des mesures attitudinales (Yee & Bailenson, 2006), de prise de décision (Hershfield et al., 2011; Yoo et al., 2015) et motrices (Reinhard et al., 2019; Yoo et al., 2015). Ces premiers résultats permettent raisonnablement de faire l'hypothèse qu'un effet Proteus intervient lors de l'incorporation d'un avatar âgé, mais justifient aussi de poursuivre l'étude du phénomène dans cette direction. En effet, aucune étude n'a, à notre connaissance, investigué l'effet de l'incorporation d'un avatar âgé sur les performances cognitives [avant l'année 2022], et les résultats observés sur les performances motrices justifient d'employer une tâche motrice réduisant l'intervention des afférences susceptibles d'altérer le sentiment d'incorporation de l'avatar âgé. Une tâche de marche en imagerie motrice a donc été utilisée, afin de proposer la représentation mentale d'un mouvement simple.

En somme, le travail de thèse visait à investiguer les conséquences de l'incorporation d'un avatar d'adulte âgé sur le comportement moteur mesuré en imagerie motrice et sur les performances cognitives. **Nous faisons l'hypothèse que l'incorporation d'un avatar âgé entraîne un effet Proteus sur le comportement moteur et sur les performances cognitives.** Il était attendu que l'incorporation d'un avatar âgé conduise à une diminution des performances motrices mesurées en imagerie motrice, ainsi qu'à une diminution des performances cognitives, comparativement à l'incorporation d'un avatar ne présentant pas ces caractéristiques d'âge.

Cet objectif a été investigué de manière transversale au travers des Chapitres V, VI et VII (études 1, 2, 4, 4bis et 5).

Synthèse des objectifs et des hypothèses

Le premier objectif de ce travail de thèse était d'approfondir la compréhension des mécanismes explicatifs de l'effet Proteus. Dans ce cadre, nous faisons les hypothèses suivantes :

- ♦ *Hypothèse 1, étudiée dans le Chapitre V* : L'effet Proteus apparaît au-delà d'un effet d'amorçage aux stéréotypes relatifs aux caractéristiques d'apparence d'un avatar. Il était attendu que l'incorporation d'un avatar associé à des stéréotypes entraîne un changement comportemental comparativement à l'incorporation d'un avatar non associé à de tels stéréotypes, mais en situation d'amorçage de ces derniers.
- ♦ *Hypothèse 2, étudiée dans le Chapitre VI* : Le processus d'incorporation de l'avatar joue un rôle causal sur l'apparition de l'effet Proteus. Il était attendu qu'il soit nécessaire de considérer le corps de l'avatar comme étant sien pour qu'apparaisse un effet Proteus.
- ♦ *Hypothèse 3, étudiée dans les Chapitres VI et VII* : L'apparition de l'effet Proteus est sous-tendue par un changement de perception de soi. Il était attendu que l'incorporation d'un avatar associé à des stéréotypes entraîne un changement de perception de soi dans le sens de ces stéréotypes, conduisant à l'apparition d'un effet Proteus.

Le second objectif de ce travail de thèse, parallèle au premier, était de poursuivre l'investigation des conséquences de l'incorporation d'un avatar associé à des stéréotypes sur les compétences motrices et cognitives. Nous faisons l'hypothèse suivante :

- ♦ *Hypothèse transversale, étudiée dans les Chapitres V, VI, et VII* : L'incorporation d'un avatar âgé entraîne un effet Proteus sur le comportement moteur et sur les performances cognitives. Il était attendu que l'incorporation d'un avatar âgé conduise à une diminution des performances motrices mesurées en imagerie motrice, ainsi qu'à une diminution des performances cognitives, comparativement à l'incorporation d'un avatar ne présentant pas ces caractéristiques d'âge.

CHAPITRE V.

Effet Proteus, au-delà d'un effet d'amorçage situationnel direct ?

1. Effet Proteus sur le comportement en imagerie motrice

1.1. Stéréotypes relatifs aux performances motrices des adultes âgés

Etude 1

1.1.1 Introduction

Cette étude s'est inscrite dans l'objectif de développer un protocole d'étude de l'effet Proteus nécessaire à l'approfondissement de la compréhension théorique du phénomène. Par ailleurs, elle visait à tester l'effet de l'incorporation, en réalité virtuelle, d'un avatar âgé sur le comportement en imagerie motrice. L'incorporation de l'avatar en réalité virtuelle a été proposée ici au travers de l'immersion du participant avec une perspective à la première personne dans le corps de l'avatar (i.e., localisation du soi dans le corps de l'avatar) et le couplage en temps réel des mouvements de l'avatar avec ceux du participant (i.e., agentivité). Cette procédure visait à favoriser l'émergence du sentiment d'incorporation de l'avatar, au travers des composantes de localisation du soi, d'agentivité, mais également de possession corporelle (voir *Chapitre II. Partie 1.1.*). L'effet Proteus a été investigué sur le comportement en imagerie motrice. Compte tenu des similarités à la fois comportementales et neurales entre l'exécution motrice et l'imagerie motrice (voir *Chapitre IV. Partie 2.2.2.*), cette dernière apparaissait optimale pour l'étude du comportement moteur tout en excluant l'intervention de tout retour sensoriel de l'action, susceptible de réduire le sentiment d'incorporation de l'avatar. Enfin, dans le but de tester l'hypothèse proposée par Yee & Bailenson (2009) selon laquelle l'effet Proteus intervient au-delà d'un effet d'amorçage situationnel direct, le protocole expérimental visait à contrôler l'effet d'amorçage aux stéréotypes du vieillissement sur la

performance motrice. Pour cela, les concepts du vieillissement et de la jeunesse étaient activés dans toutes les conditions expérimentales par la co-présence systématique d'un avatar âgé et d'un avatar jeune dans l'environnement virtuel. La différence entre les conditions expérimentales intervenait donc au niveau du type d'avatar incorporé, c'est-à-dire du type de représentation numérique du participant dans l'environnement virtuel. En effet, si un avatar âgé et un avatar jeune étaient simultanément présents dans l'environnement virtuel, un seul était incorporé au cours d'une condition expérimentale.

Conformément aux prédictions de l'effet Proteus, et plus précisément aux stéréotypes négatifs relatifs aux performances motrices des adultes âgés (Lineweaver et al., 2017), **il était attendu que l'incorporation d'un avatar âgé conduise à un ralentissement du comportement en imagerie motrice comparativement à l'incorporation d'un avatar jeune.**

1.1.2 Expérience

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

The impact of embodying an “elderly” body avatar on motor imagery

Marine Beaudoin^{1,2,a}, Julien Barra^{1,3,a}, Louise Dupraz¹,
Pauline Mollier-Sabet¹, Michel Guerraz^{1,3*}

¹University of Savoie Mont Blanc, Chambéry, France

²University of Grenoble Alpes, University of Savoie Mont Blanc, LIP\PC2S, 38000 Grenoble, France

³University of Grenoble Alpes, University of Savoie Mont Blanc, CNRS, LPNC, 38000 Grenoble, France

Abstract

When an individual embodies an avatar, the latter’s characteristics or stereotype can change the individual’s behavior and attitudes; this is known as the Proteus effect. Here, we looked at whether the embodiment of an avatar resembling an elderly adult (seen from a first-person perspective and facing a virtual mirror) changed mentally represented physical activity in a motor imagery task performed by young adult participants (N = 52). To ensure that the impact of embodiment of an elderly avatar on the motor imagery task was not influenced by a potentially confounded stereotype assimilation effect (due to the mere presence of an avatar), a “young” avatar and an “elderly” avatar were always present together in the virtual environment—even though only one (the self-avatar) was embodied at a given time. We found that it took longer for the participants to perform the motor imagery task with the elderly self-avatar than with the young self-avatar. The more negative the participant’s beliefs about motor activity in the elderly, the greater the observed effect of the avatar on motor imagery performance. We conclude that knowledge about the characteristics of an embodied avatar can modify the subject’s level of mentally represented physical activity.

Keywords Embodiment, Motor imagery, Aging

¹**Received:** 21 February 2020 / **Accepted:** 4 May 2020 / **Published online:** 16 May 2020

^a Marine Beaudoin and Julien Barra contributed equally to this work

*Corresponding author: michel.guerraz@univ-smb.fr

Introduction

The representation of one's body has flexible boundaries; it can be stretched to encompass external body parts (such as prostheses and rubber body segments; Botvinick & Cohen, 1998; Longo et al., 2008; Metral et al., 2017; Metral & Guerraz, 2019) or even a full virtual body (an avatar; Giroux et al., 2018, 2019; Petkova et al., 2011; Slater et al., 2010; van der Hoort et al., 2011). The sensation of embodiment of an avatar that is seen from a first-person perspective via a head-mounted display (HMD) can be easily achieved when the avatar's movements are combined with tactile, proprioceptive stimulation (for a review, see Kilteni et al., 2015) or motor commands (Maselli & Slater, 2013; Peck et al., 2013). Embodiment can be achieved as long as there is no obvious mismatch between the anatomical or morphological aspects of the virtual body and those of the human being (Tsakiris et al., 2010). Therefore, embodiment can be achieved with an avatar that differs from the participant in terms of (for instance) skin color, gender or age (Haans et al., 2008; Lira et al., 2017; Peck et al., 2013; Reinhard et al., 2019) – even though the process can take more time and can be slightly less intense than when the avatar has the same characteristics as the participant (Lira et al., 2017).

A further question is the extent to which embodiment of an avatar changes the participant's behavior and attitudes during or after the experience—a phenomenon known as the Proteus effect. This effect describes behavioral changes of an individual by the knowledge about his/her avatar's characteristics or stereotype (Yee & Bailenson, 2007; see Ratan et al., 2019 for a meta-analysis). Accordingly, Peck et al. (2013) used the racial implicit association test to demonstrate that the embodiment of a dark-skinned avatar by a light-skinned participant reduced implicit racial bias against dark skinned people. It has also been shown by Yee & Bailenson (2006) that negative stereotypes related to ageing were less intense when the participant was placed in an “elderly” avatar, relative to a “young” avatar; in a study based on a word association test, participants embodying an elderly avatar associated traits that were significantly more positive towards the elderly than participants placed in a young avatar did. Along with attitudes, cognition, and behavior can also be modified by virtual embodiment. For example, Guegan et al. (2016) demonstrated that participants embodying an avatar that was previously designed to represent how inventors look like showed better creative thinking

performance during a brainstorming than participants embodying a neutral avatar. It has also been shown by Lee et al. (2014) that participants represented by a male avatar obtained better mental arithmetic performance when competing rather than collaborating with female co-actors, in line with the stereotype lift (i.e., improved performance of non-stereotyped individuals following awareness of a negative stereotype associated with outgroup members). In addition, avatar embodiment was found to affect a wide range of behaviors, including negotiation behavior (Yee & Bailenson, 2007), aggressiveness (Peña et al., 2009), financial saving (Hershfield et al., 2011), food choice (Sah et al., 2016), or physical activity (Reinhard et al., 2019; Yoo et al., 2015). With regards to physical activity, two studies have found that operating an elderly avatar (vs. a young avatar) influences the operator's walking speed. First, Yoo et al. (2015) used a non-immersive set-up to show that operating an elderly avatar (vs. a young avatar) in a retail shop influenced not only the shopper's product choice but also his/her gait speed while shopping. Second, Reinhard et al. (2019) recently confirmed the impact of the immersive virtual reality embodiment of an elderly body avatar on

the gait speed measured on a corridor after the participant had left the virtual world.

Interestingly, physical activity can be real, but it can also be mentally represented. Mentally represented walking speed can be examined through motor imagery, which consists in the mental execution of a movement without any overt movement and with little or no peripheral activation. Because there is a large degree of overlap between motor imagery and motor execution (Jeannerod, 1995), one can ask whether the avatar effect that has been found on real walking speed (Reinhard et al., 2019; Yoo et al., 2015) could also be reported on represented walking speed. Therefore, the primary objective of the present study was to test the hypothesis that virtual embodiment can modify represented walking speed in a motor imagery task. For that purpose, young participants embodied either a young avatar or an elderly avatar (seen from a first-person perspective and facing a virtual mirror) and were required to represent themselves carrying out a walking task that consisted in standing up from their seat, walking along a corridor, and sitting down in a distant virtual chair. In addition, precautions were taken to ensure that any changes in mentally represented motor activity in the present experiment were not related to the mere

activation of elderly stereotypes. Indeed, studies on the assimilation effect of stereotypes have shown that the mere presence of age-related stimuli (words, sentences, images, etc.) is enough to produce stereotype-consistent behaviors in young adults, such as a low gait speed or poor performance in a basketball game (Follenfant et al., 2005; Levy, 2009; Wheeler & Petty, 2001). To this end, we designed a virtual environment in which both an elderly avatar and a young avatar were always present. However, only one of the two avatars was embodied at a given moment (the self-avatar); the second, other-avatar remained seated close to the embodied avatar and was not controlled by the participant's own movements. We hypothesized that a participant would take longer to complete an imagined motor task when the self-avatar was elderly than when the self-avatar was young.

Methods

Participants

As the avatars used in the present study were females, only female participants were recruited. Fifty-two young women (mean \pm standard deviation age: 21.1 ± 6.3) with normal or corrected vision, volunteered to participate in the study. None of the participants had a self-reported history of visual, proprioceptive

or neuromuscular diseases, and none were prone to seizures or dizziness. All the participants provided their written, informed consent prior to involvement in the experiment. The study was performed in accordance with the ethical standards laid down in the 1964 Declaration of Helsinki, and was approved by an institutional review board (University Savoie Mont Blanc, Chambéry, France; reference: CER-2019-7).

Materials

Immersive virtual reality technology, avatars, and environment

An HMD designed for immersive virtual reality environments (Oculus Rift CV1; Oculus VR, Irvine, CA, USA) was used. It included two pentile OLED display with a 1080×1200 resolution per eye, a 90 Hz refresh rate, and a 110° field of view. The oculus constellation tracking system (infrared camera that faces the user to detect small infrared LED markers) and the accelerometers, gyroscopes and magnetometer built-in the HMD were used to estimate the head's position and orientation; this enables perspective correction and allows the user to move his/her head freely in a room-sized environment. The virtual reality scenario was developed using Unity software (Unity Technologies USA) and ran on a computer

equipped with a MSI Geforce GTX 980 Gaming 4G graphics card (Micro-Star International, Taiwan) and an Intel Core i7 \pm 4790 K processor (Intel Corporation, USA).

Two avatars were created: a young woman and an elderly woman (Fig. 1), who were always present together in the virtual environment. The self-avatar (either the young or the old one) was embodied, and the static other-avatar remained seated beside the self-avatar. The concomitant presence of the two avatars in our virtual environment ensured that stereotypes related to elderly or young adults were always activated, whereas the assimilation of the self-avatar's physical attributes in virtual immersion was age-specific to the embodied avatar. The avatars were created and rigged with inverse kinematics expression with MakeHuman™ (<https://www.makehumancommunity.org>) and Blender (<https://www.blender.org>) open-source software packages and then animated in the Unity environment. Rotation tracking of the participant's head was coupled to the avatar's head orientation. The positional head tracking was not coupled to the avatar in order to prevent any non-biological distortion of the neck. At the end of each experimental session, the participants evaluated the age of the avatars: when the two sessions were

combined, the estimated mean \pm SD ages of the young and elderly avatars were 32.2 ± 7.1 and 73.4 ± 8.1 , respectively. The self-avatar's body (either young or old) was seen from a first-person perspective but was also visible in a virtual mirror positioned in front of the participant. Therefore, the participant could see the body of her self-avatar from a first-person perspective but could also see the self-avatar's face in the virtual mirror. Displacements of the self-avatar's forearms were driven in real time by the displacements of the participant's forearms, as sensed by an electromagnetic motion capture system (Liberty™, Polhemus, Colchester, VT, USA) at a frequency of 240 Hz. A sensor was set on the back of each participant's hand. The avatar's forearm position was coupled to the positional tracking of the sensors with an inverse kinematics method.

Since the fingers of the avatars were not animated, the participants closed their hands around physical handles (also visible in the virtual environment). This ensured that participants kept their hand closed, just as depicted in the virtual world. The other-avatar (either young or old) could be seen to the side when participant turned to the left and also appeared in the virtual mirror.

The virtual environment consisted in a three-dimensional room with a parquet floor and walls covered with wallpaper (Fig. 2). The participant sat with her elbows on a virtual table, facing the virtual mirror. On the right side of the virtual room was a virtual corridor with the same types of floor and walls as the main room. The

participant could see down the corridor if she turned her head to the right. A virtual chair could be located randomly at five distances along this corridor, near or far from the participant (with equal virtual distances between these different depths). The virtual corridor could be closed by a virtual black door.



Fig. 1 The participant's perspective view in the immersive virtual environment. Left panel: embodiment of the elderly avatar. Right panel: embodiment of the young avatar



Fig. 2 Overview of the virtual environment for the elderly self-avatar in the motor imagery task

Questionnaires

The movement imagery questionnaire

The movement imagery questionnaire (MIQ) contained the seven elements of the French translation of the Movement Imagery Questionnaire-Revised Second Version (Loison et al., 2013) relating to kinesthetic movement imagery ability (see Supplementary Material A). These items involve the production and kinesthetic imagery of a movement ($\alpha = 0.76$). The participant must then estimate how easy or difficult it is to generate the imagery on a seven-point Likert scale ranging from 1 (very difficult) to 7 (very easy). A score of 6 or 7 corresponds to a high imagery capacity.

The embodiment questionnaire The embodiment questionnaire (EQ) used here was a French adaptation of Gonzalez-Franco & Peck's embodiment questionnaire (2018). It contained 13 items probing subcomponents of self-avatar embodiment (see Supplementary Material B): body ownership (i.e. the feeling that the avatar's body is one's own: items 2, 3, 9, 12 and 13), agency and motor control (i.e. the feeling that one can control the avatar's body as one's own: items 1, 5, 7 and 8), and external appearance (i.e. the avatar's appearance: items 4, 6, 10 and 11). Each item was scored on a seven-point

Likert scale ranging from 1 (strongly disagree) to 7 (strongly agree). The total embodiment score was computed from three embodiment subscores (body ownership, agency, and appearance), according to the equation published by Gonzalez-Franco and Peck (2018). Higher scores correspond to stronger embodiment ($\alpha = 0.82$ for the young self-avatar and $\alpha = 0.85$ for the elderly self-avatar).

The general beliefs about physical functioning instrument

The questionnaire used was a French translation of an adapted version of Lineweaver et al. 'General Beliefs about Physical Functioning Instrument' (2017). The inventory evaluated beliefs about the extent to which a typical person aged 20–90 (in decades) possesses four different physical abilities (strength, balance, gait speed, and flexibility; see Supplementary Material C). For each decade, the beliefs were rated on a visual analog scale (VASs, as vertical lines of 12.2 cm in length) presented on an A4 sheet. The participant was required to indicate the target person's level of ability by putting a mark at the corresponding point on a VAS for each physical ability. The bottom end of the line corresponded to the lowest possible ability, and the upper end corresponded to the highest possible ability.

Procedure

Each participant took part in two 60-min experimental sessions (one with a young self-avatar and the other as the elderly self-avatar, Fig. 3). For a given participant, the two sessions were held within a week but at least 1 day apart. The order was counterbalanced among the participants.

The avatar embodiment phase

While wearing the virtual reality HMD, the participant sat with her elbows on the table and could move her head freely to explore the virtual body (the young or elderly self-avatar) and the virtual environment (including the other-avatar seated next to her). During a 1-min embodiment phase, the experimenter moved the participant's forearms by alternating phase and antiphase movements at a frequency of 40 movements per minute and with an angular amplitude of $\sim 45^\circ$. Since the displacements of the self-avatar's forearms were driven in real time by the displacements of the participant's biological forearms, passive displacements of the latter created a spatiotemporal coincidence of visual (virtual forearms) and proprioceptive (biological forearms) signals, a coincidence from which the sensation of embodiment occurs (Kilteni et al., 2015). Passive displacements of the

participant's forearms were considered instead of active movements to prevent attribution of the participant's physical attributes to the avatar. The perspective faithfully reproduced the participant's real head and forearm movements. Four embodiment phases were performed within one session, that is, one phase before each block of motor imagery trials (see below). The embodiment phase was performed for both self-avatars.

The motor imagery task

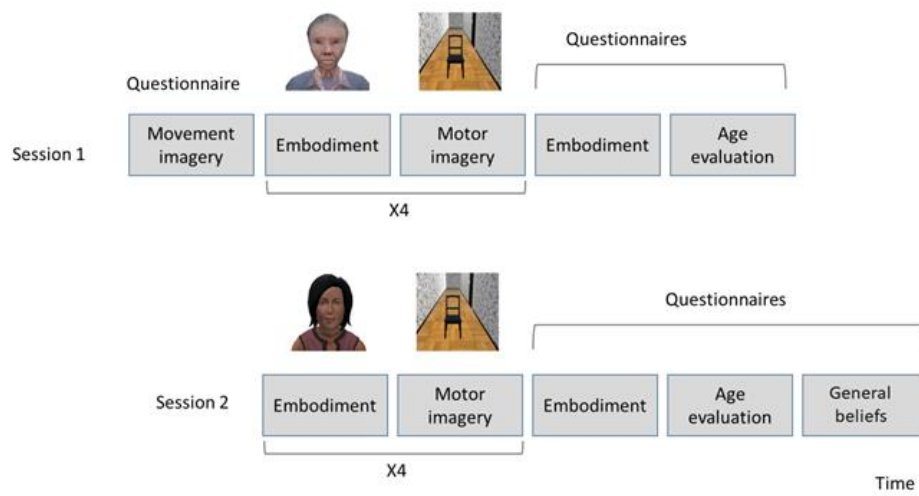
Once the embodiment phase had been completed, the participant was required to perform a motor imagery task. During a short training period, the participant was required to look at the virtual chair in the virtual corridor to the right. The participant was later required to represent herself standing up from her seat, walking along the corridor, and sitting down in the distant virtual chair. When the participant was ready to imagine herself standing up, she was required to say "go" out loud and to close her eyes. When the experimenter heard the signal "go" he immediately closed the virtual door, what started the time recording. When the participant had imagined herself sitting down on the virtual chair, she was required to say "stop" out loud. At that point, the experimenter opened the virtual door (the chair had

gone), what stopped the time recording, and the trial was over (see Fig. 3b). The time (in ms) between the “go” and “stop” signals from the participant was the criterion for motor imagery performance. Once three training trials had been completed, four blocks of five motor imagery trials were performed. Each trial was performed in the same way as in the training session. Between each block of five trials, participants were required to turn their head left and look in the mirror. A new 60-s embodiment period was implemented. The scores for the four trials for each distance were averaged prior to analysis. In total, there were 40 motor imagery trials: 20 with the young self-avatar, randomly distributed in four blocks of trials and 20 with the elderly self-avatar.

Completion of the study questionnaires

At the beginning of the first experimental session, the participants filled out the MIQ (Fig. 3). Once the experimental trials had been completed, the participants filled out the EQ and then had to estimate the respective ages of the young avatar and the elderly avatar. This was performed during each of the two experimental sessions (i.e. once with the young embodied avatar and once with the elderly embodied avatar). Once the EQ had been filled out and the estimated age had been recorded at the end of session 2, the participant was required to fill the stereotype questionnaire.

(A)



(B)

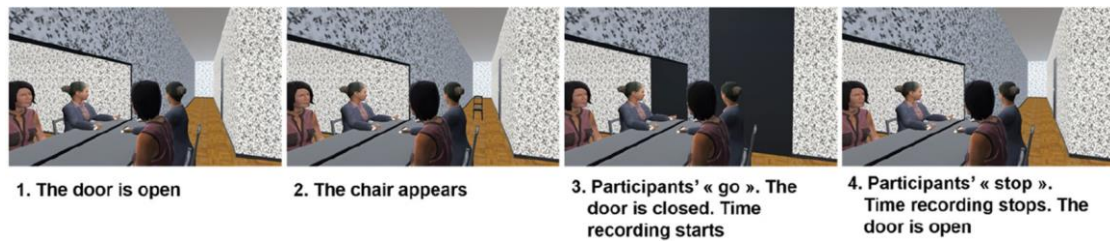


Fig. 3 a Time sequence of the experiment for a given participant, with an elderly self-avatar in session 1 and a young self-avatar in session 2. For a given participant, the two sessions were held within a week but at least 1 day apart. The order was counterbalanced among the participants. **b** Trial sequence of the motor imagery task.

Results

Statistical analyses related to the mean time in the imagery task: Since the normality assumption required to run frequentist parametric analyses was not systematically achieved under our experimental conditions (Shapiro–Wilk: $p < 0.001$), the data were subjected to Bayesian statistics (Kruschke 2010). Analysis of variance and pairwise comparisons t tests were assessed with Bayesian equivalent tests. The statistical analyses were performed using JASP software (JASP Team, 2018; <https://jasp-stats.org/>) (See also Wagenmakers et al., 2018). Statistical evidence was reported using Bayes factors (BFs), BF10 for paired sample comparisons and BF_{incl} for ANOVAs denoting the level of evidence of the alternate hypothesis (non-signed difference), and the inclusion of a specific parameter in a model (ANOVA), respectively. The cut-off values defined by

Jeffreys (1998) were used to interpret BFs. The imagery performance was assessed in a 2×5 repeated measure Bayesian analysis of variance (ANOVA) [Avatar (elderly vs. young) \times Distance (from distance 1 to distance 5)]. Non-parametric Wilcoxon signed rank test and correlation (Spearman) were used to assess responses from the questionnaires as recommended (Gonzalez-Franco & Peck, 2018).

Motor imagery performance

The mean and standard error of the mean (SEM) times for each distance and each embodied avatar (elderly vs. young) are shown in Fig. 4. Results showed that the time taken to perform the motor imagery task increased linearly with the virtual distance of the virtual chair, with a mean time of 3.39 s (± 1.49), 5.47 s (± 2.1), 6.78 s (± 2.6), 8.12 s (± 3.12) and 9.89 s (± 3.8) for distances 1, 2, 3, 4 and 5, respectively. The Bayesian ANOVA indicated extreme

evidence to show that the mean time increased with increasing distance (main effect of distance: $BFincl = 6.01e+15$). The performance at each distance differed significantly from the others ($BF_{10} > 3.9e+17$ for all Bayesian post hoc tests).

The Bayesian ANOVA also indicated extreme evidence to show that the mean time required to perform the imagery task was shorter with the young self-avatar than with the elderly self-avatar (main effect of Avatar: $BFincl = 1659.7$). The mean time when the five distances were pooled was 6.43 s (± 2.48) and 7.01 s (± 2.80) for the young and elderly self-avatar, respectively.

Finally, the Bayesian ANOVA showed a strong evidence of an absence of interaction between distances and avatars

($BFincl = 0.07$). This absence of interaction indicated that the difference between the young and elderly self-avatar conditions did not increase significantly with walking distance.

Impact of virtual aging on motor imagery (“avatar effect”) and the questionnaires

In order to analyze the relationship between the impact of virtual aging on motor imagery with avatar embodiment, negative beliefs about the elderly, and imagery abilities, an individual “avatar effect” was computed. This “avatar effect” was assessed by subtracting for each participant the motor imagery performance (in seconds, and with the five distances pooled) with the young self-avatar from that with the elderly self-avatar.

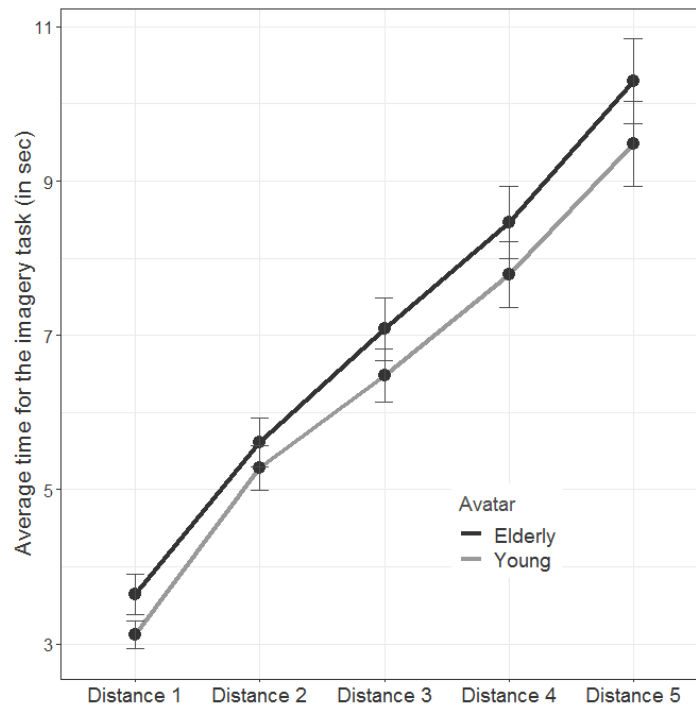


Fig. 4 The mean time for performance of the motor imagery task, as a function of the distance walked to the virtual chair (distances 1–5) and the self-avatar (young vs. elderly). The error bars correspond to the SEM.

The embodiment score and the “avatar effect”

Embodiment was assessed after virtual immersion with the young or elderly self-avatar and included the body ownership, agency and external appearance subcomponents. The median overall embodiment scores were 4.51 and 4.23 for the young and elderly self-avatars, respectively (Fig. 5). Wilcoxon’s signed rank test revealed that the embodiment score was significantly higher after virtual immersion with the young self-avatar than with the elderly self-avatar ($V = 947, p = 0.02$). Regarding the three subcomponents, only ownership differed

significantly between the two avatars (Ownership: $V = 801.5, p = 0.03$; Agency: $V = 613.5, p = 0.09$; Appearance: $V = 622.5, p = 0.38$).

A correlation analysis revealed a significant positive relationship between the embodiment score with the elderly self-avatar and the “avatar effect” on motor imagery ($\rho = 0.36, p < 0.01$); the higher the embodiment score with the elderly self-avatar, the greater the impact of virtual aging on motor imagery. Similar significant, positive correlations were found for the Ownership ($\rho = 0.36, p < 0.01$) and Appearance ($\rho = 0.35, p =$

0.01) subcomponents. The correlation with Agency was not significant ($\rho = 0.22$, $p = 0.12$). Importantly, a closer examination of the internal consistency of the three subscales revealed that the Agency subscale lacked reliability ($\alpha = 0.05$ and $\alpha = 0.31$ for the young and elderly self-avatar, respectively), whereas the Ownership ($\alpha = 0.76$ and $\alpha = 0.84$ for the young and elderly self-avatar) and

Appearance subscales ($\alpha = 0.85$ and $\alpha = 0.76$) showed adequate internal consistency. The “avatar effect” was not significantly related to the embodiment score with the young self-avatar ($\rho = 0.03$, $p = 0.81$) or any of the three embodiment subcomponents (Ownership: $\rho = -0.04$, $p = 0.78$; Appearance: $\rho = 0.10$, $p = 0.47$; Agency: $\rho = 0.03$, $p = 0.81$).

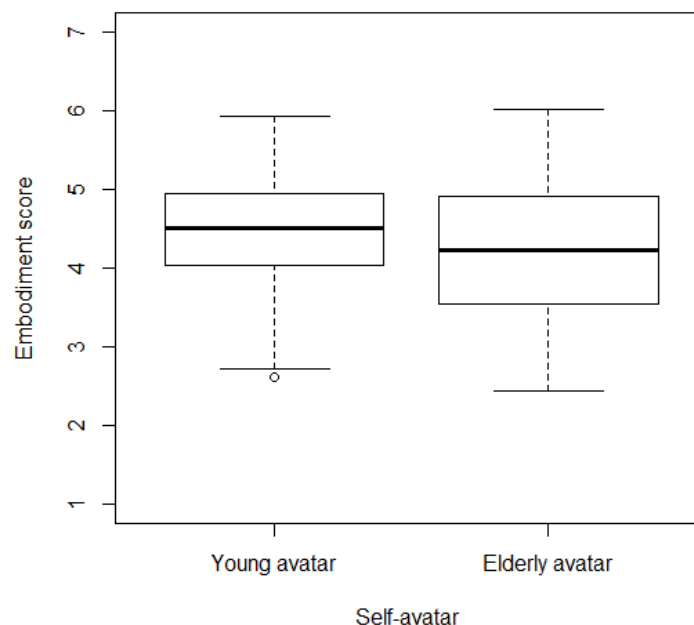


Fig. 5 Box-and-whisker plots of the embodiment score for the young and elderly self-avatars, with the median (thick line), the interquartile range (the box), and the whiskers (extending the box by 1.5 times the interquartile range). The point represents an outlier.

Beliefs about physical abilities and the avatar effect

Beliefs about the extent to which a typical person aged from 20 to 90 (in 10-year increments) has different physical abilities such as strength, balance, gait speed and

flexibility were rated on a series of VASs. The VAS scores fell steeply with age (Fig. 6). A slope of -0.1 indicates a decrease of 1 cm on the VAS per decade (i.e. a 10% change); the steeper the slope, the

stronger the expected decrement in a particular ability with age. The median slopes for strength, balance, gait speed and flexibility were -0.12 , -0.14 , -0.13 and -0.14 , respectively.

The results evidenced a negative, moderate relationship between the “avatar effect” on motor imagery and the beliefs regarding balance ($\rho = -0.34$, $p = 0.01$), as assessed from slopes calculated on the basis of VAS scores. Therefore, the more negative the beliefs about balance, the greater the impact of virtual aging on motor imagery. No significant relationships were noticed between the

avatar effect and gait speed ($\rho = -0.25$, $p = 0.07$), strength ($\rho = -0.18$, $p = 0.19$) and flexibility ($\rho = -0.06$, $p = 0.69$), also assessed from slopes calculated on the basis of VAS scores.

Imagery ability and the avatar effect

The median MIQ score was 4.71. Since the imagery ability was evaluated from responses on a Likert scale, its relationship with the avatar effect was evaluated using nonparametric tests (Spearman’s correlation test). We found that the MIQ score was not correlated with the avatar effect ($\rho = -0.10$, $p = 0.48$).

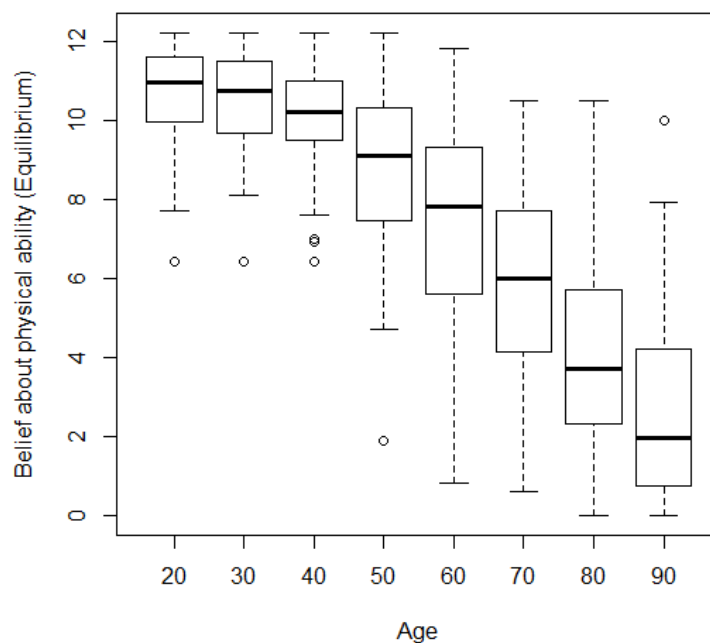


Fig. 6 Box-and-whisker plots of the beliefs about the extent to which a typical person aged 20–90 possesses balance ability, with the median (thick line), the interquartile range (the box), and the whiskers (extending the box by 1.5 times the interquartile range). Points correspond to outliers.

Discussion

The objective of the present study was to determine whether virtual embodiment of an elderly avatar by young adults would change the latter's level of mentally represented physical activity in a motor imagery task. In accordance with our starting hypothesis, it took longer for young participants to perform a motor imagery task after having embodied an elderly avatar than a young avatar—thus confirming the presence of a Proteus effect (Yee & Bailenson, 2007). Interestingly, the Proteus effect was greater when embodiment of the elderly avatar (as evaluated by the EQ) was strong. Furthermore, more negative beliefs about balance abilities in the elderly were associated with a greater effect of the avatar on motor imagery performance.

The Proteus effect, motor imagery, and negative beliefs about the elderly

Our results showed that mentally represented motor activity changes upon virtual ownership of the body of an elderly person. This avatar effect on a covert action motor imagery task confirms that the avatar effect that has been found on real physical activity (Reinhard et al., 2019; Yoo et al., 2015) could also be reported on represented physical activity.

Interestingly, however, the avatar effect on motor imagery observed in the present experiment did not significantly increase with the required virtual gait distance, which would have been expected if our young adult participants' gait speed had been affected by body ownership of an elderly body. Indeed, if body ownership of elderly avatar reduced the mental gait speed, this reduction should have less impacted short virtual distances than long ones. Our results might indicate that the avatar effect was not due to the modulation of mental walking speed but to more specific processes such as longer time to stand up or the general ability to perform mental imagery. In addition, we found no significant relationship between the avatar effect and negative belief about gait speed. The lack of a difference in the avatar effect as a function of the walking distance suggests that the effect is more related to ability to perform transfers (sit-to-stand and stand-to-sit), turnings, and possibly gait initiation in the imagery task than to gait speed per se. Interestingly, our correlation analysis revealed a moderately strong relationship between the avatar effect and negative belief about balance; the more negative the belief about balance, the greater the avatar effect. These results support the hypothesis whereby the avatar effect in our imagery task was related to

balance or equilibrium physical abilities (involved in transfers, turns and gait initiation) rather than to gait speed per se. It must be noticed that our imagery task resembles a covert version of the overt “Up and Go” test (Podsiadlo & Richardson, 1991), widely used in clinical practice to obtain an assessment of balance deficits, that is, a measure of functional performance. Indeed, the “Up and Go” test measures the time taken by an elderly to stand up from his chair, walk a distance of 3 m at a comfortable and safe pace, turn, walk back to the chair, and sit down.

The Proteus effect, stereotype priming, and embodiment

As mentioned above, findings reporting behavioral changes following embodiment of an elderly avatar (Reinhard et al., 2019; Yoo et al., 2015) may reflect a priming effect, rather than the embodiment-specific effect that presumably operates during the Proteus effect. Indeed, the mere presentation of age-related stimuli (words, sentences, images, etc.) is enough to produce stereotype-consistent behaviors (such as slower gait, or worse performance in a basketball game) among young perceivers (Follenfant et al., 2005; Levy, 2009; Wheeler & Petty, 2001). Our virtual environment always contained an elderly avatar and a young avatar (only one of which was embodied at any given time)

together. Therefore, the avatar effect observed in the present study demonstrates that changes are not only related to the mere activation of elderly stereotypes but are also (at least to some extent) related to assimilation of the avatar’s physical attributes upon ownership. This interpretation is underpinned by the statistically significant relationship between the embodiment scores and the avatar effect. Indeed, the greater the embodiment of the elderly avatar, the greater the avatar effect on the imagery task.

Overall, our results support and extend previous demonstrations that the Proteus effect is not simply the consequence of a priming effect (due to mere exposure to the stereotype) but is at least partially embodiment-specific (Ash, 2016; Yee & Bailenson, 2007). It remains to be determined whether this type of embodiment-specific effect reflects self-perception (Yee & Bailenson, 2007), stereotype embodiment (Levy, 2009), an association between self-related and avatar-related schemas (Ratan et al., 2019) or yet another mechanism.

The Proteus effect on motor imagery and perception of the virtual environment

The embodiment of an elderly avatar in our experiment may have affected not only

the participants' mentally represented motor abilities but also the way they perceived their virtual environment. Indeed, it is thought that environment's physical properties (such as distance and height) are estimated on the basis of simulated actions in relation to the perceiver's action capabilities; the higher the physical cost, the greater the overestimation (Proffitt et al., 2003). For instance, wearing ankle weights or a backpack makes distances feel longer than they really are (Lessard et al., 2009; Lhuillier et al., 2018; Proffitt et al., 2003). Similarly, patients suffering from chronic pain while walking (Witt et al., 2009) and obese people (Sugovic et al., 2016) overestimate distances. In line with these data, it has been shown that age-related stereotypes prompt young adult participants to overestimate distances (Chambon, 2009), which might have occurred in our experiment. On the basis of mental chronometry, it would be difficult to tell whether embodiment of an elderly avatar affects the way participants perceive their environment and/or the speed of the simulated action in the motor imagery task. In any case, changes in physical activity in response to embodiment of an elderly avatar probably constituted the common underlying modulator of the way participants perceive

their environment and the way they behave in that environment. However, it must be born in mind that distance overestimation cannot solely account for the avatar effect observed in the present experiment because the effect was not modulated by the walking distance.

The Proteus effect, and real versus mentally represented physical activity

As shown by many researchers, there is a large degree of overlap between motor imagery and motor execution (Gerardin et al., 2000; Jeannerod, 1995; Kraeutner et al., 2014; Papaxanthis et al., 2002). The duration of an imagined action is close to that of actual action, and motor imagery and actual execution lead to activation of essentially the same areas of the brain (Gerardin et al., 2000; Kraeutner et al., 2014; Papaxanthis et al., 2002). Interestingly, the time taken to perform the imagery task in the present experiment was linearly proportional to the distance between the participant and the virtual chair. This relationship is consistent with the fact that covert movements have the same spatiotemporal characteristics and obey the same laws of movement control as the corresponding overt movements (Decety et al., 1989; Papaxanthis et al., 2002). The present study is the first to show that this is also true when the motor

imagery task is performed in a full virtual immersion condition. The strong linear relationship between the time taken to perform the imagery task and the distance of the virtual chair in the present experiment may be partly related to the fairly good kinesthetic movement imagery abilities of our participants. Indeed, their median score of 4.71 on the 7-point Likert scale of the movement imagery questionnaire is quite a good performance. However, it must be mentioned that only few participants scored above 6 ($n = 3$), i.e. showed high imagery abilities.

The avatar effect we observed on a covert action motor imagery task in the present study is in line with Reinhard et al. findings for a similar but overt (real) locomotor task. Using a real walking task, Reinhard et al. (2019) evidenced the impact of embodiment of an elderly body avatar on gait speed after the participants had left virtual reality. However, this effect was only apparent for the few first meters gait. Hence, only one trial could be performed after the embodiment phase. The rapid disappearance of the avatar effect during an overt locomotor task might well be the consequence of a discrepancy between sensory feedbacks and the estimated sensory consequences of motor action (see Miall & Wolpert, 1996 for a description of internal models of motor control). Indeed,

sensory feedback in response to an overt action would inform the young adult participant that his/her body behaves and provides feedback as one would expect from a young body rather than an old body. In addition, in Reinhard et al.'s study, virtual immersion was curtailed at the beginning of the walking task, which may have reduced the degree of “ownership” and thus the associated impact on behavior. Interestingly, the covert motor task we used in the present study enable researchers to examine the effect of avatar embodiment on represented physical activity in the absence of motor command and sensory feedback. In addition, it allows the experimenter to investigate the avatar's effect on represented physical activity while the participant remains virtually immersed—the ideal condition for maintaining or stabilizing the embodiment process—and gives the experimenter an opportunity to ask the participant to perform several trials in a row.

Another interesting difference between our study and Reinhard et al. experiment lies in the impact of embodiment on the avatar effect. It should be noted that Reinhard et al. did not observe a relationship between embodiment and the avatar effect (2019). However, the embodiment phase prior to the locomotion

task in their study was rather long (20 min on average), which led to a great degree of ownership ($M = 3.5$ on a Likert scale ranging from 1 to 5) and limited interindividual differences ($SD = 0.8$). In contrast, the embodiment phase in the present study was rather short (four 1-min periods) and led to a lower degree of ownership of the elderly body ($Mdn = 3.9$ on a 1-to-7 Likert scale) and greater interindividual differences ($SD = 1.3$). As suggested by Reinhard et al. and also Ash (2016), subjective body ownership may well influence the avatar effect most clearly in the form of a threshold at midlevel intensities; this threshold may have to be exceeded if avatar effects are to occur.

Limitations

The present study has a few methodological limitations that could have either reduced or amplified the expected avatar effect. In our study, only the forearm and head movements of the participants were tracked and coupled with the avatar. Given the morphological similarity between the biological and virtual bodies, the association of the avatar and participant's movements, 1 min of practice has been proved to be enough to give participants the illusion of ownership over the virtual body (Giroux et al., 2018;

Kalckert & Ehrsson, 2012; Kokkinara & Slater, 2014). A full body tracking might have been more effective, but forearm and head coupling was sufficient in our experiment to induce avatar's embodiment as evidenced by the scores on embodiment's questionnaires and the impact of virtual aging ("avatar effect") on motor imagery.

Another limitation is related to the fact that the experimenter was not blind to the avatar the participants' embodied. Because the imagery task performance was recorded manually by the experimenter, the possibility exists that an experimenter effect had influenced our results (Doyen et al., 2012). It is unlikely, however, that such an experimenter effect had been responsible for the avatar effect we obtained, because the latter was significantly correlated with both participants' stereotypical beliefs about physical abilities during aging and participant's embodiment scores, two measures collected from auto-questionnaires and unknown to the experimenter at the time the imagery task was carried out. Nevertheless, experimenters' expectations could have amplified the avatar effect, which deserves to be replicated using experimenter-blind designs in order to provide more accurate estimate of the avatar effect size.

Another limitation is related to our manipulation of the avatars' age. Aging is a complex phenomenon that encompasses multiple changes, many of which have repercussions on physical abilities (e.g., strength, muscular mass, posture). Because there is no single physical indicator of aging, our two avatars differed in many characteristics such as the presence of wrinkles, the hair color, but also the morphology, which can alter perceived athletic ability. Although we tried to make the two avatars as similar as possible on all characteristics that may have affected motor imagery performance (e.g., body mass index, size, facial expression as an indicator of motivation), the possibility exists that the avatar effect has been amplified by the incorporation of an avatar with lower perceived athletic ability in addition to the mere incorporation of an avatar with older age.

Additional limitations must be noted regarding the generalizability of our findings. Because our experiment only involved female participants, additional evidence obtained from male participants are needed. It is unlikely, however, that the avatar effect would be specific to women. Indeed, the stereotypical beliefs people possess regarding how physical abilities change during aging holds for both male and female targets, with no difference

between them (Lineweaver et al., 2017). In addition, previous studies have found no gender effect on kinesthetic imagery abilities such as imagined walking (Callow & Hardy, 2004; Schott, 2012) and, to our knowledge, no gender difference has been reported in avatar's embodiment.

Finally, because our experiment involved using just two experimental conditions (young and elderly self-avatars) with no control condition (no immersion in an avatar), the question arises as to whether the avatar effect on motor imagery performance is due to the debilitating effect of embodying an elderly avatar, the facilitating effect of embodying a young avatar, or both. One can expect the facilitating effect of embodying a young avatar to be minimal at most, however, because the participants were even younger than the age given to the young avatar. In addition, the avatar effect was correlated to the participants' embodiment scores with the elderly—and not the young—avatar. This is also in line with Reinhard et al. findings showing that their young participants' walking speed following embodiment of a young avatar was not significantly different from the walking speed of a control group with no immersion in virtual reality.

Conclusion

In summary, the present results showed that the mentally represented physical activities of young adults (as evaluated in a motor imagery task) change upon embodiment of an elderly avatar. This effect did not reflect the mere priming of age-related stereotypes, since young and elderly avatars were always present together in the study's virtual environment. The observed effect more

probably reflects assimilation of the avatar's physical attributes upon embodiment. In accordance with this interpretation, the participants who exhibited the strongest feeling of embodiment with the elderly self-avatar were those who experienced the strongest avatar effect on motor imagery task performance.

Acknowledgement We thank Dr David Fraser (Biotech Communication, Damery, France) for improving the manuscript's English.

Author contributions MB, JB, DL, PMS and MG participated in the conception and design of the study. MB, JB, DL, PMS and MG conducted the study. All the authors participated in the interpretation of the data and critically revised the manuscript before approving the final version.

Funding This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Compliance with ethical standards

Conflict of interest None of the authors have any conflicts of interests

References

- Ash, E. (2016). Priming or Proteus Effect?: Examining the Effects of Avatar Race on In-Game Behavior and Post-Play Aggressive Cognition and Affect in Video Games. *Games and Culture*, 11, 422-440. <https://doi.org/10.1177/1555412014568870>
- Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands 'feel' touch that eyes see. *Nature*, 391(6669), 756-756. <https://doi.org/10.1038/35784>
- Callow, N., & Hardy, L. (2004). The relationship between the use of kinaesthetic imagery and different visual imagery perspectives. *Journal of Sports Sciences*, 22(2), 167-177. <https://doi.org/10.1080/02640410310001641449>
- Chambon, M. (2009). Embodied perception with others' bodies in mind: Stereotype priming influence on the perception of spatial environment. *Journal of Experimental Social Psychology*, 45(1), 283-287. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2008.08.023>
- Decety, J., Jeannerod, M., & Prablanc, C. (1989). The timing of mentally represented actions. *Behavioural Brain Research*, 34(1-2), 35-42. [https://doi.org/10.1016/S0166-4328\(89\)80088-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4328(89)80088-9)
- Doyen, S., Klein, O., Pichon, C.-L., & Cleeremans, A. (2012). Behavioral priming: It's all in the

- mind, but whose mind? *PloS One*, 7(1), e29081.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029081>
- Follenfant, A., Légal, J.-B., Marie Dit Dinard, F., & Meyer, T. (2005). Effet de l'activation de stéréotypes sur le comportement: Une application en contexte sportif. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology*, 55(2), 121-129.
<https://doi.org/10.1016/j.erap.2005.02.002>
- Gerardin, E., Sirigu, A., Lehericy, S., Poline, J.-B., Gaymard, B., Marsault, C., Agid, Y., & Le Bihan, D. (2000). Partially Overlapping Neural Networks for Real and Imagined Hand Movements. *Cerebral Cortex*, 10(11), 1093-1104.
<https://doi.org/10.1093/cercor/10.11.1093>
- Giroux, M., Barra, J., Barraud, P.-A., Graff, C., & Guerraz, M. (2019). From Embodiment of a Point-Light Display in Virtual Reality to Perception of One's Own Movements. *Neuroscience*, 416, 30-40.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2019.07.043>
- Giroux, M., Barra, J., Zrelli, I.-E., Barraud, P.-A., Cian, C., & Guerraz, M. (2018). The respective contributions of visual and proprioceptive afferents to the mirror illusion in virtual reality. *PLOS ONE*, 13(8), e0203086.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203086>
- Gonzalez-Franco, M., & Peck, T. C. (2018). Avatar Embodiment. Towards a Standardized Questionnaire. *Frontiers in Robotics and AI*, 5.
<https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00074>
- Guegan, J., Buisine, S., Mantelet, F., Maranzana, N., & Segonds, F. (2016). Avatar-mediated creativity: When embodying inventors makes engineers more creative. *Computers in Human Behavior*, 61, 165-175.
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.03.024>
- Haans, A., Ijsselstein, W. A., & de Kort, Y. A. W. (2008). The effect of similarities in skin texture and hand shape on perceived ownership of a fake limb. *Body Image*, 5(4), 389-394.
<https://doi.org/10.1016/j.bodyim.2008.04.003>
- Hershfield, H. E., Goldstein, D. G., Sharpe, W. F., Fox, J., Yeykelis, L., Carstensen, L. L., & Bailenson, J. N. (2011). Increasing Saving Behavior Through Age-Progressed Renderings of the Future Self. *Journal of Marketing Research*, 48, S23-S37.
<https://doi.org/10.1509/jmkr.48.SPL.S23>
- JASP Team. (2018). JASP (0.9) [Logiciel].
<https://jasp-stats.org/2018/06/20/introducing-jasp-0-9/>
- Jeannerod, M. (1995). Mental imagery in the motor context. *Neuropsychologia*, 33(11), 1419-1432.
[https://doi.org/10.1016/0028-3932\(95\)00073-C](https://doi.org/10.1016/0028-3932(95)00073-C)
- Jeffreys, S. H. (1998). *The Theory of Probability (Third Edition, Third Edition)*. Oxford University Press.
- Kalckert, A., & Ehrsson, H. H. (2012). Moving a Rubber Hand that Feels Like Your Own: A Dissociation of Ownership and Agency. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00040>
- Kilteni, K., Maselli, A., Kording, K. P., & Slater, M. (2015). Over my fake body: Body ownership illusions for studying the multisensory basis of own-body perception. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9.
<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnhum.2015.00141>
- Kokkinara, E., & Slater, M. (2014). Measuring the Effects through Time of the Influence of Visuomotor and Visuotactile Synchronous Stimulation on a Virtual Body Ownership Illusion. *Perception*, 43(1), 43-58.
<https://doi.org/10.1068/p7545>
- Kraeutner, S., Gionfriddo, A., Bardouille, T., & Boe, S. (2014). Motor imagery-based brain activity parallels that of motor execution: Evidence from magnetic source imaging of cortical oscillations. *Brain Research*, 1588, 81-91.
<https://doi.org/10.1016/j.brainres.2014.09.001>

- Lee, J.-E. R., Nass, C. I., & Bailenson, J. N. (2014). Does the mask govern the mind? : Effects of arbitrary gender representation on quantitative task performance in avatar-represented virtual groups. *Cyberpsychology, Behavior and Social Networking*, 17(4), 248-254. <https://doi.org/10.1089/cyber.2013.0358>
- Lessard, D. A., Linkenauger, S. A., & Proffitt, D. R. (2009). Look before You Leap : Jumping Ability Affects Distance Perception. *Perception*, 38(12), 1863-1866. <https://doi.org/10.1068/p6509>
- Levy, B. (2009). Stereotype Embodiment : A Psychosocial Approach to Aging. *Current Directions in Psychological Science*, 18(6), 332-336. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2009.01662.x>
- Lhuillier, S., Gyselinck, V., Dutriaux, L., Grison, E., & Nicolas, S. (2018). "Like a ball and chain": Altering locomotion effort perception distorts spatial representations. *Journal of Environmental Psychology*, 60, 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2018.10.008>
- Lineweaver, T. T., Kugler, J., Rabellino, A., & Stephan, Y. (2017). Beliefs about age-related changes in physical functioning across the adult life span and their relationship with physical activity levels of older adults. *Aging, Neuropsychology and Cognition*, 25(4), 613-631. <https://doi.org/10.1080/13825585.2017.1356903>
- Lira, M., Egito, J. H., Dall'Agnol, P. A., Amodio, D. M., Gonçalves, Ó. F., & Boggio, P. S. (2017). The influence of skin colour on the experience of ownership in the rubber hand illusion. *Scientific Reports*, 7(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16137-3>
- Loison, B., Moussaddaq, A.-S., Cormier, J., Richard, I., Ferrapie, A.-L., Ramond, A., & Dinomais, M. (2013). Translation and validation of the French Movement Imagery Questionnaire – Revised Second version (MIQ-RS). *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 56(3), 157-173. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2013.01.001>
- Longo, M. R., Schüür, F., Kammers, M. P. M., Tsakiris, M., & Haggard, P. (2008). What is embodiment? A psychometric approach. *Cognition*, 107(3), 978-998. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2007.12.004>
- Maselli, A., & Slater, M. (2013). The building blocks of the full body ownership illusion. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2013.00083>
- Metral, M., Gonthier, C., Luyat, M., & Guerraz, M. (2017). Body Schema Illusions : A Study of the Link between the Rubber Hand and Kinesthetic Mirror Illusions through Individual Differences. *BioMed Research International*, 2017, 6937328. <https://doi.org/10.1155/2017/6937328>
- Metral, M., & Guerraz, M. (2019). Fake hand in movement : Visual motion cues from the rubber hand are processed for kinesthesia. *Consciousness and Cognition*, 73, 102761. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2019.05.009>
- Miall, R. C., & Wolpert, D. M. (1996). Forward Models for Physiological Motor Control. *Neural Networks*, 9(8), 1265-1279. [https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(96\)00035-4](https://doi.org/10.1016/S0893-6080(96)00035-4)
- Papaxanthis, C., Pozzo, T., Skoura, X., & Schieppati, M. (2002). Does order and timing in performance of imagined and actual movements affect the motor imagery process? The duration of walking and writing task. *Behavioural Brain Research*, 134(1), 209-215. [https://doi.org/10.1016/S0166-4328\(02\)00030-X](https://doi.org/10.1016/S0166-4328(02)00030-X)
- Peck, T. C., Seinfeld, S., Aglioti, S. M., & Slater, M. (2013). Putting yourself in the skin of a black avatar reduces implicit racial bias. *Consciousness and Cognition*, 22(3), 779-787. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2013.04.016>
- Peña, J., Hancock, J. T., & Merola, N. A. (2009). The Priming Effects of Avatars in Virtual Settings. *Communication Research*, 36(6), 838-856. <https://doi.org/10.1177/0093650209346802>

- Petkova, V., Khoshnevis, M., & Ehrsson, H. H. (2011). The Perspective Matters! Multisensory Integration in Ego-Centric Reference Frames Determines Full-Body Ownership. *Frontiers in Psychology*, 2, 35. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00035>
- Podsiadlo, D., & Richardson, S. (1991). The timed « Up & Go » : A test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American Geriatrics Society*, 39(2), 142-148. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1991.tb01616.x>
- Proffitt, D. R., Stefanucci, J., Banton, T., & Epstein, W. (2003). The role of effort in perceiving distance. *Psychological Science*, 14(2), 106-112. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.t01-1-01427>
- Ratan, R., Beyea, D., Li, B. J., & Graciano, L. (2019). Avatar characteristics induce users' behavioral conformity with small-to-medium effect sizes : A meta-analysis of the proteus effect. *Media Psychology*, 0(0), 1-25. <https://doi.org/10.1080/15213269.2019.1623698>
- Reinhard, R., Shah, K. G., Faust-Christmann, C. A., & Lachmann, T. (2019). Acting your avatar's age : Effects of virtual reality avatar embodiment on real life walking speed. *Media Psychology*, 1-23. <https://doi.org/10.1080/15213269.2019.1598435>
- Sah, Y. J., Ratan, R., Tsai, H.-Y. S., Peng, W., & Sarinopoulos, I. (2016). Are you what your avatar eats? Health-behavior effects of avatar-manifested self-concept. *Media Psychology*, 20(4), 632-657. <https://doi.org/10.1080/15213269.2016.1234397>
- Schott, N. (2012). Age-Related Differences in Motor Imagery: Working Memory as a Mediator. *Experimental Aging Research*, 38(5), 559-583. <https://doi.org/10.1080/0361073X.2012.726045>
- Slater, M., Spanlang, B., Sanchez-Vives, M. V., & Blanke, O. (2010). First Person Experience of Body Transfer in Virtual Reality. *PLoS ONE*, 5(5), e10564. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010564>
- Sugovic, M., Turk, P., & Witt, J. K. (2016). Perceived distance and obesity : It's what you weigh, not what you think. *Acta Psychologica*, 165, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2016.01.012>
- Tsakiris, M., Carpenter, L., James, D., & Fotopoulou, A. (2010). Hands only illusion : Multisensory integration elicits sense of ownership for body parts but not for non-corporeal objects. *Experimental Brain Research*, 204(3), 343-352. <https://doi.org/10.1007/s00221-009-2039-3>
- van der Hoort, B., Guterstam, A., & Ehrsson, H. H. (2011). Being Barbie : The Size of One's Own Body Determines the Perceived Size of the World. *PLOS ONE*, 6(5), e20195. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020195>
- Wagenmakers, E.-J., Love, J., Marsman, M., Jamil, T., Ly, A., Verhagen, J., Selker, R., Gronau, Q. F., Dropmann, D., Boutin, B., Meerhoff, F., Knight, P., Raj, A., van Kesteren, E.-J., van Doorn, J., Šmíra, M., Epskamp, S., Etz, A., Matzke, D., ... Morey, R. D. (2018). Bayesian inference for psychology. Part II : Example applications with JASP. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(1), 58-76. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1323-7>
- Wheeler, S. C., & Petty, R. E. (2001). The effects of stereotype activation on behavior : A review of possible mechanisms. *Psychological Bulletin*, 127(6), 797-826. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.127.6.797>
- Witt, J. K., Linkenauger, S. A., Bakdash, J. Z., Augustyn, J. S., Cook, A. J., & Proffitt, D. R. (2009). The Long Road of Pain : Chronic Pain Increases Perceived Distance. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Experimentation cerebrale*, 192(1), 145-148. <https://doi.org/10.1007/s00221-008-1594-3>
- Yee, N., & Bailenson, J. (2007). The Proteus Effect : The Effect of Transformed Self-Representation on Behavior. *Human*

Communication Research, 33(3), 271-290.
<https://doi.org/10.1111/j.1468-2958.2007.00299.x>

Yee, N., & Bailenson, J. (2006). Walk A Mile in Digital Shoes: The Impact of Embodied Perspective-Taking on The Reduction of Negative Stereotyping in Immersive Virtual Environments.

Yoo, S.-C., Peña, J., & Drumwright, M. E. (2015). Virtual shopping and unconscious persuasion: The priming effects of avatar age and consumers' age discrimination on purchasing and prosocial behaviors. Computers in Human Behavior, 48, 62-71.
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.01.042>



1.1.3. Récapitulatif de l'expérience



HYPOTHÈSE

Effet Proteus sur le comportement moteur en imagerie motrice :

L'incorporation d'un avatar âgé conduit à un ralentissement de la vitesse de marche en imagerie motrice comparativement à l'incorporation d'un avatar jeune.



MÉTHODOLOGIE

52 femmes (Age : $M = 21.1$, $SD = 6.3$)

Design expérimental intra-sujet: 2 sessions (incorporation avatar âgé vs jeune)

- Questionnaire d'imagerie motrice (Loison et al., 2013)
 - Session 1 uniquement
- Equipement (Figure 1)
 - Casque de réalité virtuelle (Oculus Rift, Meta, US)
 - Capteurs de mouvements sur les poignets (Liberty™, Polhemus, US)
- Phase d'incorporation de l'avatar âgé vs jeune (Figure 2)
 - 1 minute
 - Perspective à la première personne
 - Couplage visuo-proprioceptif synchrone
- Tâche d'imagerie motrice (Figure 3)
 - Simulation mentale du déplacement (lever, marche, assise)
 - 5 distances
 - Enregistrement du temps de déplacement
- Questionnaire d'incorporation de l'avatar (adapté de Gonzalez-Franco & Peck, 2018)
- Estimation de l'âge des avatars
- Questionnaire des croyances sur le fonctionnement physique avec l'avancée en âge (adapté de Lineweaver et al., 2017)
 - Session 2 uniquement



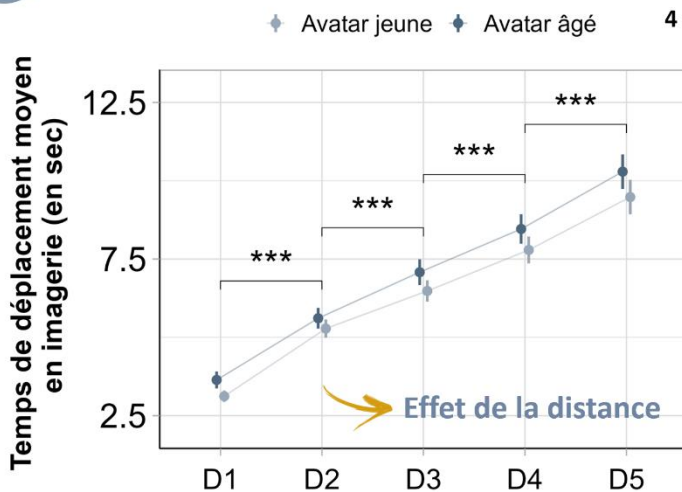
Figure représentant l'environnement réel



Figure représentant l'environnement virtuel



RÉSULTATS

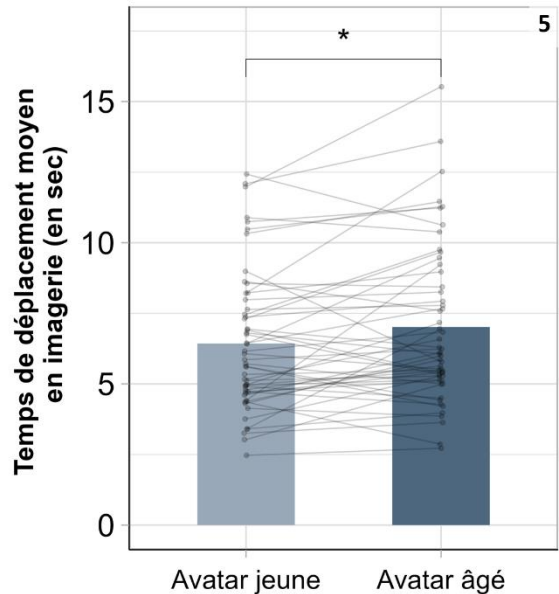


Temps de déplacement en imagerie motrice :

- Effet de la distance ($BF_{incl} = 6.01^{e+15}$; Figure 4)
- Effet de l'avatar ($BF_{incl} = 1659.7$; Figure 5)

Corrélation entre l'effet de l'avatar sur le temps de déplacement en imagerie motrice et :

- Le score d'incorporation de l'avatar âgé ($r_s = .36$, $p = .008$)
- Le degré d'adhésion aux stéréotypes du vieillissement relatifs aux capacités d'équilibre ($r_s = -.34$, $p = .014$)



Effet Proteus

1.1.4 Conclusion

Conformément à l'hypothèse, les participantes ont mis en moyenne plus de temps à réaliser les déplacements en imagerie motrice lors de l'incorporation de l'avatar âgé plutôt que jeune, démontrant l'existence d'un effet Proteus sur le comportement en imagerie motrice. De plus, le phénomène était corrélé à l'intensité de l'illusion d'incorporation de l'avatar âgé, ainsi qu'au degré d'adhésion aux stéréotypes relatifs aux capacités d'équilibre des adultes âgés.

L'effet Proteus observé ici sur la vitesse de marche en imagerie motrice est conforme au ralentissement de la vitesse de navigation dans un environnement virtuel (Yoo et al., 2015) ainsi que de la vitesse de marche réelle (Reinhard et al., 2019) observé en situation d'incorporation d'un avatar âgé comparativement à jeune. De récentes études apportent également des arguments en faveur de l'apparition d'un effet Proteus sur le comportement moteur lors de l'incorporation d'un avatar âgé. Une analyse par apprentissage supervisé des signaux moteurs enregistrés chez des participants indique que ces derniers présentent des patterns de mouvements plus actifs et plus mobiles lors de l'incorporation d'un avatar jeune plutôt qu'âgé (Vogel et al., 2022). Une expérience menée auprès de jeunes adultes démontre que la force de préhension diminue consécutivement à l'incorporation d'un avatar âgé comparativement à jeune (Vahle & Tomasik, 2022). Toutefois, il convient de préciser que cet effet de l'avatar n'était observé que lors du premier des trois essais d'évaluation de la force de préhension, et n'apparaissait pas sur la tâche d'endurance réalisée ensuite. Si les auteurs interprètent cette disparition de l'effet Proteus par l'adoption « d'une stratégie d'économie des efforts pour éviter l'épuisement prématuré des ressources » (p. 8) après avoir fait l'expérience du vieillissement au travers de l'incorporation de l'avatar âgé, elle pourrait également s'expliquer par les retours sensoriels issus de la réalisation effective des tâches motrices. Comme suggéré pour expliquer la disparition rapide de l'effet Proteus sur la vitesse de marche réelle dans l'expérience de Reinhard et collaborateurs (2019), les afférences issues des mouvements effectués par les participants sont susceptibles d'altérer le sentiment d'incorporation de l'avatar en raison de leur incongruence avec les signaux sensoriels prédits lors de l'incorporation d'un avatar âgé, par exemple (Miall & Wolpert, 1996 ; voir *Chapitre IV. Partie 2.2.1.*). Pris ensemble, les résultats issus des études de Reinhard et collaborateurs (2019) et de Vahle & Tomasik (2022) attestent de l'impact des caractéristiques de l'avatar incorporé sur le fonctionnement moteur, mais soutiennent également l'utilisation d'une tâche d'imagerie motrice, qui n'occasionne pas (ou

peu), par nature, d'afférences incongruentes avec les caractéristiques motrices de l'avatar incorporé.

En résumé, l'étude 1 a mis en évidence un effet Proteus sur le comportement en imagerie motrice lors de l'incorporation d'un avatar âgé en réalité virtuelle. Dans le but de confirmer la pertinence du protocole pour poursuivre l'étude de l'effet Proteus, il était nécessaire de généraliser les résultats obtenus à d'autres contextes, tels que l'incorporation d'autres avatars associés à des stéréotypes relatifs aux performances motrices. L'étude a ainsi fait l'objet d'une réplique conceptuelle.

1.2. Stéréotypes relatifs aux performances motrices des personnes obèses

Etude 2

1.2.1 Introduction

Cette étude s'est inscrite dans l'objectif de valider le protocole d'étude de l'effet Proteus sur le comportement en imagerie motrice, dans un nouveau contexte d'incorporation. Elle visait à investiguer l'effet de l'incorporation d'un avatar obèse comparativement à un avatar normo-pondéré sur le comportement en imagerie motrice. La réplique du protocole dans le contexte d'incorporation d'un avatar obèse repose sur l'existence de stéréotypes négatifs ciblant les performances physiques des personnes obèses (Greenleaf & Weiller, 2005). Il est important de noter qu'à l'instar d'un avatar âgé, il est possible d'induire une illusion d'incorporation pour un corps plus gros que le corps réel (Normand et al., 2011; Piryankova et al., 2014; Porras Garcia et al., 2019; Rubo & Gamer, 2019; Verhulst et al., 2018). Toutefois, si de précédentes études apportent des éléments en faveur d'un effet Proteus sur le niveau d'activité physique lors de l'utilisation d'un avatar en surpoids plutôt que normo-pondéré, les résultats expérimentaux restent peu consistants (Joo & Kim, 2017; Li et al., 2014; Peña et al., 2016; Peña & Kim, 2014). Ces inconsistances pourraient être expliquées par l'utilisation de technologies non immersives, l'intervention de facteurs additionnels (e.g., comparaison sociale), ainsi que la présence d'afférences, susceptibles de parasiter l'incorporation de l'avatar et/ou l'apparition de l'effet Proteus (voir *Chapitre IV. Partie 2.2.1.*). En conséquence, le protocole expérimental de l'étude

Il apparaissait pertinent pour proposer l'incorporation d'un avatar en réalité virtuelle et l'appréciation du comportement moteur au travers d'une tâche de marche en imagerie motrice.

Conformément aux prédictions de l'effet Proteus, **il était attendu que l'incorporation d'un avatar obèse conduise à un ralentissement du comportement en imagerie motrice comparativement à l'incorporation d'un avatar normo-pondéré.**

1.2.2 *Expérience*

Note. Etude publiée : Dupraz, L., Barra, J., Beaudoin, M., & Guerraz, M. (2023). Impact of an overweight body representation in virtual reality on locomotion in a motor imagery task. *Psychological Research*, 87(2), 462-473. <https://doi.org/10.1007/s00426-022-01675-x>

Impact of an overweight body representation in virtual reality on locomotion in a motor imagery task

Louise Dupraz¹, Julien Barra¹, Marine Beaudoin², Michel Guerraz^{1*}

¹University of Grenoble Alpes, University of Savoie Mont Blanc, LIP\PC2S, 38000 Grenoble, France

²University of Grenoble Alpes, University of Savoie Mont Blanc, CNRS, LPNC, 38000 Grenoble, France

Abstract

Virtual reality immersion enables a person to embody avatars that strongly deviate from his/her biological body. Interestingly, the person's expectations about the embodied avatar lead to congruous behavior, phenomenon referred to as the Proteus effect. The objective of the present study was to investigate, in virtual reality, the relationship between body-shape representation and expected physical abilities in a locomotor imagery task, in the context of overweight avatar embodiment. Given the negative stereotypes concerning overweight people's physical abilities, we expected overweight avatar embodiment to have a negative impact on performance in the locomotor imagery task. Thirty-five healthy-weight participants, with a body mass index between 16.5 and 30 at the time of the experiment or in the past, embodied both a healthy-weight avatar and an overweight avatar on two different experimental sessions while performing the imagery task (walking four different distances on two different slopes). In accordance with our hypothesis, participants took longer to perform the locomotor imagery task when embodying an overweight avatar than when embodying a healthy-weight one (the "avatar effect") – especially so when the distance to be covered was long. We conclude that, as has already been reported for people with anorexia nervosa, considering one's own body to be fatter than it really is leads to congruent weight-related behavior.

²Received: 2 September 2021 / Accepted: 10 March 2022 / Published: 25 March 2022

*Corresponding author: michel.guerraz@univ-smb.fr

Introduction

Body motion and meaningful interaction with the environment require a functional internal representation of the body. In order to anticipate and optimize biomechanical and energetic constraints of an action, the body representation must include morphological elements like limb length, body shape and even bodyweight. A large body of literature data shows that this body representation is very plastic. This plasticity is important because it notably helps the person to adapt to the succession of morphological and physical changes that occur with age or in the event of physical injury (Barra et al., 2020). Hence, in most circumstances, this plasticity allows individuals to interact in an optimal way with the world around them.

Under some circumstances, however, the body representation deviates strongly from the owner's biological (true) body and thus influences meaningful interactions with the environment. For example, people with anorexia nervosa feel fatter than they really are and turn their shoulders more than is necessary during a locomotor task in which they have to pass through an aperture (Keizer et al., 2013; Metral et al., 2014). Similarly, massive body weight loss may prompt

patients to feel fatter than they really are and to behave accordingly in motor or locomotor tasks involving body representation (Guardia et al., 2013). In these situations at least, it is clear that motor behavior is coherent with an individual's representation of his/her body.

Deviation from the true body representation also occurs in virtual reality. Indeed, immersion in virtual reality enables experimental manipulation of the body representation and can thereby induce changes in motor behavior. For instance, the incorporation of a Godzilla-like avatar has an impact on locomotor variables (such as step length and step frequency), relative to a similarly-scaled human avatar (Charbonneau et al., 2017). Furthermore, even subtle visual manipulation of the avatar can have a profound impact on the avatar's expected physical abilities (strength, velocity, balance ability, motor skills, etc.). This is notably the case for age-related changes in the avatar's face, hair and skin (e.g., wrinkles, white hair, blotchy skin, sagging facial features, etc.).

Indeed, embodying an elderly avatar can change a young participant's locomotor parameters (e.g., a slowing in gait speed; Reinhard et al., 2019). Conversely,

embodying an avatar with good expected physical abilities (e.g., an especially muscular avatar) increases the grip strength (Kocur, Kloss, et al., 2020). Interestingly, virtual deviations of the body representation from the owner's biological body parts also impact simulated (covert) movements as they do impact real (overt) movements. For example, embodying an avatar with legs that are either longer or shorter than the participant's legs (Tosi et al., 2020) or an avatar that is elderly (Beaudoin et al., 2020), affected the time spent moving around in a locomotor imagery task. The similar effects of body representation on motor execution and motor imagery might be explained by broad overlap between the neural networks involved in overt and covert movements (Jeannerod, 1995; Lotze & Halsband, 2006; Saimpont et al., 2012). Taken as a whole, these research findings confirm that the way we perceive our body has a strong impact on the way we act and imagine ourselves moving around in our environment. In other words, seeing oneself as being fatter, older or larger than one really is can affect motor and imagery tasks in congruent ways.

The relationship between expectations, stereotypes, and knowledge about virtual self-representation on the one hand and behavioral modifications on the other has

been described as the "Proteus effect" (Yee & Bailenson, 2007). Yee & Bailenson (2007) drew a parallel between the Proteus effect and self-perception theory (i.e., observing one's own behavior to infer one's own attitudes; Bem, 1972). Accordingly, an individual might observe his/her self-avatar and conform to the expectations attached to the avatar's identity cues (Yee & Bailenson, 2007). Another theory has been proposed to explain the Proteus effect as the result of the avatar's characteristics priming (Peña et al., 2009). In this respect, the activation of prime-related stereotypes would increase (or decrease) the likelihood to behave consistently (or inconsistently) with expectations related to avatars' characteristics (Bargh et al., 1996; Dijksterhuis & van Knippenberg, 1996). Although more investigations are still needed to better understand the mechanisms underlying the Proteus effect, Yee & Bailenson (2009) demonstrated that embodying an avatar that is presented as the virtual self-representation leads to a Proteus effect, what is not the case when the avatar is presented as the virtual representation of someone else. This observation is more in favor of the self-perception theory than the priming effect theory in that it corroborates the need to experience the avatar as one's (virtual) self

for the Proteus effect to occur. Hence, virtual reality appears to be a highly relevant tool for investigating the Proteus effect. Indeed, immersion in a virtual body is likely to elicit a strong sense of embodiment (“the sense that emerges when B [full body or body part]’s properties are processed as if they were the properties of one’s own biological body”; de Vignemont, 2011; Kilteni et al., 2012). Moreover, the embodiment, and other factors such as user control over the avatar, avatar customization or gender consistency, for example, promote avatar-user closeness (i.e., the extent to which the user feels close to the avatar), what is likely to enhance the Proteus effect (Ratan et al., 2019).

The objective of the present study was to further investigate in virtual reality the relationship between body representation, expected physical abilities, and body action in the specific context of overweight body representation. Overweight people are targeted by negative stereotypes about physical abilities (endurance, sporting skills, etc.; see Greenleaf & Weiller, 2005). In turn, these negative stereotypes are likely to lead to a Proteus effect (i.e., poor motor performance with an overweight self-avatar). Very few studies have manipulated the body shape of the avatar used during or just before a measure of

physical performance, and the few published results are inconsistent. In line with the expected Proteus effect, overweight children took less time to complete a running exergame (i.e., a physical exercise-based video game) when using a healthy-weight avatar than when using an overweight avatar (Li et al., 2014). However, similar studies of healthy-weight participants using overweight avatars gave inconsistent results, with a decrease (relative to a healthy-weight avatar) in waist activity, but not in wrist activity, among women (Peña & Kim, 2014) and the reverse among men (Peña et al., 2016). Moreover, Joo & Kim (2017) did not observe any effect of the avatar’s body shape on post-game physical performances. These inconsistencies might stem from various methodological limitations. Firstly, the participants might have had difficulties identifying themselves with their avatar because of the non-immersive technology used. Secondly, the biomechanical feedback during the physical task (e.g., sensations of movement, effort, strength) are inconsistent with the estimated sensory consequences of the motor action when using an avatar with a different body shape (see the forward model for physiological motor control of Miall & Wolpert, 1996). For example, perceiving one’s own body as

overweight through the use of an avatar would trigger sensory expectations during movement that would correspond to that overweight body (e.g., sensations of difficulty in moving). However, the actual sensory feedback received from the healthy-weight biological body in motion (e.g., sensations of ease in performing movements) would contradict these sensory expectations. This inconsistency between sensory expectations and actual sensations might have counteracted the effects of an overweight body self-representation. Last, the few studies to have demonstrated a body size effect on behavior measured physical ability as a physical challenge in exergames (Li et al., 2014; Peña et al., 2016; Peña & Kim, 2014); this probably involved other phenomena in addition to the Proteus effect (e.g., success motivation)—especially when the situation involved a social comparison (e.g., a game of tennis against a virtual opponent whose morphology was also being manipulated; (Peña et al., 2016; Peña & Kim, 2014).

In order to overcome the above-mentioned methodological limitations, we used a virtual reality immersion paradigm that maximized the sense of embodiment (and thus increased user-avatar closeness) by enhancing the sense of possession, control, and location within the self-avatar (Kilteni,

Groten, et al., 2012). Furthermore, and in order to avoid sensory feedback and investigate simulated movements as faithfully as possible, we used a motor imagery task rather than a real motor task. This contrasted with the physical task used in most exergames, which only partially represent the motor action (e.g., moving remotes with the arms to simulate a running task; Li et al., 2014). Lastly, in order to focus on the specific link between overweight body representation and motor action, we investigated motor performance in a non-competitive context. In summary, we studied the impact of embodying an overweight avatar by healthy-weight participants on a locomotor imagery task. We expected the participants to take longer to mentally cover distances when embodied in an overweight avatar than when embodied in a healthy-weight avatar (i.e., an “avatar effect”).

Methods

Participants

As the avatars used in the present study were females, only female participants were recruited (N = 38). The power analysis based on the lower value of the 95% confidence interval of the Proteus effect meta-analytic effect size recommended a minimal sample size of 14

participants (Ratan et al., 2019). None of the participants had a history of visual, proprioceptive or neuromuscular disorders. Participants who were severely underweighted (body mass index [BMI] < 16.5) or obese (BMI > 30) at the time of the experiment or in the past were excluded from the statistical analysis. Three participants reported severe underweight in the past which brought the sample size to 35 participants for the statistical analysis. The participants' characteristics

including their kinesthetic imagery abilities, as evaluated by the Movement Imagery Questionnaire revised second version (MIQ-RS; Loison et al., 2013) are summarized in Table 1. The study was performed in accordance with the ethical standards laid down in the 1964 Declaration of Helsinki and was approved by an institutional review board (USMB-CER_2020_7). All included individuals provided their written, informed consent to participation in the research.

	Age	Actual BMI	Minimal BMI	Maximal BMI	MIQ score
Mean (standard deviation)	19.9 (1.9)	21.2 (2.3)	19.5 (1.9)	22.4 (2.6)	4.4 (1.3)
Median	19	20.7	18.9	22.3	4.4
Min	18	17.8	16.5	18.3	1.6
Max	27	26.4	23.4	28.3	6.7

Table 1 Mean (standard deviation), median, minimum and maximum values of the 35 participants' age, actual BMI (in kg/m²), minimum and maximum adulthood BMIs, and kinesthetic imagery abilities.

Materials

Virtual environment and avatars

The virtual reality head-mounted display (Oculus Quest 2; Irvine, CA, USA) featured real-time tracking of the head's position and orientation. The scenario was developed using Unity software (Unity

Technologies USA). Avatars of an overweight woman and a healthy-weight woman were created (with MakeHuman™ and Blender). The BMI attributed by the participants to the overweight avatar (M = 46.8, SD = 9.3) was much higher than that attributed to the healthy-weight avatar (M = 18.2, SD = 2.0). The participants tended

to attribute a slightly higher BMI to both avatars following the embodiment of the overweight avatar than following the embodiment of the healthy-weight avatar (with a difference of 4.7 units for the overweight avatar and 2.6 units for the healthy-weight avatar). The two avatars were always present together in the virtual environment. The self-avatar (either overweight or healthy-weight) was embodied, whereas the other-avatar remained static and seated beside the self-avatar. The self-avatar's body was seen from a first-person perspective but was also visible in a virtual mirror facing the participant. Displacements of the self-avatar's forearms were driven in real time by the displacements of the participant's forearms, as sensed by an electromagnetic motion capture system (Liberty™, Polhemus, USA) at a frequency of 240 Hz.

Participants were asked to keep their hands on computer mice that were also represented in the virtual environment. The other-avatar could be seen (i) to the side, when the participant turned her head to the left, and (ii) in the virtual mirror.

The virtual environment consisted of a three-dimensional room (Fig. 1). The participant sat facing the virtual mirror, with her elbows on armrests. On the right side of the self-avatar was a virtual room extension that could be seen by the participant when she turned her head. A virtual white line was located randomly at four distances along this room extension (with equal virtual distances between the different depths). This room extension could be either horizontal or sloping (15°) and could be closed off by a virtual black curtain.

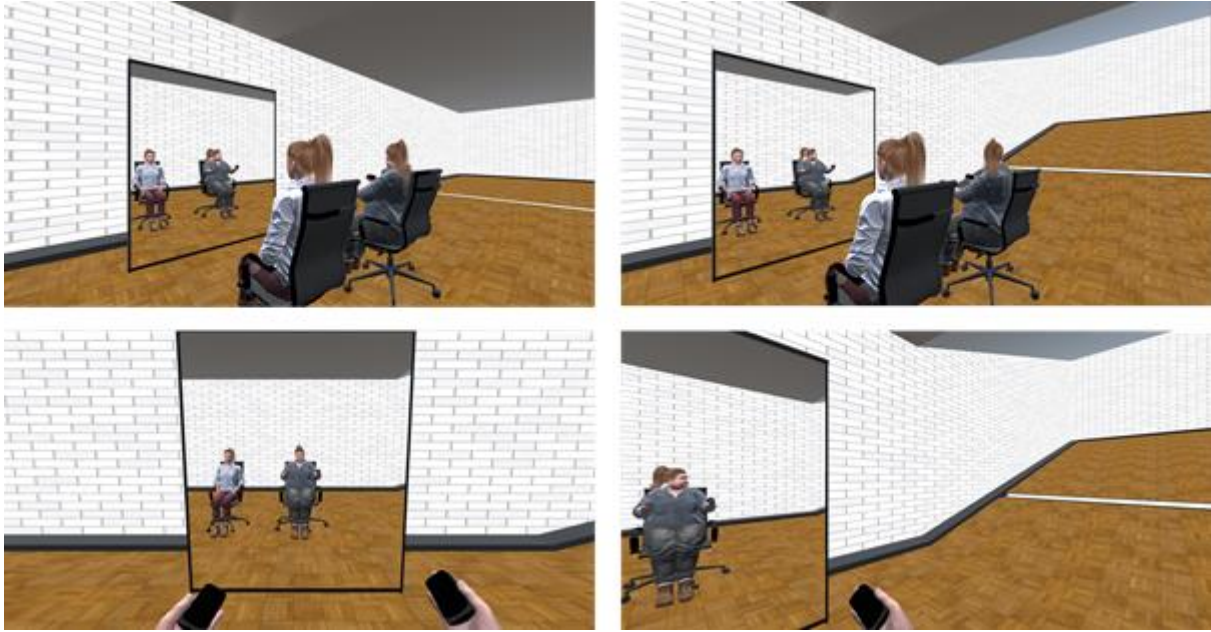


Fig. 1 The top panels depict the overview of the virtual environment in the overweight self-avatar condition for distance 2 of the motor imagery task. Top left panel: the room extension with a horizontal floor. Top right panel: the room extension with a sloping floor. The lower panels depict the first-person perspective of the participant while embodying an overweight avatar during the avatar embodiment phase (bottom left panel) and during the motor imagery task (bottom right panel).

Questionnaires

The embodiment questionnaire (EQ): We administered the Gonzalez-Franco & Peck's EQ (2018). The following subcomponents of self-avatar embodiment (see Supplementary Material A) were assessed: body ownership (i.e., the feeling that the avatar's body is one's own; items 2, 3, 9, 12, and 13), agency (i.e., the feeling that one can control the avatar's body as one's own, items 1, 5, 7, and 8), self-location (i.e., the volume in space where one feels to be located; items 14 and 15), and external appearance (items 4, 6, 10, and 11). Each item was scored on a

seven-point Likert scale ranging from -3 (strongly disagree) to 3 (strongly agree). Subcomponent scores and total embodiment scores were computed for each embodied avatar, according to the equation published by Gonzalez-Franco and Peck (with items 2, 3, 5, 12 and 15 reversed; see the Supplementary Table A for Cronbach's alphas). A higher score indicated a stronger sense of embodiment.

Adaptation of the General Beliefs about Physical Functioning instrument: The questionnaire used in the present study was based on the inventory developed by Lineweaver et al. (2017; see

Supplementary Material B). The questionnaire evaluated beliefs about the extent to which either a healthy-weight person (BMI = 21.55) or an obese person (BMI = 53.21) depicted in the database of computer-generated pictures of female bodies (Moussally et al., 2017) possessed five different physical abilities (effort resistance, gait speed, agility, static balance and dynamic balance). The beliefs were rated on a visual analog scale (vertical lines of 10 cm in length) going from very low to very high ability and presented on an A4 sheet. The physical functioning belief scores were computed for each ability and each depicted body. Moreover, stereotype scores about physical abilities of obese people were calculated for each physical ability by subtracting the level of ability assigned to the obese person from the level of ability assigned to the healthy-weight person.

The database of body-only computer-generated pictures of women: The database generated 61 photorealistic female bodies, the BMI of which ranged from 13.19 to 120.29 (Moussally et al., 2017). Each body-picture was presented on a A4 sheet from the thinnest body to the fattiest body. Each participant was asked to indicate which of the female bodies corresponded to that of the self-avatar and which corresponded to

the other-avatar; the corresponding BMIs were then recorded.

The MIQ-RS: The questionnaire included the seven kinesthetic motor imagery items of the MIQ-RS (Loison et al., 2013; see Supplementary Material C). The items required the execution of a motor action, followed by the kinesthetic motor imagery of that action. Each item was scored on a seven-point Likert scale ranging from 1 (very difficult) to 7 (very easy). Higher scores corresponded to stronger kinesthetic motor imagery abilities ($\alpha = 0.90$).

Procedure

Each participant took part in two experimental sessions during the same week but at least one day apart, one with a healthy-weight self-avatar and the other featured an overweight self-avatar, in a counterbalanced order.

Time sequence of the procedure (Fig. 2A)

At the beginning of the first experimental session, the participants filled out the MIQ-RS. Next, participants embodied the self-avatar (either the overweight one or the healthy-weight one, in a counterbalanced order) and performed the motor imagery task. Once the experimental trials had been completed, the sloping floor was presented

again and participants were asked to estimate the slope of the floor by holding their forearm at the same angle to the horizontal. Two estimation trials were performed, and responses were recorded with the motion tracking system placed on participants' wrist. Once the participants had left the virtual environment, they filled out the EQ and then had to estimate the respective BMIs of the self-avatar and the other-avatar. The embodiment, imagery trials, EQ administration, slope estimation, and BMI estimations were performed during each experimental session (i.e., once with the healthy-weight self-avatar and once with the overweight self-avatar). At the end of the second session, the participant filled out the stereotype questionnaire.

The avatar embodiment phase

While wearing the head-mounted display, the participant sat with her elbows on armrests and could move her head freely to explore the virtual bodies (the self-avatar and the other-avatar) and the virtual environment. During a one-minute embodiment phase, the participants performed alternating phase and antiphase forearm movements with an angular amplitude of $\sim 45^\circ$ and in time with a metronome set to 30 beats per minute. The self-avatar faithfully

reproduced the participant's head and forearm movements. This embodiment phase was repeated before each block of the motor imagery trials.

The motor imagery task

Once the embodiment phase had been completed, the participant was required to mentally represent herself standing up from her seat, walking along the room extension, and stopping when her two feet were over the distant virtual white line drawn on the floor of the room extension to the right. At the start of each trial, the participant had to look at the virtual white line. When the participant was ready to perform the trial, she was required to close her eyes, press the computer mouse's scroll wheel and start the imagery task. When the participant had imagined herself reaching the distant virtual line, she was required to press the scroll wheel again. At that point, the trial was over. A virtual curtain appeared as soon as the scroll wheel was first pressed and disappeared when it was pressed again (see Fig. 2B). The time (in ms) between the two clicks on the scroll wheel was recorded as the criterion for motor imagery performance. At the end of each trial, participants were required to turn their head left and look in the mirror until another white line was set up and announced by the experimenter.

The motor imagery task started with two training trials, which were followed by four blocks of eight motor imagery trials (4 randomized trials for each of the four distances, once with a horizontal floor and once with a sloping floor in a counterbalanced order). The scores for

each distance (distance 1 to distance 4) and each slope (horizontal vs. sloping) were averaged prior to analysis. In total, there were 32 trials with the healthy-weight self-avatar and 32 with the overweight self-avatar.

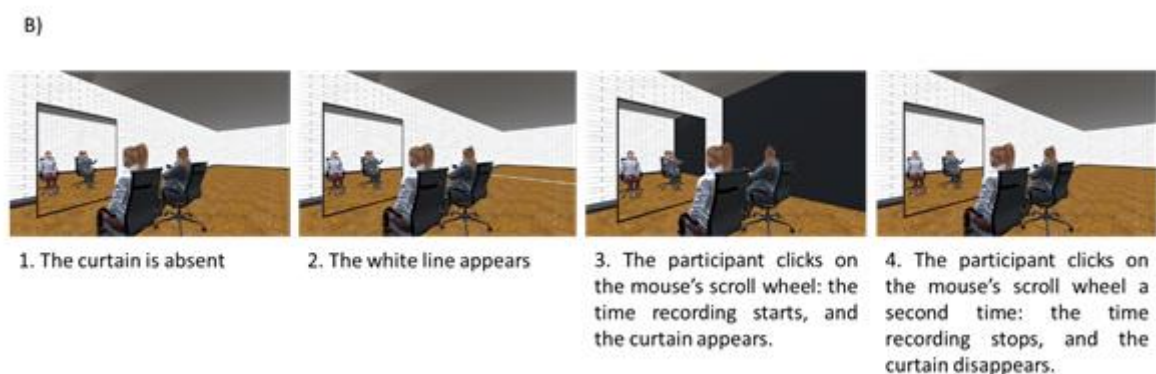
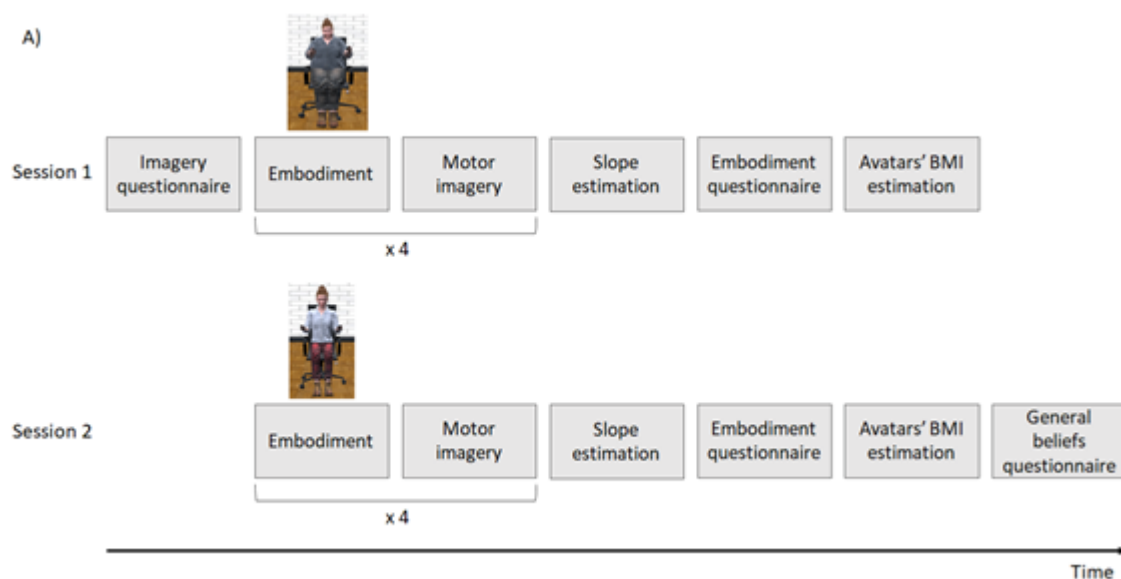


Fig. 2 **A** The experiment's time sequence for a given participant, with an overweight self-avatar in session 1 and a healthy-weight self-avatar in session 2. **B** The virtual environment and the time sequence in the motor imagery trials, with an overweight self-avatar, the white line in the second closest position, and a horizontal floor.

Statistical analysis

Motor imagery data was analyzed using a $2 \times 2 \times 4$ (avatar, slope, distance) repeated measures analysis of variance (ANOVA; see Supplementary Table B for the mean scores). Huynh–Feldt’s correction was applied for sphericity violations (corrected *p*-values are presented), and Holm’s correction was applied for multiple post-hoc comparisons. Data on beliefs about physical functioning and slope estimations were analyzed using parametric statistics (*t*-tests) for normal distributions or, in other cases, non-parametric statistics (Wilcoxon’s test). The embodiment scores required non-parametric statistical analysis because they were discontinuous (Gonzalez-Franco & Peck, 2018). The strength of the putative relationships between the avatar effect and the embodiment score and between the avatar effect and stereotypes was investigated by calculating Spearman’s correlation coefficients (*r*s).

Results

Motor imagery performance

The ANOVA revealed a statistical effect of “avatar”, $F(1, 34) = 12.16$, $p = 0.001$, $\eta^2 p = 0.26$. Indeed, when the two slopes and the four distances were pooled, the mean time

was 0.82 s shorter with healthy-weight self-avatar ($M = 5.57$, $SD = 1.70$) than with the overweight self-avatar ($M = 6.39$, $SD = 2.48$). The effect of “distance” was also significant: the longer the distance, the more time was needed to travel this distance, $F(3, 102) = 291.75$, $p < 0.001$, $\eta^2 p = 0.90$. Furthermore, the difference between the healthy-weight self-avatar and the overweight self-avatar increased as the distance increased, from 0.35 s for distance 1 to 1.30 s for distance 4, $F(3, 102) = 11.99$, $p < 0.001$, $\eta^2 p = 0.26$ (see Fig. 3). The ANOVA revealed a statistical effect of “slope”, $F(1, 34) = 8.05$, $p = 0.008$, $\eta^2 p = 0.19$, and an interaction with the distance factor, $F(3, 102) = 16.35$, $p < 0.001$, $\eta^2 p = 0.32$. Indeed, the mean time was longer for the sloping surface than for the horizontal one for distances 3 and 4 only (p s < 0.001). None of the other interactions were statistically significant (p s > 0.514).

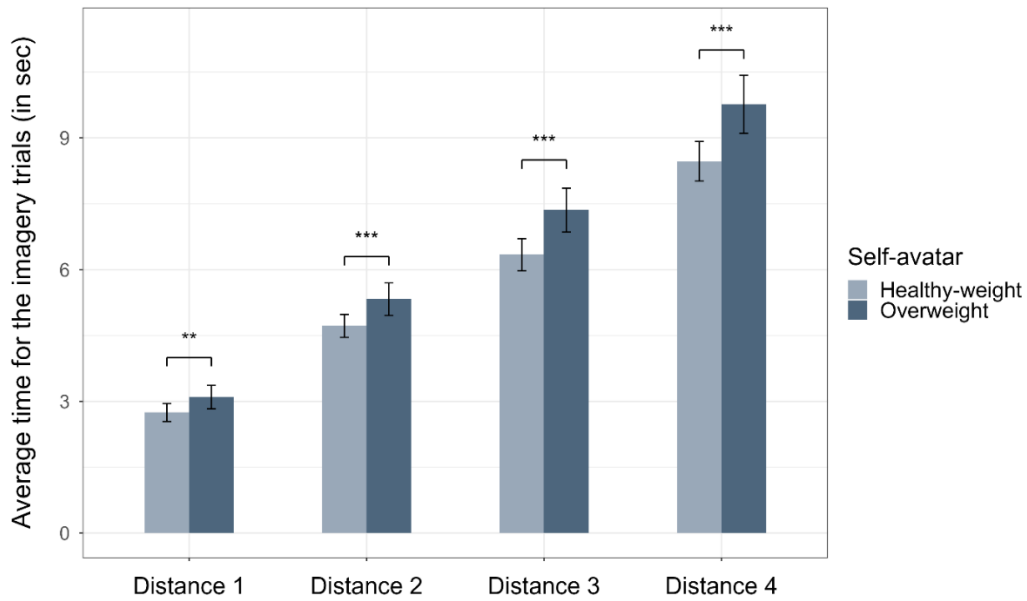


Fig. 3 The mean time needed to complete the motor imagery task, as a function of the distance walked (distances 1 to 4) and the self-avatar (healthy-weight vs. overweight). The error bars correspond to the standard error of the mean. Note: ** $p < 0.01$. *** $p < 0.001$

Questionnaire data

The embodiment scores

The mean overall embodiment score (computed from the subcomponent scores: body ownership, agency, appearance, and self-location) was slightly but significantly higher after virtual immersion with the healthy-weight self-avatar ($M = 0.70$, $SD = 0.64$) than with the

overweight self-avatar ($M = 0.29$, $SD = 0.67$; $V = 127.5$, $p = 0.002$). When considering the subcomponents, statistically significant differences between the two self-avatars were observed for “agency” ($V = 116$, $p = 0.048$), “self-location” ($V = 84$, $p = 0.011$), and “ownership” ($V = 149.5$, $p = 0.033$), but not for “appearance” ($V = 155.5$, $p = 0.114$; see Fig. 4).

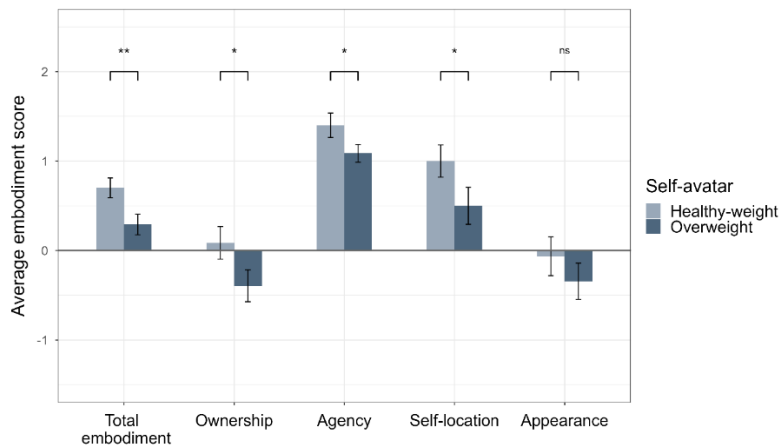


Fig. 4 Mean total embodiment scores and the subcomponent scores (body ownership, agency, self-location, and external appearance) for the overweight self-avatar vs. the healthy-weight self-avatar. The error bars correspond to the standard error of the mean. Note: ns $p > 0.05$, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Beliefs about physical functioning instrument

lower in obese people than in healthy-weight people (see Table 2).

As expected, the participants considered that physical ability (of whatever type) was

	Stereotype score	Healthy-weight people	Obese people	Healthy-weight vs obese
Effort resistance	4.81 (2.11)	7.19 (1.19)	2.37 (1.37)	$V = 0, p < .001$
Gait speed	4.73 (2.10)	7.71 (1.20)	2.98 (1.48)	$t(34) = -13.30, p < .001$
Agility	3.42 (2.46)	7.03 (1.40)	3.61 (2.06)	$V = 0, p < .001$
Static balance	1.49 (3.22)	6.82 (1.91)	5.24 (2.69)	$V = 135, p = .010$
Dynamic balance	3.13 (3.00)	7.07 (1.47)	3.94 (2.29)	$t(34) = -6.17, p < .001$

Table 2 Mean (standard deviation) stereotype scores, levels of physical abilities (rated on a 0-to-10 cm visual analog scale) and statistical indicators for physical abilities in healthy-weight people vs. obese people.

Estimation of the floor's slope

The slope was markedly overestimated by the participants ($M = 30.1^\circ$, $SD = 8.2$ vs. 15°), $t(34) = 10.91$, $p < 0.001$, regardless of which self-avatar had been embodied (healthy-weight self-avatar: $M = 29.3$, $SD = 8.9$; overweight self-avatar: $M = 30.8$, $SD = 9.4$, $V = 362$, $p = 0.451$).

The avatar effect, stereotypes, and embodiment

First, the avatar effect was computed by subtracting the imagery performance (with all distances and all slopes pooled) with the healthy-weight self-avatar from that with the overweight self-avatar. A correlation analysis revealed a relationship between the avatar effect and the embodiment score with the healthy-weight self-avatar ($r_s = 0.35$, $p = 0.040$). None of the other correlations between the avatar effect and the embodiment score or the subscores were statistically significant ($p_s > 0.130$). Last, the relationship between the avatar effect in the imagery task and stereotypes about the physical abilities of obese people was statistically significant for beliefs about agility ($r_s = 0.42$, $p = 0.012$) but not for the other beliefs about physical functioning ($p_s > 0.256$).

Discussion

The objective of the present study was to determine whether an overweight body representation would influence body action in a motor imagery walking task. In accordance with our starting hypothesis, participants took longer to perform the locomotor imagery task when embodying an overweight avatar than when embodying a healthy-weight avatar (the “avatar effect”) – especially as the distance to be covered increased. Just like having longer virtual legs (Tosi et al., 2020) or an older virtual body (Beaudoin et al., 2020; Reinhard et al., 2019), the embodiment of an overweight virtual body leads to changes in physical abilities—at least when the latter are evaluated through locomotor imagery. Interestingly, these findings in healthy participants are consistent with reports on people with anorexia nervosa, in which the patients’ overt and covert motor behaviors are consistent with overestimation of their own body size (Guardia et al., 2012; Keizer et al., 2013; Metral et al., 2014). As expected for a Proteus effect, embodying an overweight avatar led participants to behave in the way they expected obese people to behave. Indeed, all the study participants expected obese people to be less physically capable than healthy-weight people. Therefore, the avatar effect distinctly illustrated these commonly held

beliefs although our results showed a significant and positive correlation between the avatar effect and stereotypes only when the belief about agility is concerned. Our results are also in line with the self-perception theory of the Proteus effect, which emphasizes the role of “being” the avatar; as such, it contrasts with the hypothesis of a priming effect underlying the Proteus effect (Bargh et al., 1996; Peña et al., 2009). According to this alternative explanation of priming, the avatar is considered in the same way as other situational cues, and occurrence of the avatar effect does not require self-identification with the avatar. In the present study, the concomitant presence of the two avatars (one healthy-weight and the other overweight) enabled us to control for the priming effect of body-shape-related stereotypes because thinness and obesity-related stereotypes were simultaneously activated. Thus, the present Proteus effect appears to be embodiment-specific suggesting the intervention of an additional mechanism to that of priming in the present study. We assume that embodying the self-avatar manipulated the participants’ self-perception and prompted them to behave in accordance with these temporary identity characteristics (Yee & Bailenson, 2007). In this respect, Banakou et al.

(2013) reported that virtual body transformation affected their study participants’ self-identification with the embodied avatar’s social group (e.g., self-identification with child-related attributes, following the embodiment of a child avatar). In further research, it would be interesting to measure the expected changes in self-perception following embodiment; this would constitute an experimental test of the self-perception account and might improve our theoretical understanding of the Proteus effect with regard to motor behavior.

The literature data on the timing of imagery actions offers an alternative explanation (i.e., other than the Proteus effect) for the avatar effect observed in the present study. It has been shown that the timing of a mental walking task was similar to the timing of a real walking task, except when physical constraints were present. Indeed, participants carrying a weighted backpack took more time to imagine covering a distance than they took to truly cross it (Decety et al., 1989). According to Decety et al., this dissociation might be due to an attempt to overcome the load’s constraint in the real motor task (i.e., maintaining the same speed with the load as without it) but not in the imagery task, which would increase the duration of the imagery action. In the present study, self-

representation with an overweight avatar might constitute a physical constraint like the weighted backpack; this would lead to reduction in mental speed, especially as the distance increases. Thus, the avatar effect observed here might also be a consequence of a virtual physical constraint in the motor imagery task and not just of virtual self-representation's expected physical abilities. To test this hypothesis, one would have to replicate the observed avatar effect during a real walking task, as implemented by Reinhard et al. (2019) with elderly avatars. However, the latter researchers' results showed that the impact of embodying an elderly avatar vanished after the first few steps—probably because of incongruence during the locomotor task between the sensory feedback from the young participant's body and the expected feedback from the embodied elderly body. It should also be noted that the present experimental paradigm demonstrated a similar avatar effect with an old self-avatar vs. young self-avatar (Beaudoin et al., 2020); this finding goes against this alternative explanation because age is not a physical constraint in the same way that a heavy load is in overweight people.

Lastly, the perception of distances and slopes is influenced by the person's physical status, such as physical ability,

fatigue, and physical constraints (Bhalla & Proffitt, 1999; Proffitt et al., 1995, 2003). For example, individuals with higher levels of body fat perceive a staircase to be steeper than individuals with lower levels of body fat do (Taylor-Covill & Eves, 2016). Hence, embodying an overweight avatar (considered to have poor physical abilities) might also cause the person to perceive virtual distances as longer than they really are and slopes as steeper than they really are; this would increase the time needed to complete the motor imagery task. However, our results did not support this perceptual explanation as no difference between the two self-avatars on the estimated slope was noted. Unfortunately, we did not collect data on the estimated distance.

The present experimental paradigm had several strengths to study the impact of body representation on behavior in general and motor action in particular. First, virtual reality technologies and embodiment components (e.g., agency, self-location) elicit a strong sense of experiencing a body that might differ markedly from the biological body (Kilteni, Groten, et al., 2012; Petkova et al., 2011; van der Hoort et al., 2011). In this respect, and in line with previous studies on overweight avatar embodiment (Normand et al., 2011; Piryankova et al., 2014), the

first-person perspective and the synchronous visuo-motor stimulations prompted healthy-weight participants to experiencing a healthy-weight body and an overweight body, with a slightly stronger embodiment illusion reported for the former avatar in the present study. Virtual reality technologies, therefore, appear to be extremely relevant tools for investigating phenomena related to modified body representation, particularly because of the closeness between the virtual body and the self. Non-immersive tools (e.g., on-screen videogames) do not provide such closeness (and realism) and are, therefore, less optimal for studying the mechanisms underlying the avatar effect.

Second, the present virtual paradigm was able to demonstrate an avatar effect in two different situations and with avatars related to different stereotypes (obesity in the present study and old age in the study by Beaudoin et al., 2020). These avatar effects illustrate the impact of expectations about body representation on motor action. It is important to note that the procedure did not involve a control condition without an embodied avatar. This might be considered as a limitation to determine that the avatar effect is the consequence of a lower imagery walking speed with the overweight self-avatar rather than higher imagery walking speed

with the healthy-weight self-avatar. On average, the participant's BMI was close (3.1 points higher) to that estimated for the healthy-weight avatar; this would suggest that the expected physical abilities were equivalent. In contrast, the mean BMI for the participants was far (25.9 points lower) to that estimated for the overweight avatar. The assignment of worse physical abilities to the overweight avatar means that the avatar effect was more likely to result from a lower motor imagery speed with the overweight self-avatar than a higher motor imagery speed with the healthy-weight self-avatar. However, it must be noted that contrary to expectations, the avatar effect did not correlate with the embodiment score with the overweight self-avatar what makes difficult to fully conclude about impact of body representation on imagery walking speed. The relationship between motor imagery and the embodiment score of an avatar associated with negative stereotypes about physical abilities has to be further investigated with tools with better psychometric properties. Indeed, the embodiment questionnaire used in the present study lacked such psychometric properties but has been modified and validated recently (Peck & Gonzalez-Franco, 2021).

Last, the motor imagery task is of particular importance in the present paradigm. The imagery task not only enables the faithful simulation of a variety of motor actions in the absence of sensory feedback (see “Introduction” section) but also dispenses with the requirement for overt movements; as such, it is particularly suitable for use by physically disabled people. Therefore, the present protocol could be used with people with low mobility, such as older adults or obese people. In line with the relationship between body representation, expected physical abilities and motor action, one would expect embodiment in a fit avatar to have a beneficial Proteus effect on motor performance. Given the enjoyable and recreational aspects of virtual immersion and their consequences on therapy engagement (Charbonneau et al., 2017), coupled with the known efficacy of virtual reality and motor imagery procedures in motor rehabilitation (e.g., Fansler et al., 1985; Mirelman et al., 2013; You et al., 2005), the present protocol has clinical potential.

The present study had some limitations. Participants might have behaved the way they thought experimenters would expect them to—especially because of the within subject design. However, it should be noted that there was a time interval of at least

24 h between the two experimental sessions; this probably made it difficult for the participant to manipulate their locomotor imagery performance from one day to the other. Furthermore, this bias was limited by focusing the instructions concerning motor imagery on the sensations related to walking motion rather than on the self-avatar’s body shape (i.e., “imagine yourself walking at a natural speed and concentrate on how walking movements feel, just as in real walking”). Lastly, the female-only study sample makes it difficult to generalize our results to a broader population. However, imagery abilities (Loison et al., 2013) and stereotypes about the physical functioning of obese people (Greenleaf & Weiller, 2005) are not gender specific; the same seems true for illusions of embodiment (see Kilteni et al., 2013, for instance).

Conclusion

To the best of our knowledge, the present study is the first to have specifically investigated the impact of embodying an overweight body in virtual reality on motor abilities. Our results show that the embodiment of an overweight avatar modifies the imagery locomotor speed. Hence, embodying a body that is fatter than the biological body led the participants to behave as if they really had

a fatter body. In line with the Proteus effect, the participants' mental behavior was coherent with their expectations (i.e., stereotypes) of the physical abilities associated with the embodied avatar's body shape. The present paradigm might

be of value for studying the relationship between body representation, expected physical abilities, and body actions—especially in people with physical disabilities.

Supplementary Information The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.1007/s00426-022-01675-x>.

Acknowledgements Morgane Metral for her help providing advices related to the methodology. Morgane Laree and Luna Farronato for their help in data collection. We thank Dr David Fraser (Biotech Communication, Damery, France) for improving the manuscript's English.

Author contribution Louise Dupraz: Conceptualization, Methodology, Formal analysis, Investigation, Writing – Original Draft, Writing – Review & Editing. Julien Barra: Conceptualization, Methodology, Formal analysis, Writing – Review & Editing. Marine Beaudoin: Conceptualization, Methodology, Formal analysis, Writing – Review & Editing. Michel Guerraz: Conceptualization, Methodology, Formal analysis, Writing – Original Draft, Writing – Review & Editing.

Funding This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Availability of data and material Supplementary materials are attached to the present document and the raw data have been made available from the following address: <https://figshare.com/s/e934fa391e85c461b945>

Code availability Not applicable.

Declarations

Conflict of interests None of the authors have any conflicts of interest

References

- Banakou, D., Groten, R., & Slater, M. (2013). Illusory ownership of a virtual child body causes overestimation of object sizes and implicit attitude changes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(31), 12846-12851. <https://doi.org/10.1073/pnas.1306779110>
- Bargh, J. A., Chen, M., & Burrows, L. (1996). Automaticity of Social Behavior: Direct Effects of Trait Construct and Stereotype Activation on Action. *Journal of Personality and Social Psychology*, 71(2), 230-244. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.71.2.230>

- Barra, J., Giroux, M., Metral, M., Cian, C., Luyat, M., Kavounoudias, A., & Guerraz, M. (2020). Functional properties of extended body representations in the context of kinesthesia. *Neurophysiologie Clinique = Clinical Neurophysiology*, 50(6), 455-465. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2020.10.011>
- Beaudoin, M., Barra, J., Dupraz, L., Mollier-Sabet, P., & Guerraz, M. (2020). The impact of embodying an “elderly” body avatar on motor imagery. *Experimental Brain Research*, 238(6), 1467-1478. <https://doi.org/10.1007/s00221-020-05828-5>
- Bem, D. J. (1972). Self-Perception Theory. In L. Berkowitz (Éd.), *Advances in Experimental Social Psychology* (Vol. 6, p. 1-62). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0065-2601\(08\)60024-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2601(08)60024-6)
- Bhalla, M., & Proffitt, D. R. (1999). Visual-motor recalibration in geographical slant perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(4), 1076-1096. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.25.4.1076>
- Charbonneau, P., Dallaire-Cote, M., Cote, S. S.-P., Labbe, D. R., Mezghani, N., Shahnewaz, S., Arafat, I., Irfan, T., Samaraweera, G., & Quarles, J. (2017). Gaitzilla : Exploring the effect of embodying a giant monster on lower limb kinematics and time perception. 2017 International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR), 1-8. <https://doi.org/10.1109/ICVR.2017.8007535>
- Decety, J., Jeannerod, M., & Prablanc, C. (1989). The timing of mentally represented actions. *Behavioural Brain Research*, 34(1-2), 35-42. [https://doi.org/10.1016/S0166-4328\(89\)80088-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4328(89)80088-9)
- de Vignemont, F. (2011). Embodiment, ownership and disownership. *Consciousness and Cognition*, 20(1), 82-93. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2010.09.004>
- Dijksterhuis, A., & van Knippenberg, A. (1996). The Knife That Cuts Both Ways : Facilitated and Inhibited Access to Traits as a Result of Stereotype Activation. *Journal of Experimental Social Psychology*, 32(3), 271-288. <https://doi.org/10.1006/jesp.1996.0013>
- Fansler, C. L., Poff, C. L., & Shepard, K. F. (1985). Effects of mental practice on balance in elderly women. *Physical Therapy*, 65(9), 1332-1338. <https://doi.org/10.1093/ptj/65.9.1332>
- Gonzalez-Franco, M., & Peck, T. C. (2018). Avatar Embodiment. Towards a Standardized Questionnaire. *Frontiers in Robotics and AI*, 5. <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00074>
- Greenleaf, C., & Weiller, K. (2005). Perceptions of Youth Obesity among Physical Educators. *Social Psychology of Education*, 8(4), 407-423. <https://doi.org/10.1007/s11218-005-0662-9>
- Guardia, D., Conversy, L., Jardri, R., Lafargue, G., Thomas, P., Dodin, V., Cottencin, O., & Luyat, M. (2012). Imagining One’s Own and Someone Else’s Body Actions : Dissociation in Anorexia Nervosa. *PLOS ONE*, 7(8), e43241. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043241>
- Guardia, D., Metral, M., Pigeyre, M., Bauwens, I., Cottencin, O., & Luyat, M. (2013). Body distortions after massive weight loss : Lack of updating of the body schema hypothesis. *Eating and Weight Disorders - Studies on Anorexia, Bulimia and Obesity*, 18(3), 333-336. <https://doi.org/10.1007/s40519-013-0032-0>
- Jeannerod, M. (1995). Mental imagery in the motor context. *Neuropsychologia*, 33(11), 1419-1432. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(95\)00073-C](https://doi.org/10.1016/0028-3932(95)00073-C)
- Joo, Y. K., & Kim, K. (2017). When You Exercise Your Avatar in a Virtual Game : The Role of Avatars’ Body Shape and Behavior in Users’ Health Behavior. *Interacting with Computers*, 29(3), 455-466. <https://doi.org/10.1093/iwc/iwx003>
- Keizer, A., Smeets, M. A. M., Dijkerman, H. C., Uzunbajakau, S. A., Elburg, A. van, & Postma, A. (2013). Too Fat to Fit through the Door : First Evidence for Disturbed Body-Scaled Action in Anorexia Nervosa during Locomotion. *PLOS ONE*, 8(5), e64602. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064602>
- Kilteni, K., Bergstrom, I., & Slater, M. (2013). Drumming in Immersive Virtual Reality : The Body Shapes the Way We Play. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 19(4), 597-605. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2013.29>
- Kilteni, K., Groten, R., & Slater, M. (2012). The Sense of Embodiment in Virtual Reality. Presence: Teleoperators and Virtual

- Environments, 21(4), 373-387.
https://doi.org/10.1162/PRES_a_00124
- Kocur, M., Kloss, M., Schwind, V., Wolff, C., & Henze, N. (2020). Flexing Muscles in Virtual Reality: Effects of Avatars' Muscular Appearance on Physical Performance. 193-205.
<https://doi.org/10.1145/3410404.3414261>
- Li, B. J., Lwin, M. O., & Jung, Y. (2014). Wii, Myself, and Size: The Influence of Proteus Effect and Stereotype Threat on Overweight Children's Exercise Motivation and Behavior in Exergames. *Games for Health Journal*, 3(1), 40-48. <https://doi.org/10.1089/g4h.2013.0081>
- Lineweaver, T. T., Kugler, J., Rabellino, A., & Stephan, Y. (2017). Beliefs about age-related changes in physical functioning across the adult life span and their relationship with physical activity levels of older adults. *Aging, Neuropsychology and Cognition*, 25(4), 613-631.
<https://doi.org/10.1080/13825585.2017.1356903>
- Loison, B., Moussaddaq, A.-S., Cormier, J., Richard, I., Ferrapie, A.-L., Ramond, A., & Dinomais, M. (2013). Translation and validation of the French Movement Imagery Questionnaire – Revised Second version (MIQ-RS). *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 56(3), 157-173.
<https://doi.org/10.1016/j.rehab.2013.01.001>
- Lotze, M., & Halsband, U. (2006). Motor imagery. *Journal of Physiology, Paris*, 99(4-6), 386-395.
<https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2006.03.012>
- Metral, M., Guardia, D., Bauwens, I., Guerraz, M., Lafargue, G., Cottencin, O., & Luyat, M. (2014). Painfully thin but locked inside a fatter body: Abnormalities in both anticipation and execution of action in anorexia nervosa. *BMC Research Notes*, 7(1), 707.
<https://doi.org/10.1186/1756-0500-7-707>
- Miall, R. C., & Wolpert, D. M. (1996). Forward Models for Physiological Motor Control. *Neural Networks*, 9(8), 1265-1279.
[https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(96\)00035-4](https://doi.org/10.1016/S0893-6080(96)00035-4)
- Mirelman, A., Maidan, I., & Deutsch, J. E. (2013). Virtual reality and motor imagery: Promising tools for assessment and therapy in Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 28(11), 1597-1608.
<https://doi.org/10.1002/mds.25670>
- Moussally, J. M., Rochat, L., Posada, A., & Van der Linden, M. (2017). A database of body-only computer-generated pictures of women for body-image studies: Development and preliminary validation. *Behavior Research Methods*, 49(1), 172-183.
<https://doi.org/10.3758/s13428-016-0703-7>
- Normand, J.-M., Giannopoulos, E., Spanlang, B., & Slater, M. (2011). Multisensory Stimulation Can Induce an Illusion of Larger Belly Size in Immersive Virtual Reality. *PLOS ONE*, 6(1), e16128.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0016128>
- Peck, T. C., & Gonzalez-Franco, M. (2021). Avatar Embodiment. A Standardized Questionnaire. *Frontiers in Virtual Reality*, 1. <https://doi.org/10.3389/frvir.2020.575943>
- Peña, J., Hancock, J. T., & Merola, N. A. (2009). The Priming Effects of Avatars in Virtual Settings. *Communication Research*, 36(6), 838-856.
<https://doi.org/10.1177/0093650209346802>
- Peña, J., Khan, S., & Alexopoulos, C. (2016). I Am What I See: How Avatar and Opponent Agent Body Size Affects Physical Activity Among Men Playing Exergames. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 21(3). <https://doi.org/10.1111/jcc4.2016.21.issue-3>
- Peña, J., & Kim, E. (2014). Increasing exergame physical activity through self and opponent avatar appearance. *Computers in Human Behavior*, 41, 262-267.
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.09.038>
- Petkova, V., Khoshnevis, M., & Ehrsson, H. H. (2011). The Perspective Matters! Multisensory Integration in Ego-Centric Reference Frames Determines Full-Body Ownership. *Frontiers in Psychology*, 2, 35.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00035>
- Piryankova, I. V., Wong, H. Y., Linkenauger, S. A., Stinson, C., Longo, M. R., Bühlhoff, H. H., & Mohler, B. J. (2014). Owning an Overweight or Underweight Body: Distinguishing the Physical, Experienced and Virtual Body. *PLOS ONE*, 9(8), e103428.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103428>
- Proffitt, D. R., Bhalla, M., Gossweiler, R., & Midgett, J. (1995). Perceiving geographical slant. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2(4), 409-428. <https://doi.org/10.3758/BF03210980>

- Proffitt, D. R., Stefanucci, J., Banton, T., & Epstein, W. (2003). The role of effort in perceiving distance. *Psychological Science*, 14(2), 106-112. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.t01-1-01427>
- Ratan, R., Beyea, D., Li, B. J., & Graciano, L. (2019). Avatar characteristics induce users' behavioral conformity with small-to-medium effect sizes: A meta-analysis of the proteus effect. *Media Psychology*, 0(0), 1-25. <https://doi.org/10.1080/15213269.2019.1623698>
- Reinhard, R., Shah, K. G., Faust-Christmann, C. A., & Lachmann, T. (2019). Acting your avatar's age: Effects of virtual reality avatar embodiment on real life walking speed. *Media Psychology*, 1-23. <https://doi.org/10.1080/15213269.2019.1598435>
- Saimpont, A., Malouin, F., Tousignant, B., & Jackson, P. L. (2012). The influence of body configuration on motor imagery of walking in younger and older adults. *Neuroscience*, 222, 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2012.06.066>
- Taylor-Covill, G. A. H., & Eves, F. F. (2016). Carrying a biological « backpack »: Quasi-experimental effects of weight status and body fat change on perceived steepness. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 42(3), 331-338. <https://doi.org/10.1037/xhp0000137>
- Tosi, G., Parmar, J., Dhillon, I., Maravita, A., & Iaria, G. (2020). Body illusion and affordances: The influence of body representation on a walking imagery task in virtual reality. *Experimental Brain Research*, 238(10), 2125-2136. <https://doi.org/10.1007/s00221-020-05874-z>
- van der Hoort, B., Guterstam, A., & Ehrsson, H. H. (2011). Being Barbie: The Size of One's Own Body Determines the Perceived Size of the World. *PLOS ONE*, 6(5), e20195. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020195>
- Yee, N., & Bailenson, J. (2007). The Proteus Effect: The Effect of Transformed Self-Representation on Behavior. *Human Communication Research*, 33(3), 271-290. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2958.2007.00299.x>
- Yee, N., & Bailenson, J. N. (2009). The Difference Between Being and Seeing: The Relative Contribution of Self-Perception and Priming to Behavioral Changes via Digital Self-Representation. *Media Psychology*, 12(2), 195-209. <https://doi.org/10.1080/15213260902849943>
- You, S. H., Jang, S. H., Kim, Y.-H., Hallett, M., Ahn, S. H., Kwon, Y.-H., Kim, J. H., & Lee, M. Y. (2005). Virtual reality-induced cortical reorganization and associated locomotor recovery in chronic stroke: An experimenter-blind randomized study. *Stroke*, 36(6), 1166-1171. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000162715.43417.91>



1.2.3. Récapitulatif de l'expérience



HYPOTHÈSE

Effet Proteus sur le comportement moteur en imagerie motrice :

L'incorporation d'un avatar obèse conduit à un ralentissement de la vitesse de marche en imagerie motrice comparativement à l'incorporation d'un avatar normo-pondéré.

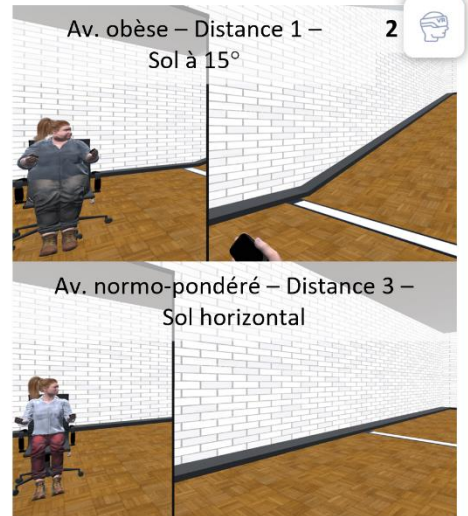
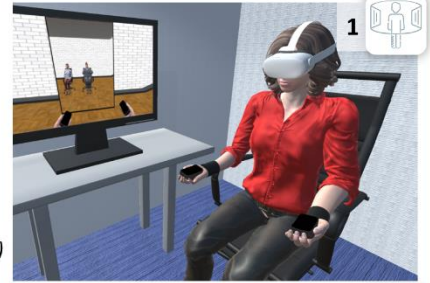


MÉTHODOLOGIE

35 femmes (Age : $M = 19.9$, $SD = 1.9$; IMC actuel : $M = 21.2$, $SD = 2.3$)

Design expérimental intra-sujet: 2 sessions (avatar obèse vs normo-pondéré)

- Questionnaire d'imagerie motrice (Loison et al., 2013)
 - Session 1 uniquement
- Equipement (Figure 1)
 - Casque de réalité virtuelle (Oculus Quest 2, Meta, US)
 - Capteurs de mouvements sur les poignets (Liberty™, Polhemus, US)
- Phase d'incorporation de l'avatar obèse vs normo-pondéré
 - 1 minute
 - Perspective à la première personne
 - Couplage visuo-moteur synchrone
- Tâche d'imagerie motrice (Figure 2)
 - Simulation mentale du déplacement (lever, marche)
 - 4 distances x 2 pentes (15°, horizontale)
 - Enregistrement du temps de déplacement
- Estimation de la pente
- Questionnaire d'incorporation de l'avatar (adapté de Gonzalez-Franco & Peck, 2018)
- Estimation de l'IMC des avatars (Moussally et al., 2017)
- Questionnaire des croyances sur le fonctionnement physique selon la forme corporelle (adapté de Lineweaver et al., 2017)
 - Session 2 uniquement



Session 1 & Session 2

x 4



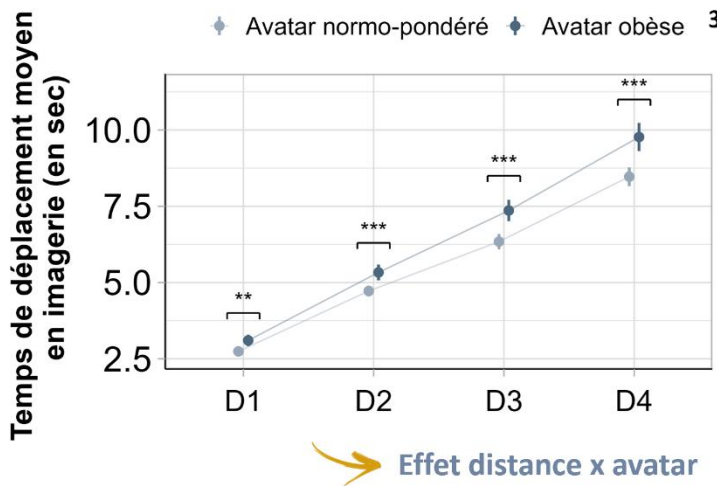
Figure représentant l'environnement réel



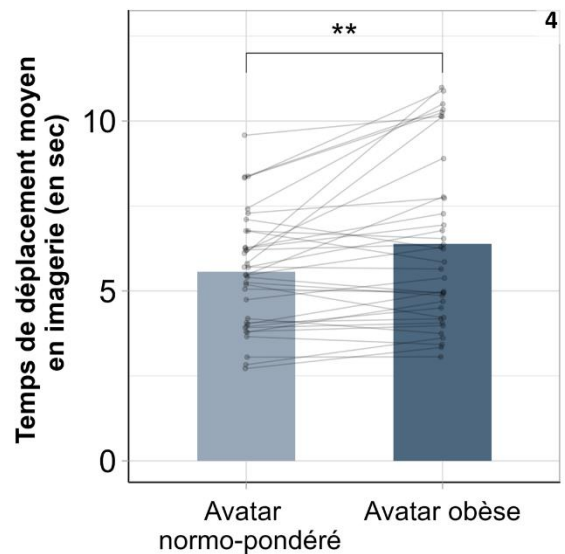
Figure représentant l'environnement virtuel



RÉSULTATS



Effet distance x avatar



Effet Proteus

Temps de déplacement en imagerie motrice :

- Effet de la distance, $F(3, 102) = 291.75$, $p < .001$, $\eta_p^2 = 0.90$
- Effet d'interaction avatar x distance, $F(3, 102) = 11.99$, $p < .001$, $\eta_p^2 = 0.26$ (Figure 3)
- Effet de l'avatar, $F(1, 34) = 12.16$, $p = .001$, $\eta_p^2 = 0.26$ (Figure 4)

Corrélation entre l'effet de l'avatar sur le temps de déplacement en imagerie motrice et :

- Le score d'incorporation de l'avatar normo-pondéré ($r_s = .35$, $p = .040$)
- Le degré d'adhésion aux stéréotypes relatifs aux capacités d'agilité des personnes obèses ($r_s = .42$, $p = .012$)

1.2.4 Conclusion

Conformément à l'hypothèse, les participantes ont mis en moyenne plus de temps à réaliser les déplacements en imagerie motrice lors de l'incorporation de l'avatar obèse plutôt que normo-pondéré, confirmant l'existence d'un effet Proteus sur le comportement en imagerie motrice. Par ailleurs, le phénomène était corrélé à l'intensité de l'illusion d'incorporation de l'avatar normo-pondéré, ainsi qu'au degré d'adhésion aux stéréotypes relatifs aux capacités d'agilité des personnes obèses.

L'effet Proteus observé dans cette étude est cohérent avec changements moteurs identifiés lors de l'incorporation d'un avatar présentant des caractéristiques de surpoids (Li et al., 2014; Peña et al., 2016; Peña & Kim, 2014), ou des caractéristiques athlétiques (Czub & Janeta, 2021; Kocur, Kloss, et al., 2020; Kocur et al., 2021; Mal et al., 2023; Sadek et al., 2022; Tammy Lin et al., 2021). En effet, si la performance physique est négativement influencée par l'utilisation d'un avatar en surpoids, de plus récentes études montrent que l'incorporation d'un avatar athlétique par rapport à un avatar moins musclé (ou à une condition contrôle) conduit à une augmentation de la force (Czub & Janeta, 2021; Kocur, Kloss, et al., 2020) ainsi qu'une diminution de l'effort perçu (Kocur, Kloss, et al., 2020). De même, l'incorporation d'un avatar habillé en tenue de sport plutôt qu'en tenue de bureau conduit à un niveau de performance physique plus important (Mal et al., 2023), et l'incorporation d'un avatar créé spécifiquement pour ressembler à un célèbre joueur de football (*versus* avatar neutre) conduit à de meilleures performances de tirs au but (Sadek et al., 2022).

En somme, le protocole d'incorporation d'un avatar en réalité virtuelle développé dans l'étude 1 et répliqué dans l'étude 2 démontre que les attentes relatives aux capacités physiques de l'avatar influencent la représentation mentale du mouvement. Le protocole est donc efficace pour la démonstration d'un effet Proteus, tout au moins lorsque le phénomène est étudié sur le comportement en imagerie motrice. Dans la mesure où l'effet Proteus s'étend au-delà du fonctionnement moteur (pour une méta-analyse : Ratan et al., 2019), la capacité du protocole à mettre en évidence le phénomène sur des capacités de plus haut niveau, notamment cognitives, a fait l'objet d'une étude.

2. Effet Proteus sur les performances de mémoire épisodique

Etude 3

2.1. Introduction

L'objectif de cette étude était d'investiguer l'effet Proteus sur les capacités cognitives au travers de la réplique conceptuelle des premières études de ce travail de thèse. Elle visait à tester l'effet de l'incorporation d'un avatar âgé plutôt que jeune sur les performances de mémoire épisodique. L'étude de l'effet Proteus dans ce contexte a été privilégiée pour plusieurs raisons. D'une part, le protocole initialement développé s'est montré efficace pour induire une illusion d'incorporation d'un avatar âgé et d'un avatar jeune. D'autre part, les adultes âgés sont ciblés par des stéréotypes négatifs concernant leurs performances cognitives et plus précisément à leurs capacités mnésiques (Lineweaver et al., 2009; Lineweaver & Hertzog, 1998). Enfin, si certaines études mettent en évidence un effet des caractéristiques de l'avatar incorporé sur les capacités cognitives (e.g., performances arithmétiques, de créativité, de raisonnement ; Banakou et al., 2018; Buisine & Guegan, 2019; Guegan et al., 2016; Lee et al., 2014; Ratan & Sah, 2015), l'impact des caractéristiques relatives à l'âge d'une part, et sur les capacités de mémoire qui plus est, n'a, à notre connaissance, pas été étudié [avant l'année 2022]. En effet, l'étude de l'effet Proteus lors de l'incorporation d'un avatar âgé a été centrée sur des mesures attitudinales (Yee & Bailenson, 2006), motrices (Beaudoin et al., 2020; Reinhard et al., 2019; Yoo et al., 2015), ou relatives à la prise de décision (Hershfield et al., 2011; Yoo et al., 2015). Ainsi, l'effet de l'incorporation de l'avatar âgé a été investigué sur une tâche de rappel explicite.

Conformément aux prédictions de l'effet Proteus, et plus précisément aux stéréotypes négatifs relatifs aux performances mnésiques des adultes âgés (Lineweaver et al., 2009; Lineweaver & Hertzog, 1998), **il était attendu que l'incorporation d'un avatar âgé conduise à une diminution de la performance de rappel en mémoire comparativement à l'incorporation d'un avatar jeune.**

2.2. *Expérience*

Note. Etude non publiée.

Embodiment of an elderly avatar and impact on explicit recall performance

Introduction

The main objective of the present study was to investigate the Proteus effect on memory performance. Considering the negative aging stereotypes related to memory ability (Lineweaver et al., 2009; Lineweaver & Hertzog, 1998), lower memory performance are expected when embodying an elderly avatar compared to a young avatar.

Methods

Participants

The power analysis based on the lower value of the 95% confidence interval of a meta-analytic effect size of the Proteus effect ($f = .192$; Ratan et al., 2019) recommended a minimum sample size of 42 participants for a paired one-tailed t-test (error rate of $\alpha = .05$, power level of .80). Women aged 18 to 26 were recruited in the experiment ($N = 50$). None of them suffered, in the past or at the time of the experiment, from visual, proprioceptive or neuromuscular disorders, nor any medical or psychiatric condition contraindicated

for the usage of virtual reality. The study was approved by an institutional ethics committee (USMB-CER_2020-06-VRMEM). Participants provided their written, informed consent to participate in the experiment. Two participants were identified as outliers and excluded from the statistical analyses: one on the difference in recall performance between the avatar conditions (Median Absolute Deviation, MAD, with a threshold fixed to 3; Leys et al., 2013, 2019), and one on the mean recall performance by avatar conditions (Cook's distance). Thus, 48 participants were included in the statistical analyses (Age: $M = 20.0$ years; $SD = 1.7$).

Materials

Virtual environment and avatars

The virtual reality setup, including the virtual environment and the avatars, was partly similar to that developed in Beaudoin et al. (2020). The virtual environment (constructed with Unity software; Unity Technologies USA) consisted of a virtual room with a table

facing a virtual mirror. Two avatars were used: one elderly woman and one young woman (created with MakeHuman™ and Blender, Figure 1A). The elderly avatar was perceived as older (mean estimated age: $M = 74.6$ years; $SD = 6.9$) than the young avatar (mean estimated age: $M = 35.8$ years; $SD = 7.1$; Wilcoxon test: $V = 1$, $p < .001$). Both avatars were presented together in the virtual environment, sitting side by side in front of the virtual mirror. Participants were immersed from a first-person perspective with the avatar's body sited on the right side: the self-avatar. Thus, the self-avatar was visible when participants looked down as if they looked at their own bodies, and it was also visible through the virtual mirror. The other-avatar remained static on the left side. It was visible either in the virtual mirror or when participants turned their head to the left. A head-mounted display (HMD; Oculus Quest 2; Meta Quest, US) including a real-time tracking system of the head's positions and orientations was used for the immersion in the virtual environment. Additionally, an electromagnetic motion capture system at a frequency of 240 Hz (Liberty™, Polhemus, USA) tracked the positions of the participant's forearms through sensors fixed on wrist-splints worn by the participant. The motion capture systems enabled to track in real-

time the participant's head and forearms movements and move the self-avatar's head and forearms accordingly. Participants sat on an office armchair, with the elbows on armrests, and hold plastic-sticks also displayed in the self-avatar's hands.

Explicit memory task

Twelve lists of fifteen words each were constructed for the explicit recall task (see Supplementary Material). Fifteen semantic categories were selected (e.g., animal, food), and each list included one word per semantic category. The average occurrence frequency of the words in the French language and the average number of letters composing the words were analyzed using Lexique software (New & Pallier, s. d.) to ensure that these characteristics were equivalent between the lists. The lists were tested with eight participants (different from those included in the present study) to verify the absence of floor or ceiling effects on recall performance.

Questionnaires

The embodiment questionnaire (EQ): The sense of embodiment was measured through the assessment of the agency, the body ownership, and the self-location components of embodiment (Longo et al.,

2008; for a review: Kiltner et al., 2012). The agency and the body-ownership components were assessed using the items from the Roth & Latoschik's Virtual Embodiment Questionnaire (four items each; 2020). The self-location component was assessed using items frequently used to measure this component (three items; Kim et al., 2020; Peck & Gonzalez-Franco, 2021; Piryankova et al., 2014). The eleven items were randomized and scored on a seven-point Likert scale from 1 (*strongly disagree*) to 7 (*strongly agree*). A mean score was computed for each embodiment component and for the global sense of embodiment (see Supplementary material for reliability analyses).

Adaptation of the General Beliefs about Memory Functioning instrument (GBMF): The extent to which participants expected a decline of the memory abilities with aging was measured using three items from the General Beliefs about Memory Functioning instrument (GBMF; Lineweaver & Hertzog, 1998). The items related to the ability to remember in general ("general"), the ability to remember grocery lists ("grocery"), and the ability to remember events that happened recently ("recent") were selected. For each item, participants indicated the level of ability of a typical adult aged 20 to 90 years (for each decade)

on visual analogue scales (from 0 to 10 cm) ranging from very low to very high level of ability. A stereotype score for each item was calculated from the difference in the level of memory abilities assigned for the closest decade to the estimated age of the elderly avatar and that assigned for the closest decade to the estimated age of the young avatar. A stereotype composite score was calculated by averaging the stereotype scores of the three items.

The age-related self-perception questionnaire: Self-attribution of aging related attributes was assessed using a questionnaire composed of 10 aging-related attributes selected from the Schmidt & Boland's list (1986) and 10 neutral attributes in terms of aging (see Dupraz et al., 2024, for further description of the questionnaire's development). The 20 items were randomized and scored on a seven-point Likert scale from 0 (*completely not me*) to 6 (*completely me*). A self-attribution score of aging-related attributes was computed by summing up the responses to the aging-related attributes.

Procedure

Participants performed two experimental sessions lasting 45 minutes each, and at least one day apart. Each session consisted of the embodiment of one avatar (i.e., self-

avatar): the elderly avatar in one session, and the young avatar in the other, in a counterbalanced order (see Figure 1B).

The avatar embodiment phase

Once arrived, the participants were immersed in the virtual environment, from a first-person perspective with the self-avatar. They could freely explore the self-avatar's body, the virtual room, and the other-avatar. Then, for one minute, the participants performed forearms' movements by alternating flexions and extensions to the rhythm of a metronome set at 35 beats per minute. This phase made the participants aware that the self-avatar faithfully reproduced their head and forearms' movements. This embodiment phase was repeated before the presentation of each list of words to be learned.

The explicit recall task

After the avatar embodiment phase, a list of words was presented to the participants. The words were visually presented in the virtual mirror in front of

the self-avatar (see Figure 1A). Each word was presented for two seconds, with one-second delay between each word. Participants were asked to remember as many words as possible and recall them after a 30-second backward-counting task. In each experimental session, the participants learned six wordlists partly randomly selected. By the end of the second session, participants had been exposed to the twelve lists constructed for the study. A recall performance score was computed by averaging the number of words correctly recalled for the six lists in the elderly avatar embodiment condition and in the young avatar embodiment condition.

Questionnaires completion

After the immersion phase, participants completed the age-related self-perception questionnaire followed by the EQ. Then, they were asked to estimate the age of the self-avatar and of the other-avatar. At the end of the second session, participants completed the adaption of the GBMF instrument.

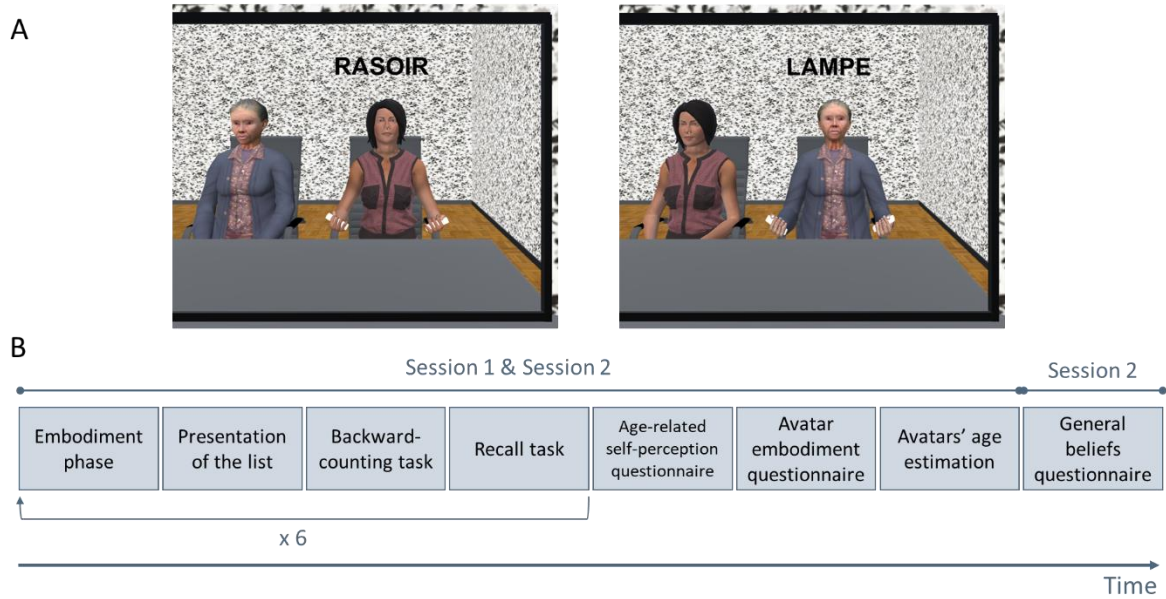


Figure 1. A. Example of the image displayed in the HMD during the presentation of the wordlists to learn. **B.** Time sequence of the procedure.

Results

The confirmatory statistical analyses were pre-registered using Open Science Framework (OSF; https://osf.io/rs7te/?view_only=db3ba40ac44a432cb1de10e822a1c106)³.

Sense of embodiment scores

When assumptions for parametric tests were met, paired t-tests were performed

between the elderly avatar embodiment condition and the young avatar embodiment condition, otherwise Wilcoxon tests were performed. The global sense of embodiment score did not differ between the elderly and the young avatar embodiment conditions, $t(47) = 0.73$, $p = .470$, as it was for the body ownership, $t(47) = 1.20$, $p = .234$, the agency, $V = 451$, $p = .793$, and the self-locations scores, $t(47) = -0.06$, $p = .949$ (Figure 2).

³ The mediation analysis and the multiple regression analysis were eventually performed with the avatar embodiment conditions (elderly *versus* young) as predictor rather than the sense of embodiment as pre-registered. This enabled to

include data collected from both avatar embodiment conditions, rather than exclusively those collected in the elderly avatar condition. Thus, the dependent variable consisted of the average recalled words.

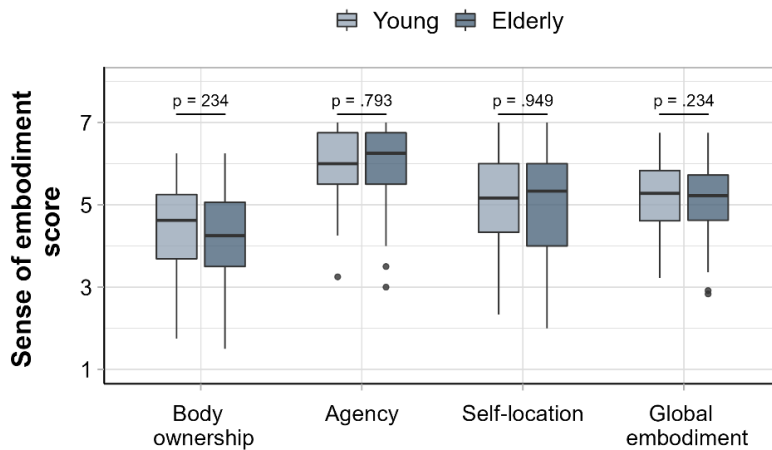


Figure 2. Boxplots of the sense of body ownership, agency, and self-location scores, and of the global sense of embodiment scores, in the young and the elderly avatar embodiment conditions.

Explicit recall performance

The one-tailed paired t-test did not reveal a statistical difference between the elderly

avatar embodiment condition ($M = 8.0, SD = 2.4$) and the young avatar embodiment condition ($M = 8.0, SD = 2.5$), $t(47) = -0.14$, $p = .553$ (Figure 3).

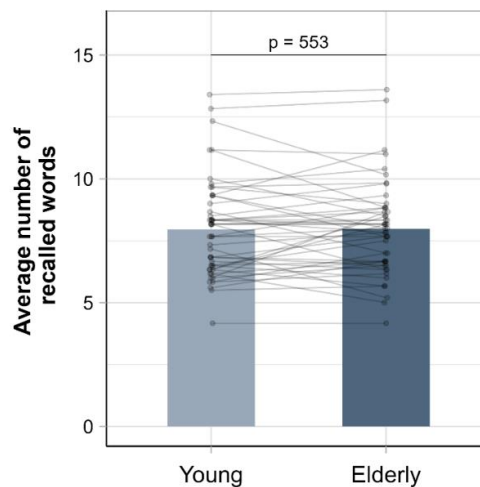


Figure 3. Average number of recalled words as a function of the avatar embodiment condition (young versus elderly).

Self-attribution score of the aging-related attributes

The paired t-test did not reveal a statistical difference between the elderly avatar embodiment condition ($M = 23.9, SD = 8.1$)

and the young avatar embodiment condition ($M = 23.2, SD = 8.1$), $t(47) = -0.99$, $p = .325$.

Avatar effect in relation with embodiment and stereotypes

The multiple regression analysis did not reveal a statistical interaction between the avatar embodiment condition and the aging stereotypes composite scores on the average number of recalled words, $b = -0.08$, $SE = 0.07$, $t(46) = -1.12$, $p = .267$.

Exploratory correlation analyses

Avatar effects scores were computed by subtracting the average number of recalled words in the young avatar embodiment condition from that in the elderly avatar embodiment condition. No correlation was observed between the avatar effect and the embodiment component scores ($rs < -.15$, $p > .304$), nor between the avatar effect and the stereotype scores of any of the three types of memory ability ($rs < .22$, $p > .126$).

Discussion

This study aimed to investigate the effect of embodiment of an elderly avatar on the memory performance of young adults. The results demonstrate that immersion in virtual reality from a first-person perspective with the avatar's body, combined with synchronous visuo-motor correlation between the participant's and the avatar's movements, resulted in a sense of embodiment for both the young and the elderly avatars. However, no effect of the avatar embodiment was consequently observed on memory

performance. Indeed, no difference was observed between the average number of words recalled in the elderly and the young avatar conditions.

Recently, Vahle & Tomasik (2022) observed that participants who embodied a young avatar recalled more words than their counterparts who embodied an elderly avatar. Thus, contrary to the present one, they did demonstrate a Proteus effect on explicit recall performance in the context of elderly avatar embodiment. However, it is worth noticing that prior to the embodiment session, participants in the elderly avatar embodiment condition presented on average higher aging stereotypes scores compared to participants in the young avatar embodiment condition (Vahle & Tomasik, 2022). Although statistical control of the stereotype endorsement confirmed the avatar effect on memory performance, authors invited further investigations. It would be interesting to clarify the role of the embodied avatar's characteristics and that of stereotype endorsement on the occurrence of the Proteus effect. The present study did not identify a relationship between the Proteus effect and aging stereotypes related to memory abilities contrary to what was observed in Beaudoin et al.

(2020) with aging stereotypes related to motor abilities.

Using a similar embodiment protocol, Beaudoin et al. (2020) demonstrated the impact of an elderly avatar embodiment on locomotor imagery speed, which confirmed conformism to aging stereotypes related to motor functioning (Lineweaver et al., 2017). However, the present study did not replicate the Proteus effect on explicit memory recall, which does not confirm the aging stereotypes related to memory functioning (Lineweaver et al., 2009; Lineweaver & Hertzog, 1998). One possible explanation for this difference may lie in the mechanisms involved in the response to the respective tasks. The locomotor imagery task consisted in the mental representation of walking with a natural and comfortable speed, which implies neither success nor failure. The explicit recall task consisted in learning and retrieving as many words as possible after an interfering task, which implies evaluation of performance. Thus, it is possible that the explicit recall involved the intervention of additional psychological processes to those involved in the locomotor imagery task, such as mechanisms related to motivation, achievement, or anxiety, which may have interfered with any effect related to

avatar's characteristics. As suggested by Hess et al. (2004) to account for the absence of an assimilation effect to aging stereotypes on the memory performance of young adults in a priming paradigm: "[...] participants knew that their memory was going to be tested. This could have resulted in the activation of more personally relevant self-constructs and associated goals (e.g., identity as good student and learner) in young adults [...]". Interestingly, while some studies observed a Proteus effect on cognitive performance (Banakou et al., 2018; Lee et al., 2014), others failed (Cummins & Schofield, 2023) or observed the phenomenon under specific circumstances (e.g., avatar customization: Ratan & Sah, 2015) or during the intervention of potential confounding factors (e.g., stereotype endorsement: Vahle & Tomasik, 2022). For example, Vahle & Tomasik (2022) demonstrated a Proteus effect in an explicit memory task but not in a working memory task and in a sustained attention task, which prevented the phenomenon from being generalized across other cognitive abilities (Vahle & Tomasik, 2022). Thus, the evidence in favor of a Proteus effect on cognitive performance appears limited, which could be explained by the involvement of additional processes in the performance of cognitive tasks.

Additionally, in the context of the Proteus effect on motor behavior, inconsistencies are also observed between studies using motor tasks involving challenges (e.g., race exergames, tennis exergame; Joo & Kim, 2017; Li et al., 2014; Peña et al., 2016; Peña & Kim, 2014).

Thus, further research on the Proteus effect may prefer a protocol that limits the involvement of additional processes related to evaluation of the performance, to focus on the effect of avatar's characteristics. This would enable a better appreciation of the mechanisms underlying the Proteus effect, before expanding the research to the context of performance evaluation.

References

- Banakou, D., Kishore, S., & Slater, M. (2018). Virtually Being Einstein Results in an Improvement in Cognitive Task Performance and a Decrease in Age Bias. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00917>
- Beaudoin, M., Barra, J., Dupraz, L., Mollier-Sabet, P., & Guerraz, M. (2020). The impact of embodying an "elderly" body avatar on motor imagery. *Experimental Brain Research*, 238(6), 1467-1478. <https://doi.org/10.1007/s00221-020-05828-5>
- Cummins, I., & Schofield, D. (2023). Studying the Effects of Being Einstein : An Experiment in Social Virtual Reality. *Computer and Information Science*, 16(2), Article 2. <https://doi.org/10.5539/cis.v16n2p1>
- Dupraz, L., Beaudoin, M., Guerraz, M., & Barra, J. (2024). Does the avatar embodiment moderate the Proteus effect?
- Hess, T. M., Hinson, J. T., & Statham, J. A. (2004). Explicit and Implicit Stereotype Activation Effects on Memory : Do Age and Awareness Moderate the Impact of Priming? *Psychology and Aging*, 19(3), 495-505. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.19.3.495>
- Joo, Y. K., & Kim, K. (2017). When You Exercise Your Avatar in a Virtual Game : The Role of Avatars' Body Shape and Behavior in Users' Health Behavior. *Interacting with Computers*, 29(3), 455-466. <https://doi.org/10.1093/iwc/iwx003>
- Kilteni, K., Groten, R., & Slater, M. (2012). The Sense of Embodiment in Virtual Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 21(4), 373-387. https://doi.org/10.1162/PRES_a_00124
- Kim, C.-S., Jung, M., Kim, S.-Y., & Kim, K. (2020). Controlling the Sense of Embodiment for Virtual Avatar Applications : Methods and Empirical Study. *JMIR Serious Games*, 8(3), e21879. <https://doi.org/10.2196/21879>
- Lee, J.-E. R., Nass, C. I., & Bailenson, J. N. (2014). Does the mask govern the mind? : Effects of arbitrary gender representation on quantitative task performance in avatar-represented virtual groups. *Cyberpsychology, Behavior and Social Networking*, 17(4), 248-254. <https://doi.org/10.1089/cyber.2013.0358>
- Leys, C., Delacre, M., Mora, Y. L., Lakens, D., & Ley, C. (2019). How to classify, detect, and manage univariate and multivariate outliers, with emphasis on pre-registration. *International Review of Social Psychology*, 32(1), Article 1. <https://doi.org/10.5334/irsp.289>
- Leys, C., Ley, C., Klein, O., Bernard, P., & Licata, L. (2013). Detecting outliers : Do not use standard deviation around the mean, use absolute deviation around the median. *Journal of Experimental Social Psychology*, 49(4), 764-766. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2013.03.013>
- Li, B. J., Lwin, M. O., & Jung, Y. (2014). Wii, Myself, and Size : The Influence of Proteus Effect and Stereotype Threat on Overweight Children's Exercise Motivation and Behavior in Exergames. *Games for Health Journal*, 3(1), 40-48. <https://doi.org/10.1089/g4h.2013.0081>
- Lineweaver, T. T., Berger, A. K., & Hertzog, C. (2009). Expectations about memory change

- across the life span are impacted by aging stereotypes. *Psychology and Aging*, 24(1), 169-176. <https://doi.org/10.1037/a0013577>
- Lineweaver, T. T., & Hertzog, C. (1998). Adults' efficacy and control beliefs regarding memory and aging: Separating general from personal beliefs. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 5(4), 264-296. <https://doi.org/10.1076/anec.5.4.264.771>
- Lineweaver, T. T., Kugler, J., Rabellino, A., & Stephan, Y. (2017). Beliefs about age-related changes in physical functioning across the adult life span and their relationship with physical activity levels of older adults. *Aging, Neuropsychology and Cognition*, 25(4), 613-631. <https://doi.org/10.1080/13825585.2017.1356903>
- Longo, M. R., Schüür, F., Kammers, M. P. M., Tsakiris, M., & Haggard, P. (2008). What is embodiment? A psychometric approach. *Cognition*, 107(3), 978-998. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2007.12.004>
- New, B., & Pallier, C. (s. d.). Lexique [Logiciel]. Consulté 30 janvier 2024, à l'adresse <http://www.lexique.org/>
- Peck, T. C., & Gonzalez-Franco, M. (2021). Avatar Embodiment. A Standardized Questionnaire. *Frontiers in Virtual Reality*, 1. <https://doi.org/10.3389/frvir.2020.575943>
- Peña, J., Khan, S., & Alexopoulos, C. (2016). I Am What I See: How Avatar and Opponent Agent Body Size Affects Physical Activity Among Men Playing Exergames. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 21(3). <https://doi.org/10.1111/jcc4.2016.21.issue-3>
- Peña, J., & Kim, E. (2014). Increasing exergame physical activity through self and opponent avatar appearance. *Computers in Human Behavior*, 41, 262-267. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.09.038>
- Piryankova, I. V., Wong, H. Y., Linkenauger, S. A., Stinson, C., Longo, M. R., Bühlhoff, H. H., & Mohler, B. J. (2014). Owing an Overweight or Underweight Body: Distinguishing the Physical, Experienced and Virtual Body. *PLOS ONE*, 9(8), e103428. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103428>
- Ratan, R., Beyea, D., Li, B. J., & Graciano, L. (2019). Avatar characteristics induce users' behavioral conformity with small-to-medium effect sizes: A meta-analysis of the proteus effect. *Media Psychology*, 0(0), 1-25. <https://doi.org/10.1080/15213269.2019.1623698>
- Ratan, R., & Sah, Y. J. (2015). Leveling up on stereotype threat: The role of avatar customization and avatar embodiment. *Computers in Human Behavior*, 50, 367-374. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.04.010>
- Roth, D., & Latoschik, M. E. (2020). Construction of the Virtual Embodiment Questionnaire (VEQ). *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 26(12), 3546-3556. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2020.3023603>
- Schmidt, D. F., & Boland, S. M. (1986). Structure of perceptions of older adults: Evidence for multiple stereotypes. *Psychology and Aging*, 1(3), 255-260. <https://doi.org/10.1037//0882-7974.1.3.255>
- Vahle, N. M., & Tomasik, M. J. (2022). Younger and Older Adults' Cognitive and Physical Functioning in a Virtual Reality Age Manipulation. *Frontiers in Aging*, 3. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fragi.2022.851687>



2.3. Récapitulatif de l'expérience

HYPOTHÈSE

Effet Proteus sur les capacités mnésiques :

L'incorporation d'un avatar âgé conduit à une diminution des performances de rappel explicite comparativement à l'incorporation d'un avatar jeune.

MÉTHODOLOGIE

48 femmes (Age : $M = 20.0$, $SD = 1.7$)

Design expérimental intra-sujet: 2 sessions (incorporation avatar âgé vs jeune)

- Session 1 & Session 2
x 6
- **Équipement (Figure 1)**
 - Casque de réalité virtuelle (*Oculus Quest, Meta, US*)
 - Capteurs de mouvements sur les poignets (*Liberty™, Polhemus, US*)
 - **Phase d'incorporation de l'avatar âgé vs jeune**
 - 1 minute
 - Perspective à la première personne
 - Couplage visuo-moteur synchrone
 - **Tâche de rappel explicite (Figure 2)**
 - Présentation visuelle d'une liste de 15 mots
 - Tâche de comptage à rebours (30 secondes)
 - Restitution du plus de mots possibles
 - Questionnaire de perception de soi relative à l'âge
 - Questionnaire d'incorporation de l'avatar
 - Estimation de l'âge des avatars
 - Questionnaire des croyances sur le fonctionnement mnésique avec l'avancée en âge (items issus de *Lineweaver & Hertzog, 1998*)
 - Session 2 uniquement

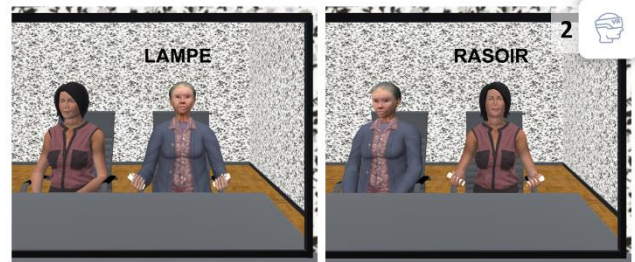
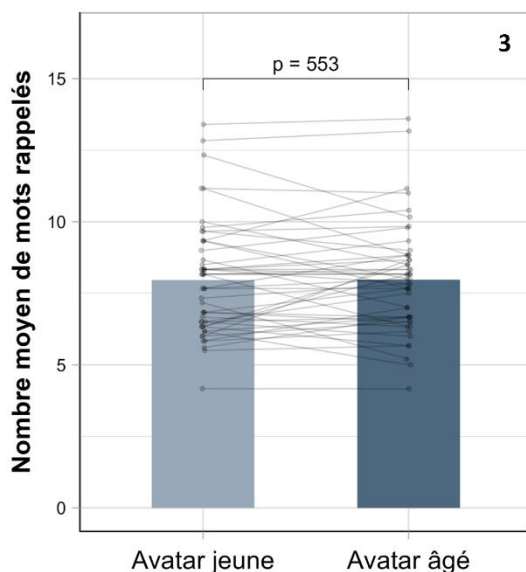


Figure représentant l'environnement réel



Figure représentant l'environnement virtuel

RÉSULTATS



Nombre de mots rappelés :

- Pas d'effet de l'avatar, $t(47) = -0.14$, $p = .553$ (Figure 3)



Pas d'effet Proteus

2.4. Conclusion

Conformément à ce qui était attendu, l'immersion des participantes avec une perspective à la première personne associée au couplage visuo-moteur synchrone a permis de faire émerger un sentiment d'incorporation, aussi bien pour l'avatar âgé que pour l'avatar jeune. Toutefois, aucune influence des caractéristiques d'âge de l'avatar incorporé n'a pas été observée sur les performances de rappel explicite. En d'autres termes, l'étude n'a pas permis de mettre en évidence un effet Proteus sur les performances mnésiques.

Au regard de précédentes études ayant démontré l'effet Proteus sur des mesures cognitives d'une part (Banakou et al., 2018; Buisine & Guegan, 2019; Guegan et al., 2016; Lee et al., 2014; Ratan & Sah, 2015), et dans le cadre de l'incorporation d'un avatar âgé qui plus est (Hershfield et al., 2011; Vahle & Tomasik, 2022; Yee & Bailenson, 2006; Yoo et al., 2015), l'hypothèse de l'échec du protocole à mettre en évidence le phénomène est à considérer. La tâche mnésique employée pour étudier l'effet Proteus est susceptible d'avoir impliqué l'intervention de processus psychologiques relatifs à la motivation à atteindre un but, par exemple, ayant pu interférer avec l'apparition d'un effet Proteus (voir Hess et al., 2004).

En somme, dans l'objectif d'approfondir la compréhension théorique de l'effet Proteus, il pourrait être préférable d'employer un protocole expérimental limitant l'intervention de ces processus afin de cibler de manière plus spécifique l'effet des caractéristiques de l'avatar. Le paradigme d'étude de l'effet Proteus sur la tâche d'imagerie motrice apparaît ainsi pertinent car il offre des conditions optimales à la mise en évidence du phénomène.

3. Conclusion générale

3.1. Paradigme d'incorporation : mise en évidence de l'effet Proteus

Les études 1 et 2 visaient à investiguer l'effet de l'incorporation d'un avatar âgé comparativement à un avatar jeune, et d'un avatar obèse comparativement à un avatar normo-pondéré, sur le temps de déplacement en imagerie motrice. Le paradigme d'incorporation a été développé en réalité virtuelle dans le but de favoriser le sentiment d'incorporation des avatars

et ainsi créer les conditions optimales à l'apparition d'un effet Proteus (pour des revues : Beyea et al., 2023; Kiltani et al., 2012). Par ailleurs, l'effet des caractéristiques d'âge et de poids des avatars a été investigué sur une tâche de marche en imagerie motrice dans le but d'éviter l'intervention de retours sensoriels susceptibles de perturber le sentiment d'incorporation des avatars âgé et obèse lors de la réalisation de l'action motrice (voir *Chapitre IV. Partie 2.2.1.*). Conformément à ce qui était attendu, la procédure d'incorporation, consistant en une immersion avec une perspective à la première personne et un couplage visuo-moteur, a permis de faire émerger un sentiment d'incorporation de chacun des avatars. Ces résultats sont cohérents avec les illusions d'incorporation rapportées dans la littérature pour des avatars aussi bien plus âgés (Hershfield et al., 2011; Reinhard et al., 2019; Vahle & Tomasik, 2022; Vogel et al., 2022; Yee & Bailenson, 2006) que plus gros (Normand et al., 2011; Piryankova et al., 2014; Porras Garcia et al., 2019; Provenzano et al., 2020; Rubo & Gamer, 2019; Tambone et al., 2021; Verhulst et al., 2018) par rapport aux participants. De plus, les résultats issus de ces deux études confirment le ralentissement attendu de la vitesse de déplacement en imagerie motrice lors de l'incorporation d'un avatar associé à des stéréotypes négatifs relatifs aux performances physiques (i.e., avatar âgé ou obèse) comparativement à l'incorporation d'un avatar non associé à de tels stéréotypes (i.e., avatar jeune ou normo-pondéré). Autrement dit, l'étude 1 et l'étude 2 démontrent l'émergence d'un effet Proteus sur le comportement moteur en imagerie motrice. L'étude 3 n'a en revanche pas permis de mettre en évidence le phénomène sur les performances mnésiques, possiblement en raison de l'intervention de processus psychologiques annexes.

3.2. Au-delà d'un effet d'amorçage direct, quel rôle du processus d'incorporation ?

Dans la démarche d'approfondissement de la compréhension théorique de l'effet Proteus, les présentes études visaient à tester l'hypothèse selon laquelle le phénomène apparaît au-delà d'un effet d'amorçage situationnel aux stéréotypes relatifs aux caractéristiques de l'avatar incorporé (voir Yee & Bailenson, 2009). Le paradigme expérimental a donc été construit de façon à contrôler l'intervention d'un effet d'amorçage direct sur le comportement moteur. Les stéréotypes relatifs au vieillissement ou relatifs à l'obésité étaient systématiquement activés au travers de la co-présence respective des avatars âgé et jeune ainsi que des avatars obèse et normo-pondéré dans l'environnement virtuel. Cette disposition expérimentale a été employée

afin de pouvoir interpréter toute différence comportementale observée sur la performance en termes d'effet de l'incorporation de l'avatar plutôt qu'en termes d'effet d'amorçage aux stéréotypes. Les résultats des études 1 et 2 démontrent l'apparition d'un effet Proteus tout en contrôlant l'effet d'amorçage aux stéréotypes activés par la simple visualisation des caractéristiques des avatars. En conséquence, ces résultats sont en faveur de l'intervention d'un mécanisme additionnel à celui de l'effet d'amorçage situationnel dans l'apparition de l'effet Proteus (Yee & Bailenson, 2009) et témoignent du rôle spécifique de l'avatar incorporé plutôt qu'observé dans le changement comportemental.

La compréhension du rôle du processus d'incorporation dans l'apparition de l'effet Proteus reste cependant peu précise (voir *Chapitre IV. Partie I.*). Premièrement, certaines études mettent en évidence une corrélation entre le sentiment d'incorporation de l'avatar et l'intensité de l'effet Proteus (Beyea et al., 2021; Kilteni et al., 2013; Mal et al., 2023; Sadek et al., 2022), sans pour autant que cette dernière soit systématiquement retrouvée (Czub & Janeta, 2021; Frisanco et al., 2022; Kocur, Kloss, et al., 2020; Ratan & Sah, 2015; Reinhard et al., 2019; Verhulst et al., 2018). Si les études 1 et 2 du présent travail identifient des corrélations, ces dernières sont inconsistantes : l'étude 1 met en évidence une corrélation avec le sentiment d'incorporation de l'avatar âgé, c'est-à-dire ciblé par les stéréotypes négatifs, tandis que l'étude 2 met en évidence une corrélation avec le sentiment d'incorporation de l'avatar normo-pondéré, non ciblé par de tels stéréotypes. Deuxièmement, le processus d'incorporation est proposé par certains auteurs comme un modérateur de l'effet Proteus, sans que les arguments expérimentaux soient suffisamment nombreux et robustes pour confirmer cette hypothèse (pour une méta-analyse : Ratan et al., 2019). Troisièmement, Yee & Bailenson (2009) avancent que l'incorporation d'un avatar entraîne un changement de perception de soi à l'origine de l'effet Proteus. Cependant, aucune étude ne permet, à notre connaissance, de confirmer une relation entre le processus d'incorporation, un changement de perception de soi et l'apparition de l'effet Proteus. Enfin, si la mise en évidence d'un changement comportemental lors de l'incorporation plutôt que lors de l'observation d'un avatar est interprétée en faveur de l'intervention d'un mécanisme additionnel à celui de l'effet d'amorçage dans l'apparition de l'effet Proteus (Beaudoin et al., 2020; Dupraz et al., 2023a; Yee & Bailenson, 2009), une interprétation alternative mérite d'être étudiée. Dans les études 1 et 2, le contrôle de l'effet d'amorçage aux stéréotypes relatifs aux avatars âgé et obèse a été opérationnalisé au travers de la présence systématique de ces derniers dans l'environnement virtuel, qu'ils soient incorporés ou non. Toutefois, cette méthode de contrôle de l'effet d'amorçage sur l'effet Proteus ne permet pas

d'écarter la possibilité que l'incorporation d'un avatar, comparativement à l'observation de ce dernier, active plus intensément des stéréotypes et/ou aboutisse à un effet d'amorçage comportemental plus important. En effet, la vitesse de marche en imagerie motrice pourrait être davantage influencée lors de l'incorporation que lors de l'observation d'un avatar, tout en l'étant au travers d'un mécanisme commun, celui de l'amorçage. Comme cela avait été proposé concernant les résultats de l'étude de Yee & Bailenson (2009 ; voir *Chapitre IV. Partie I.*), la différence d'effet comportemental consécutif à l'incorporation et à l'observation d'un avatar pourrait s'expliquer par un effet de référence à soi. L'association permise entre l'avatar et le soi, telle qu'imaginée dans un contexte d'incorporation, pourrait permettre un effet d'amorçage comportemental plus important qu'en l'absence d'une telle association (voir Hull et al., 2002).

En somme, les présents résultats, croisés à ceux issus de la littérature, sont en faveur d'un effet spécifique de l'incorporation de l'avatar sur l'apparition de l'effet Proteus (pour des méta-analyses : Beyea et al., 2023; Ratan et al., 2019), mais ne permettent pas de définitivement écarter l'hypothèse de l'intervention d'un mécanisme d'amorçage. Les arguments corrélationnels font également état d'une relation peu robuste entre le sentiment d'incorporation de cet avatar et le changement comportemental associé. Il apparaît donc pertinent d'approfondir la compréhension du rôle spécifique du déplacement de la conscience de soi corporelle vers le corps de l'avatar (i.e., incorporation) sur l'apparition de l'effet Proteus. Cette démarche pourrait constituer un levier afin d'investiguer le pouvoir explicatif du processus d'auto-perception sur les changements comportementaux observés dans le cadre de l'effet Proteus. Il pourrait être proposé que la considération du corps de l'avatar comme étant sien soit déterminante au changement de perception de soi proposé comme étant à l'origine de l'effet Proteus (voir *Chapitre III. Partie 3.3.* ; Yee & Bailenson, 2007).

CHAPITRE VI.

Effet Proteus : rôle de la conscience de soi corporelle

Etude 4 et Etude 4bis

1. Introduction

Si l'effet Proteus est étudié au travers des paradigmes d'incorporation d'un avatar, immersifs ou non, le rôle spécifique du processus d'incorporation sur l'apparition du phénomène reste peu clair. Les études qui apportent des arguments en faveur d'une telle relation sont 1) peu nombreuses en regard du nombre d'études menées sur l'effet Proteus, 2) sont principalement corrélationnelles, et 3) conduisent à l'émergence de résultats largement inconsistants et/ou teintés de l'intervention de facteurs confondants (e.g., relation identitaire à l'avatar, exposition au corps virtuel ; voir *Chapitre IV. Partie I.*). Par ailleurs, les résultats en faveur d'un effet de l'incorporation sur l'effet Proteus ont parfois été attribués à un mécanisme relatif à la perception de soi (Yee & Bailenson, 2009), bien que l'intervention de ce dernier n'ait, à notre connaissance, pas été examinée. En somme, il apparaît qu'une méthodologie expérimentale plus contrôlée est nécessaire pour mieux appréhender le rôle du processus d'incorporation sur l'apparition de l'effet Proteus d'une part, et l'intervention de mécanismes relatifs à des changements de perception de soi d'autre part. S'il est confirmé que le processus d'incorporation d'un avatar est déterminant pour l'apparition de l'effet Proteus et entraîne des changements de perception de soi, ce processus pourrait être un levier essentiel à l'approfondissement théorique du phénomène.

Cette étude avait pour objectif d'approfondir la compréhension des mécanismes explicatifs de l'effet Proteus. Premièrement, elle visait à investiguer spécifiquement le rôle du processus d'incorporation sur l'apparition de l'effet Proteus, en réduisant l'intervention de mécanismes additionnels susceptibles d'interagir avec le phénomène. Cet objectif participe à l'invitation à confirmer le rôle modérateur de la proximité entre l'utilisateur et l'avatar, favorisée par l'incorporation de l'avatar notamment, sur l'effet Proteus (pour une méta-analyse : Ratan et al., 2019). Conformément à ce qui a été observé sur la perception spatiale

(Banakou et al., 2013), **il était attendu que l'incorporation d'un avatar, c'est-à-dire le fait de considérer le corps de l'avatar comme étant sien, joue un rôle causal sur l'apparition de l'effet Proteus.** Deuxièmement, cette étude visait à investiguer l'intervention d'un mécanisme relatif à la perception de soi sur l'apparition de l'effet Proteus. En accord avec l'effet de l'incorporation attendu sur l'effet Proteus d'une part, et l'effet de l'incorporation observé sur une mesure de perception de soi d'autre part (Banakou et al., 2013), **il était attendu que l'incorporation d'un avatar entraîne un changement de perception de soi, conduisant à l'apparition d'un effet Proteus.**

2. Expérience

Note. Etude acceptée pour publication : Dupraz, L., Beaudoin, M., Guerraz, M., & Barra, J. (23.03.2024). Does the avatar embodiment moderate the Proteus effect? International Journal of Human - Computer Studies.

Does the avatar embodiment moderate the Proteus effect?

Dupraz Louise¹, Beaudoin Marine², Guerraz Michel¹, Barra Julien^{1*4}

¹Université Grenoble Alpes, Université Savoie Mont Blanc, CNRS LPNC UMR 5105, Grenoble, France.

²Université Grenoble Alpes, Université Savoie Mont Blanc, LIP\PC2S, Grenoble, France.

Abstract

The Proteus effect refers to the tendency for individuals to conform to the stereotypes related to the visual characteristics of the avatar used in a virtual environment. If the phenomenon has been widely observed, underlying mechanisms (e.g., self-perception, priming) and moderation factors, such as avatar embodiment, need confirmation. The sense of embodiment emerges when the properties of the avatar are processed in the same way as the properties of the biological body. The objective of the present study was, first, to investigate the effect of avatar embodiment on the Proteus effect related to the influence of an elderly avatar on motor imagery, and second, to examine the extent to which this relationship is explained by a change in self-perception. In two virtual reality studies, the agency and the self-location components of embodiment were manipulated through visuo-motor synchronization and visual perspective respectively. The time required to perform motor imagery displacements while being embodied (visuo-motor synchrony and/or first-person perspective) or not (visuo-motor asynchrony and/or third-person perspective) in an elderly avatar was measured. The results showed that the Proteus effect was not stronger the more participants embodied the elderly avatar, which does not support that embodiment moderates the Proteus effect. Moreover, analyses did not confirm that change in explicit self-perception mediates the relationship between embodiment and the Proteus effect. The Proteus effect is discussed in the light of the avatar identification process and the active-self account: crossover between these mechanisms could offer new insights into understanding the influence of avatars on individuals' behavior.

Keywords Proteus effect, embodiment, avatar, virtual reality, self-perception

⁴**Received:** 24 November 2023 / **Accepted:** 23 March 2024

*Corresponding author: Julien Barra, Laboratoire de Psychologie et Neurocognition, Université Savoie Mont Blanc, Chambéry, julien.barra@univ-smb.fr

Introduction

Interactions with the surrounding environment largely rely on the biological body and the mental representation of this body. The emergence of virtual environments has led to new relationships between the body and the self. Indeed, interactions within such environments are mainly based on a digital representation of the body: the avatar. While individuals have great freedom to customize the appearance of their avatars and control their actions, the ever-increasing use of virtual technology and virtual life experiences in society raises the question of the influence of avatars on users. The Proteus effect is one such influence.

Proteus effect: reliable phenomenon, non-consensual theories.

The Proteus effect refers to the tendency for individuals to “conform to expectations and stereotypes of the identity of their avatars”, that is the stereotypes related to the visual characteristics of the avatar used in a virtual environment (Yee & Bailenson, 2007). The phenomenon has been studied with various visual features of avatars such as race (Ash, 2016; Peck et al., 2013), gender (Lee et al., 2014; Ratan & Sah, 2015), body shape (Kocur, Schauhuber, et al., 2020; Peña & Kim, 2014; Yee & Bailenson, 2007), clothing (Guegan et al.,

2016; Peña et al., 2009), famously features (Banakou et al., 2018; Frisanco et al., 2022), or age (Banakou et al., 2013; Yee & Bailenson, 2006), and outcomes have been varied, including social interactions, attitudes, cognitive performances, perception or motor behaviors (for reviews: Beyea et al., 2023; Praetorius & Görlich, 2020; Pyasik et al., 2022; Ratan et al., 2019; Szolin et al., 2022). For example, relative to the negative stereotypes associated with motor abilities of elderly people, studies have demonstrated lower motor performances (e.g., walking speed, grip strength) when young participants are using an elderly avatar compared to a young avatar (Beaudoin et al., 2020; Reinhard et al., 2019; Vahle & Tomasik, 2022; Yoo et al., 2015).

Two alternative theories have been identified to explain the Proteus effect, the self-perception theory (Yee & Bailenson, 2007), and the priming theory (Peña, 2011; Peña et al., 2009). Originally, the self-perception theory postulates that individuals infer their own attitudes, emotions, and internal states from observing their own behaviors and/or the situation in which they occur (Bem, 1972). Under the Proteus effect, the user would observe the avatar, considered as the representation of the self in the virtual environment, to infer identity cues. The

user then conforms to the stereotypes associated with this new identity (Yee & Bailenson, 2007). It is important to notice that the self-perception theory as an explanation of the Proteus effect has recently been questioned (Walther & Lew, 2022). Walther & Lew (2022) highlight two main differences between the original self-perception theory (Bem, 1972) and the self-perception theory in the context of the Proteus effect (Yee & Bailenson, 2007). First, behavior is the cause in the original self-perception theory, while it is the consequence in the Proteus effect. Second, the inference process is based on the observation of behavior in the original self-perception theory, while it is based on the observation of the avatar's appearance in the Proteus effect. Thus, the authors suggest that self-perception in the context of the Proteus effect refers to the observation of the avatar's appearance that activates stereotypes, which is more in line with a concept of self-perception rather than the theory (Walther & Lew, 2022). Alternatively, the priming theory postulates that situational cues linked to associative structures such as stereotypes activate behavioral responses increasing the likelihood to act accordingly (Bargh et al., 1996) and decreasing the likelihood to act incongruently (Dijksterhuis & van Knippenberg, 1996). Under the

Proteus effect, the avatar, and more precisely its features associated with stereotypes, would be considered as situational cues likely to activate consistent behavioral responses or inhibit inconsistent ones, and then promote the adoption of stereotype-congruent behaviors.

To date, there is no empirical evidence that definitively supports one theory over the other. Peña et al. (2009) have argued in favor of the priming theory in that it enables to explain inhibition effects (i.e., inhibition of positive thoughts using black-cloaked avatars compared to white-cloaked avatars), what self-perception theory seems less able to do. Conversely, Yee & Bailenson (2009) supported the self-perception theory because a stronger avatar effect was observed in a condition where participants controlled an avatar compared to a condition where they observed the avatar. Additionally, two previous studies pointed in favor of an additional effect to that of priming for explaining the Proteus effect. Indeed, despite the systematic co-presence of a negatively stereotyped avatar (e.g., elderly, obese) and a non-stereotyped avatar (e.g., young, healthy-weighted), participants were slower during a locomotor imagery task when they controlled and were immersed in the stereotyped avatar's body

compared to the non-stereotyped avatar's body (Beaudoin et al., 2020; Dupraz et al., 2023b). Consistently, a meta-analysis suggested that factors contributing to the association between avatar and self, such as participant's control over the avatar, might act as moderators of the Proteus effect (Ratan et al., 2019). For instance, a Proteus effect was observed for participants who controlled the movements of the avatar but not for participants exposed to an avatar that followed independent movements (Banakou et al., 2013; Peck et al., 2013). Additionally, control over the avatar's movements led to a stronger implicit association between the self and the avatar-related stimuli (Banakou et al., 2013).

However, additional evidence is needed to confirm the moderating effect of participant-avatar closeness on the Proteus effect (Ratan et al., 2019). First, experimental supporting evidence remains limited in number. Second, existing supporting evidence results from protocols that involve confounded factors. For instance, in Yee & Bailenson's study (2009), the experimental conditions differed in terms of control over the avatar as well as in terms of relationship to the avatar (i.e., "it is your avatar" vs. "it is not your avatar"). In the same vein, Peck et al.

(2013)'s experimental conditions differed in terms of motor control and in terms of visual exposure to the virtual body (i.e., absence vs. presence of the virtual body in first-person perspective). Third, whereas several studies found that the stronger the sense of embodiment of the avatar the greater the Proteus effect (Ash, 2016; Beaudoin et al., 2020; Beyea et al., 2021; Kilteni et al., 2013), several other studies did not observe such positive relationship between the intensity of the embodiment illusion of the stereotyped avatar and the Proteus effect (Czub & Janeta, 2021; Dupraz et al., 2023b; Frisanco et al., 2022; Kocur, Schaubhuber, et al., 2020; Ratan & Sah, 2015; Reinhard et al., 2019; Verhulst et al., 2018). A better understanding of the Proteus effect requires identifying the conditions under which the phenomenon occurs. To this end, a more controlled methodology is needed, especially for further investigation of the effect of avatar embodiment within which the concept of control over the avatar takes place.

Avatar embodiment illusion: processing the avatar's body as one's own.

Embodiment, and more precisely the sense of embodiment, refers to the sense that emerges when the properties of an external object (e.g., fake hand, avatar) are processed in the same way as the

properties of the biological body (de Vignemont, 2011). Commonly, three components are considered to contribute to the sense of embodiment, namely agency, self-location, and body ownership (Kilteni, Groten, et al., 2012; Longo et al., 2008).

Sense of agency refers to the sense of controlling the body and that body parts act according to one's own intentions. It largely relies on the correlation between the participant's action and the sensory feedback of that action (Haggard & Tsakiris, 2009) such as synchronous visuo-motor correlation. More precisely, performing movements while observing an external bodily object responding in real time with the same movements leads to a sense of agency over that bodily object. Coherently, the sense of agency decreases with delay between participant's and fake body's movements (i.e., asynchronous visuo-motor stimulations; Ismail & Shimada, 2016; Kalckert & Ehrsson, 2012, 2014; Kim et al., 2020; Sanchez-Vives et al., 2010).

The second component of embodiment, the sense of self-location, refers to the sense of being self-spatialized inside the body. It depends on the perspective through which the individuals perceive themselves (Ehrsson, 2007; Lenggenhager

et al., 2007) that is, in the context of virtual immersion, in first-person perspective (i.e., egocentric point of view, seeing the avatar's body when looking down toward the own body) or in third-person perspective (i.e., external-body perspective; e.g., from behind the avatar's back). It occurs that embodiment illusions are stronger when participants are immersed in first-person perspective compared to third-person perspective (Giroux et al., 2021; Gorisse et al., 2017; Kim et al., 2020; Kokkinara et al., 2016; Maselli & Slater, 2013).

Finally, the sense of body ownership refers to the sense of owning the body that is perceived as the source of sensations. It depends on bottom-up and top-down processes based on sensory inputs and body representation respectively (Tsakiris & Haggard, 2005b). Indeed, body ownership illusions are triggered with the synchronous combination of somesthetic inputs originating from the hidden biological body with visual inputs coming from the seen external bodily object (e.g., visuo-proprioceptive, visuo-tactile stimulations; Botvinick & Cohen, 1998; Kalckert & Ehrsson, 2014; Petkova & Ehrsson, 2008; Slater et al., 2008, 2009; Walsh et al., 2011). On the other hand, body ownership illusions are stronger when the external object possesses

humanoid body shape and body features (Kim et al., 2020; Tsakiris & Haggard, 2005b).

Virtual reality technology has proven to be an extremely appropriate tool to manipulate the sense of embodiment (Spanlang et al., 2014). Indeed, it allows to dissociate the visual feedback provided in the head mounted display (HMD) from the actual appearance, configuration (e.g., body position), stimuli (e.g., somesthetic inputs), and dynamics (e.g., movements) of the participant's biological body.

Introduction to the present study

The main objective of the present study was to further investigate the effect of avatar embodiment on the Proteus effect. According to Ratan et al.'s meta-analysis (2019), a stronger Proteus effect is expected with stronger closeness between the participant and the avatar. Thus, conditions that offer optimal features to induce a sense of embodiment of the avatar should promote the Proteus effect compared to conditions that do not. The existence of three components of embodiment affords different ways to manipulate the sense of embodiment, targeting these components simultaneously or in isolation. In that respect, the present study focused on the manipulation of the agency and the self-

location components because it relies to a large extent on distinct methodological features that are motor control and visual perspective respectively. Interestingly, these features are encountered in the context of video games in that the character-avatar can move in response to the player's actions (e.g., via mouse and keyboard, controller or even motion capture), and the visual perspective that the player has of the game varies between first-person (e.g., Call of Duty) and third-person (e.g., Assassin's creed), which makes the present focus on these components relevant to understand the consequences of avatar use on behavior. Body ownership is more difficult to manipulate specifically. Firstly, manipulating the avatar's anatomical and visual features (i.e., top-down process), as also proposed in video games through customization settings, is likely to interfere with the paradigms implemented to induce the Proteus effect, based on the avatar's appearance. Secondly, sensory inputs (i.e., bottom-up process), and proprioceptive inputs in particular, are already recruited when asking participants to perform movements to induce a sense of agency.

The second objective of the present study was to investigate the extent to which changes in self-perception can explain the

expected relationship between embodiment and the Proteus effect. Although several studies argue in favor of an additional mechanism to that of priming to explain the Proteus effect (Beaudoin et al., 2020; Dupraz et al., 2023b; Yee & Bailenson, 2009), no experimental evidence confirms the involvement of self-perception. According to the self-perception account, the appearance of the embodied avatar is expected to activate stereotypes and impact the participant's self-perception (Walther & Lew, 2022; Yee & Bailenson, 2007). The change in self-perception is then expected to mediate the effect of embodiment on the Proteus effect.

Study 1

Method

Overview

The Proteus effect investigated in the present study is based on the impact of elderly avatar embodiment on motor imagery performance. In line with aging stereotypes related to motor abilities (Levy, 2009) and according to previous results based on a similar paradigm (Beaudoin et al., 2020; Dupraz et al., 2023b), a longer locomotor imagery time is expected when participants embody an elderly avatar compared to a control condition without the elderly avatar.

A full-embodiment condition was designed to maximize the sense of embodiment, in which control over the avatar's movements was allowed (i.e., agency) and immersion was in first-person perspective (i.e., self-location). An impaired-embodiment condition was designed to reduce the sense of embodiment by preventing control over the avatar's movements (i.e., no-agency condition), by immersing participants in third-person perspective (i.e., no-self-location condition), or by combining these two conditions (i.e., total-impaired-embodiment condition, with no-agency and no-self-location). A control condition was designed without the elderly avatar to avoid any putative influence of elderly-related features. Regarding the theoretical hypothesis related to the effect of embodiment on the Proteus effect, locomotor imagery time is expected to be longer in both the full- and the impaired-embodiment conditions compared to the control condition (i.e., Proteus effect). Additionally, it is expected to be longer in the full- compared to the impaired-embodiment condition (i.e., effect of embodiment). Regarding the theoretical hypothesis related to the change in self-perception, a stronger association between the self and the elderly-related attributes is expected in both the full- and the impaired-embodiment conditions

compared to the control condition. Additionally, a stronger association is also expected in the full- compared to the impaired-embodiment condition. This association is expected to predict the motor imagery time.

On this basis, three independent experiments, following the same time sequence of the procedure, were conducted, in which each participant completed the control condition, the full-embodiment condition and one of the three impaired-embodiment conditions (Experiments 1a, 1b, and 1c). The three experiments therefore differed exclusively in terms of the type of impaired-embodiment condition (Experiment 1a: total-impaired-embodiment condition; Experiment 1b: no-agency-embodiment condition; Experiment 1c: no-self-location-embodiment condition). Such a three-experiments design was chosen as it enabled to reduce putative experimental biases associated with the completion of multiple experimental conditions for a single participant (e.g., disinvestment, learning, ordering), and allowed to achieve a single main objective, namely reducing the sense of embodiment. Additionally, it offered the possibility to explore the respective involvement of embodiment components (at least agency and self-location) on the Proteus effect.

Participants

Considering the similar expected effect of embodiment on the Proteus effect for all the three experiments (1a, 1b, 1c), a single a priori power analysis was performed to determine the minimum sample size required for each experiment. The analysis was based on the lower value of the 95% confidence interval of a meta-analytic effect size of the Proteus effect based on studies reporting an interaction effect ($f = .153$; “interaction of an avatar characteristics being moderated by another variable of interest”; Ratan et al., 2019). It recommended a minimum sample size of at least 21 participants for a repeated measure analysis of variance (ANOVA; 1 group, 24 measures, error rate of $\alpha = .05$, power level of .80).

Women students aged 18 to 30 were recruited in Experiments 1a ($N = 30$), 1b ($N = 30$), and 1c ($N = 33$). None of them had ever suffered from any medical or psychiatric condition contraindicated for the usage of virtual reality nor any sensorimotor disability. The study was approved by an institutional ethics committee (USMB-CER_N°2023-03-VRAGE) and all participants provided their informed consent to participate in the study. They were granted with course credits.

Participants whose experimental session encountered technical problems ($N = 1$ and $N = 2$ in Experiment 1a and 1c respectively) and participants identified as outliers on the mean motor imagery time ($N = 2$, $N = 3$ and $N = 4$ in Experiment 1a, 1b and 1c, respectively ; Median Absolute Deviation, MAD, with a threshold fixed to 3; Leys et al., 2013, 2019) were excluded from the statistical analyses. 27 participants were included in Experiment 1a (Age: $M = 19.7$; $SD = 1.6$; Motor imagery ability as measured with the Motor Imagery Questionnaire [MIQ-RS] presented in the Material section : $M = 5.1$, $SD = 1.1$), in Experiment 1b (Age : $M = 19.7$, $SD = 2.4$; MIQ-RS : $M = 4.8$, $SD = 1.2$), and in Experiment 1c (Age : $M = 19.2$, $SD = 1.2$; MIQ-RS : $M = 4.7$, $SD = 1.1$).

Material

Virtual reality setup

The virtual reality environment was constructed using Unity software (Unity Technologies, US) and it consisted of a virtual room with white bricks on the wall and a wooden floor. A black wall separated the virtual room in two parts. In front of the black wall, a flowerpot was present on the left side and an office armchair was facing a mirror in the center of the room (Figure 1A₁). Behind the black wall (Figure 1A₂), the virtual room stretched with a

floor that could be horizontal or 15° sloped from the horizontal. White marks were placed on the floor at four possible distances from the armchair (Figure 1B₁ and 1B₂). Participants' ability to perceive the distance and slope characteristics of the virtual environment was tested in a distance and slope estimation task (see Procedure section for the measurements). In each experiment, the participants well perceived the four distances as different from each other (pairwise comparisons: $p_s < .001$) with a mean distance estimation across the three experiments of 1.9m ($SD = 0.9$), 4.5m ($SD = 1.6$), 6.8m ($SD = 2.4$) and 9.6m ($SD = 3.6$) for distance 1, 2, 3 and 4 respectively. In addition, participants perceived the sloping floor as steeper than 15° (one-sample comparisons: $p_s < .001$) with a mean slope estimation across the three experiments of 27.9° ($SD = 8.6$, see Supplementary material for descriptive and inferential statistics).

An elderly woman avatar (estimated age across the three experiments: $M = 77.2$ years, $SD = 6.5$) was constructed using Blender (Blender Foundation, NL) and MakeHuman™ software. When the avatar was presented in the virtual environment, it was seated on the armchair with the elbows on the armrests and holding a computer mouse in each hand. During the

immersion, the participants were asked to sit in that position as well.

A HMD (Oculus Quest 2; Meta Quest, US) including a real-time tracking system of the head's positions and orientations was used for the immersion in the virtual environment, either in the first- or in the third-person perspective. An electromagnetic motion capture system at a frequency of 240Hz (Liberty™, Polhemus, US, CA) was used to track the positions of the participants' forearms. The motion capture sensors were fixed on wrist-splints worn by the participants. The tracking systems enabled to move the avatar's head and forearms in real-time according to the participant's head and forearms' movements (i.e., visuo-motor synchrony). Depending on the experimental condition, the head of the avatar could also remain static facing the virtual mirror (only the view in the HMD was updated according to the participant's head movements), and the forearms of the avatar could follow pre-registered movements that were asynchronous to the participant's ones (i.e., visuo-motor asynchrony).

The immersion in the elderly avatar full-embodiment condition was in first-person perspective and respected visuo-motor synchrony (Figure 1C₁). The immersion in

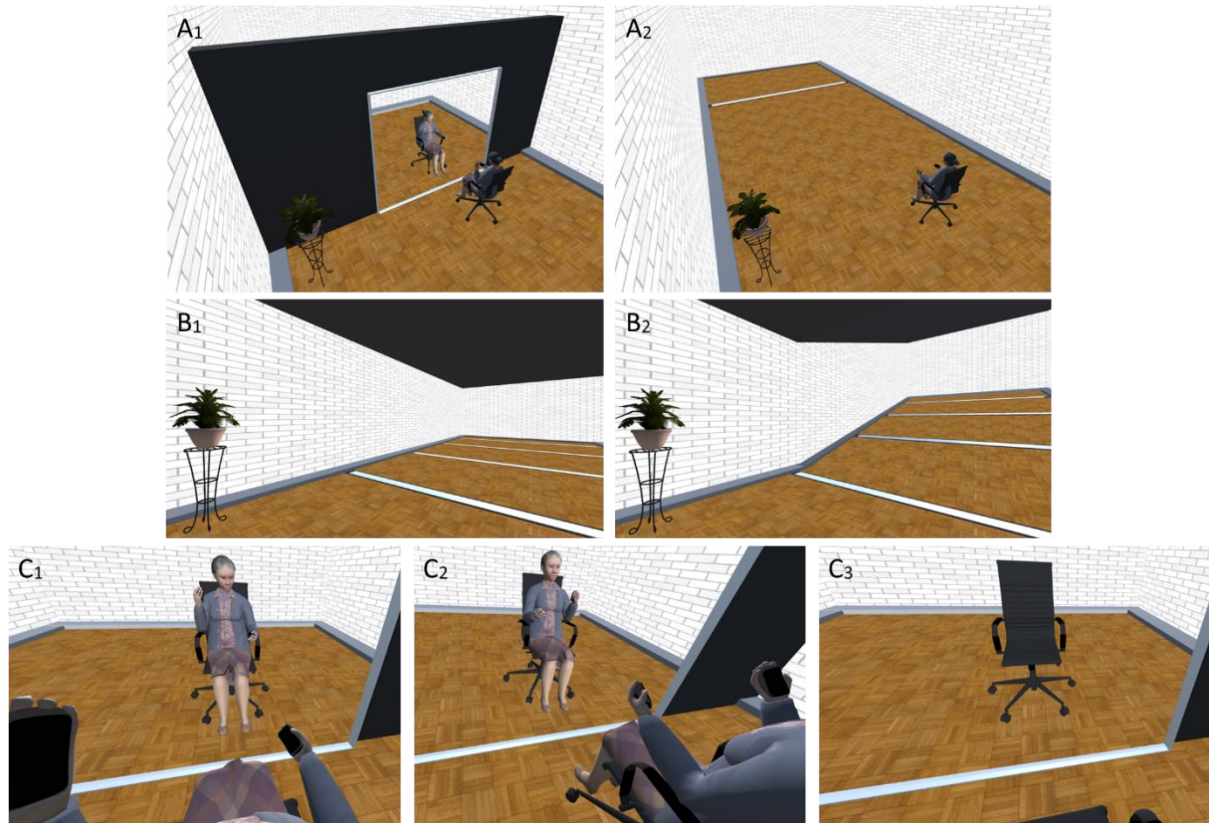
the elderly avatar impaired-embodiment condition was 1) in third-person perspective with visuo-motor asynchrony in Experiment 1a (total-impaired-embodiment condition; Figure 1C₂), 2) in first-person perspective with visuo-motor asynchrony in Experiment 1b (no-agency-embodiment condition), and 3) in third-person perspective with visuo-motor synchrony in Experiment 1c (no-self-location-embodiment condition). Finally, the control condition consisted of the immersion from the same first-person perspective as proposed in other conditions (i.e., perspective from a sitting position on the virtual office armchair), but without any first-person avatar or any other avatar in the virtual environment (Figure 1C₃).

Questionnaires (see Supplementary material for the reliability analyses)

Motor Imagery Questionnaire – Revised Second Version (MIQ-RS; Loison et al., 2013): The kinesthetic motor imagery scale from the MIQ-RS was used to assess the participants' motor imagery ability. The seven items involved performing a motor action and then mentally simulating this action. Each item was scored on a seven-point Likert scale from 1 (very difficult to feel) to 7 (very easy to feel) and a mean score was computed. The higher

the score, the greater the motor imagery ability.

Figure 1. Overview of the virtual setup



Note. Panel A: Overview of the virtual room, A1: in front of the black wall, A2: behind the black wall. Panel B: Four possible distances between the white mark and the armchair (marks presented one at a time during the motor imagery task), B1: on the horizontal floor, and B2: on the sloping floor. Panel C: Examples of the view displayed in the HMD during the experimental conditions. C1: Full-embodiment condition, with first-person perspective and visuo-motor synchrony (the avatar follows in real-time the movements performed by the participant). C2. Total-impaired-embodiment condition (Experiment 1a) with third-person perspective and visuo-motor asynchrony (the head of the avatar is static, and the avatar follows pre-registered forearm's movements different from the movements performed by the participant). C3. Control condition, with first-person perspective but no elderly avatar.

Avatar embodiment questionnaire: The embodiment questionnaire was used to assess the agency, the self-location, and the

body ownership components (for a review: Kilteni et al., 2012). Two validated questionnaires were initially considered to

assess the sense of embodiment of the avatar (Peck & Gonzalez-Franco, 2021; Roth & Latoschik, 2020). However, because the first lacks the measurement of the self-location component (Roth & Latoschik, 2020), and because the second includes items that were inappropriate for the present paradigm (e.g., items related to visuo-tactile stimulations; Peck & Gonzalez-Franco, 2021), neither questionnaire was selected, as a whole, for the present study. Thus, the sense of body ownership and the sense of agency were assessed using four items each from the Virtual Embodiment Questionnaire (Roth & Latoschik, 2020). The sense of self-location was assessed using three items commonly used for such an evaluation in various studies (e.g., Kim et al., 2020; Peck & Gonzalez-Franco, 2021; Piryanova et al., 2014). The eleven items were randomized and scored on a seven-point Likert scale from 1 (strongly disagree) to 7 (strongly agree). A mean score was calculated for each component and for the global sense of embodiment. The higher the score, the stronger the sense of avatar embodiment.

Self-perception questionnaire: An aging-related self-perception questionnaire was constructed with 21 aging-related attributes and 21 neutral attributes in terms of age. These attributes were

selected from a pre-test study (N = 30) which enabled to identify 1) the most typical elderly-attributes from the Schmidt & Boland's initial list (1986), and 2) the attributes considered to be equally representative of young and elderly individuals from a list of individual-describing labels. Each item consisted of a statement associating the individual with the attribute (e.g., "I am a person set in her ways", "I am a lucky person"). The 42 items were randomized and scored on a seven-point Likert scale from 0 (completely not me) to 6 (completely me). A self-attribution score of aging-related attributes was calculated by summing up the responses to the aging-related items. The higher the self-attribution score, the greater the association between the self and the avatar-related attributes.

General Beliefs about Physical Functioning instrument (GBPF; Lineweaver et al., 2017): The questionnaire was used to assess the aging stereotypes related to seven motor abilities of elderly (i.e., strength, balance, endurance, visuo-motor coordination, global motor coordination, flexibility, gait; gait was added from the original GBPF given its relevance with the locomotor imagery task performed in the experiment). For each motor ability, participants assigned a level for a typical person aged 20 to 90 years (with a decade

step), using a visual analog scale (vertical line of 10 cm) ranging from a very low to a very high level of ability. Stereotype scores (mean and for each motor ability) were computed from the value of the linear slope of the expected decline of physical ability with aging. The more negative the score, the stronger the support for the negative aging stereotypes related to physical ability.

Procedure

In each of the three experiments (1a, 1b, and 1c), participants performed three experimental sessions lasting 45 minutes each and at least 24 hours apart. Each session was devoted to one embodiment condition (i.e., full-embodiment, impaired-embodiment, control), in a counterbalanced order (see Figure 2 for the time sequence of one experimental session). At the beginning of the first experimental session, the participants completed the MIQ-RS.

Embodiment phase. Once immersed, the participant was invited to freely explore the virtual environment and her self-avatar (except in the no avatar control condition). Then, during the one-minute embodiment phase, the participant performed forearms' movements by alternating flexions and extensions to the rhythm of a metronome set at 35 beats per

minute. During this phase, the avatar either faithfully reproduced the participant's head and forearms' movements (i.e., visuo-motor synchrony) or not (i.e., static head and pre-registered movements animation for the forearms) depending on the embodiment condition. This embodiment phase was repeated before each block of the motor imagery task.

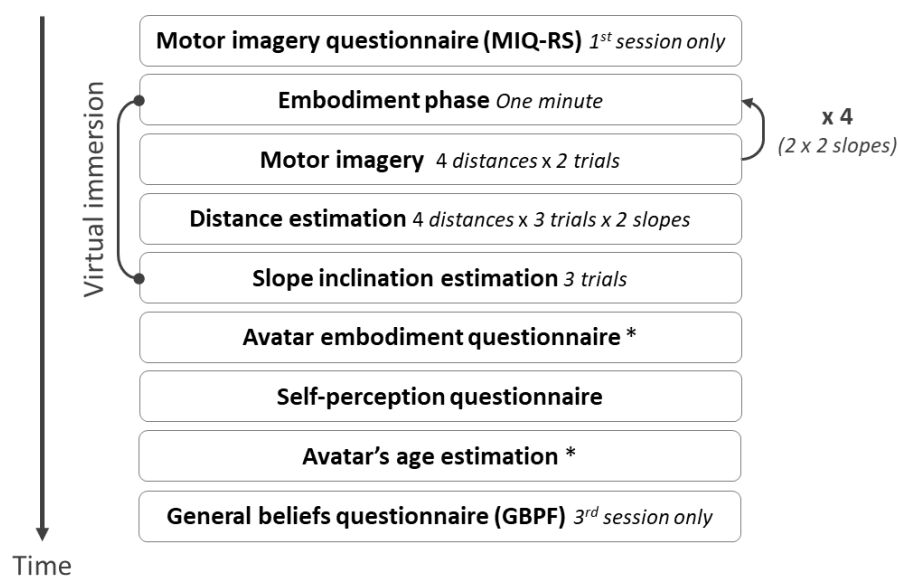
Motor imagery task. The task was to simulate the displacement from the armchair to the white mark on the floor. Each trial included mentally representing getting up from the armchair, walking to the mark and setting both feet on it, while focusing on the kinesthetic sensations. The participant was asked to visualize the mark, close her eyes, and click on the computer mouse at the starting and the ending of the mental displacement. The time taken to perform the trial (i.e., time between the two clicks) was recorded. Each experimental condition included familiarization trials followed by 32 recorded trials including 4 blocks of 8 trials; one block consisted of two trials per distance presented in a randomized order (four distances). 2 blocks for each slope condition (horizontal and sloping) were presented in a counterbalanced order.

Distance and slope estimation tasks. Once the imagery task was performed, the participant was asked to estimate the distance (in meters) between her and the white mark. Three estimations per distance (presented in a randomized order) were performed for each slope condition (presented in a counterbalanced order). Then, an estimation of the sloping floor inclination was recorded using the electromagnetic motion capture system. The participant was successively asked to set her right forearm to the horizontal and then to raise the forearm to reproduce the slope inclination (palm down and the elbow on the armrest). The mean angle

between the two positions (recorded three times each) was interpreted as the slope estimation of the sloping floor.

Questionnaires completion. After the immersion phase, the participant completed the avatar embodiment questionnaire, the self-perception questionnaire, and was invited to estimate the age of the elderly avatar (except in the control condition in which no embodiment questionnaire and no age estimation were collected). At the end of the third experimental session, the participant completed the GBPF instrument.

Figure 2. Time sequence of the procedure in an experimental session



Note. *Specific to the full- and the impaired-embodiment conditions.

Results

The following confirmatory statistical analyses were pre-registered using Open Science Framework (OSF; https://osf.io/2ed7c/?view_only=967c7ef446e94e60a4692778e8380cb5). Each analysis was conducted in all three experiments. Further descriptive and inferential statistics are presented in supplementary material.

Sense of embodiment scores

Paired t-test comparisons, or Wilcoxon tests when assumptions for parametric tests were not met, were performed

between the full-embodiment conditions and the impaired-embodiment conditions.

For Experiment 1a, 1b and 1c, the global sense of embodiment score was higher in the full-embodiment condition compared to the impaired-embodiment condition ($ps < .001$). The same pattern was observed for the body ownership, the agency, and the self-location scores ($ps < .05$), except for the sense of self-location score in the Experiment 1b that did not differ between the full- and the no-agency-embodiment condition, $V = 161, p = .979$, IC 95% [-0.49, 0.49] (Table 1).

Table 1. The global sense of embodiment score, and the body ownership, the agency, and the self-location scores in the Full- and the Impaired-embodiment conditions in Experiments 1a, 1b, and 1c

A	Experiment 1a		Experiment 1b		Experiment 1c	
	Full	Impaired	Full	Impaired	Full	Impaired
Global embodiment	5.4 (0.9)	2.8 (1.0)	5.21 (0.9)	4.0 (1.2)	5.6 (0.8)	4.2 (1.1)
Body ownership	4.7 (1.1)	3.2 (0.9)	4.4 (1.3)	3.8 (1.3)	5.0 (1.1)	3.8 (1.4)
Agency	6.1 (0.8)	2.7 (1.3)	6.1 (0.8)	2.9 (1.7)	6.2 (0.6)	5.8 (0.8)
Self-location	5.4 (1.3)	2.4 (1.3)	5.1 (1.0)	5.1 (1.1)	5.7 (1.0)	3.0 (1.8)
B	Experiment 1a		Experiment 1b		Experiment 1c	
	$t(26) = 12.58, p < .001$, IC 95% [2.22, 3.07]		$t(26) = 5.75, p < .001$, IC 95% [0.81, 1.70]		$t(26) = 6.85, p < .001$, IC 95% [1.01, 1.87]	
Body ownership	$t(26) = 7.08, p < .001$, IC 95% [1.09, 1.97]		$t(26) = 2.22, p = .035$, IC 95% [0.05, 1.15]		$t(26) = 4.94, p < .001$, IC 95% [0.70, 1.69]	
Agency	$V = 378, p < .001$,		$V = 346.5, p < .001$,		$V = 237, p = .002$,	

	IC 95% [2.88, 3.99]	IC 95% [2.75, 4.12]	IC 95% [0.25, 0.87]
Self-location	$V = 351, p < .001,$	$V = 161, p = .979,$	$V = 296, p < .001,$
	IC 95% [2.50, 3.66]	IC 95% [-0.49, 0.49]	IC 95% [2.34, 3.83]

Note. Panel A: Mean (standard deviation) scores. Panel B: Results of the comparison tests between the full-embodiment condition (visuo-motor synchrony and first-person perspective) and the impaired-embodiment conditions in Experiment 1a (total-impaired-embodiment condition: visuo-motor asynchrony and third-person perspective), Experiment 1b (no-agency-embodiment condition: visuo-motor asynchrony and first-person perspective), and Experiment 1c (no-self-location-embodiment condition: visuo-motor synchrony and third-person perspective).

Motor imagery time

Repeated measure within-subject ANOVAs were performed (3 embodiment conditions x 4 distances x 2 slopes). They were even performed in the few occasions where Lilliefors' test did not confirm the normality assumption because of their robustness to the normality violation in terms of Type I error rate (Blanca et al., 2017; Harwell et al., 1992; Schmider et al., 2010). Greenhouse-Geiser's correction was applied when the Mauchly's tests revealed sphericity violations. Holm's correction was used for post-hoc comparisons. The results are presented in Figure 3.

Experiment 1a

The ANOVA demonstrated a main effect of the distance, $F(1.17, 30.33) = 222.59, p < .001, \eta^2G = .508$, such that the further the white mark, the longer the motor imagery time. The analysis did not reveal any effect

of the embodiment condition, $F(2, 52) = 0.15, p = .861, \eta^2G < .001$ (full-embodiment: $M = 7.2s, SD = 3.8$; total-impaired-embodiment: $M = 7.3s, SD = 3.7$; control: $M = 7.1s, SD = 3.6$). An interaction effect between the distance and the slope condition was observed, $F(2.06, 53.53) = 6.36, p = .003, \eta^2G = .004$, but corrected post hoc analyses did not reveal variation of the effect of slope between the four distances ($ps > .161$). No other effect was observed ($ps > .530$).

Experiment 1b

The ANOVA revealed a main effect of the distance, $F(1.08, 28.01) = 137.25, p < .001, \eta^2G = .369$, a main effect of the slope, $F(1, 26) = 9.27, p = .005, \eta^2G = .005$, and an interaction between these two variables, $F(1.54, 40.10) = 17.34, p < .001, \eta^2G = .005$. Indeed, the motor imagery time was longer for the sloping floor compared to the horizontal floor but exclusively for the

distance 3, $t(26) = -3.27, p = .006$, IC 95% [-1.53, 0.00], and the distance 4, $t(26) = -6.06, p < .001$, IC 95% [-2.18, -0.65].

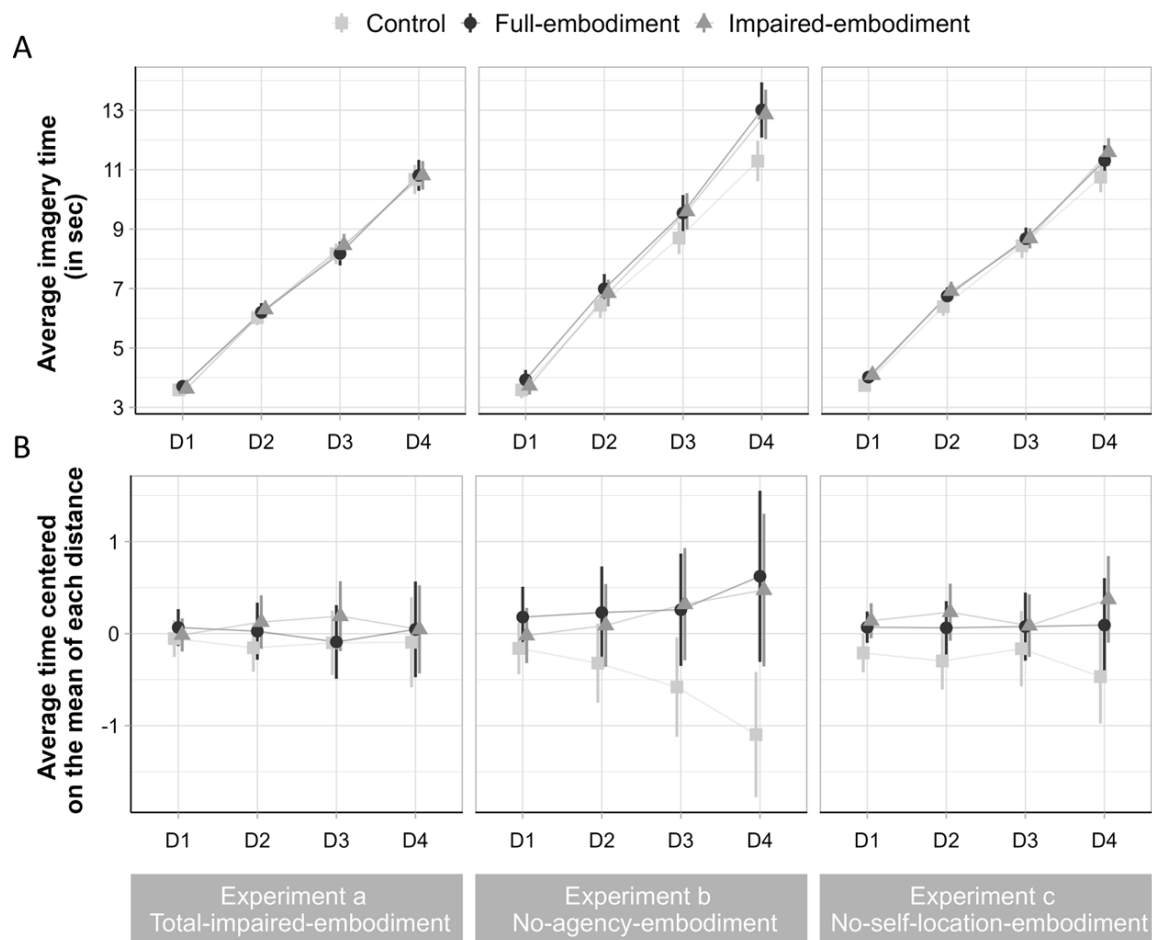
The analysis did not reveal any effect of the embodiment condition, $F(1.45, 37.78) = 2.83, p = .087, \eta^2G = .008$ (full-embodiment: $M = 8.4s, SD = 5.7$; no-agency-embodiment: $M = 8.3s, SD = 5.4$; control: $M = 7.5s, SD = 4.7$). However, an interaction effect between the embodiment condition and the distance was observed, $F(2.07, 53.90) = 3.26, p = .044, \eta^2G = .004$. More precisely, for the distance 4 exclusively, the motor imagery time in the control condition was lower than that in the full-, $t(26) = 3.71, p = .006$, IC 95% [0.11, 3.33], and the no-agency-embodiment conditions, $t(26) = 3.38, p = .016$, IC 95% [-0.05, 3.18], but these latter conditions remained not different from

each other, $t(26) = 0.32, p = 1$, IC 95% [-1.47, 1.76]. No other effect was observed ($ps > .240$).

Experiment 1c

The ANOVA demonstrated a main effect of the distance, $F(1.25, 32.37) = 212.33, p < .001, \eta^2G = .511$, and an interaction effect between the distance and the slope, $F(2.10, 54.58) = 5.49, p = .006, \eta^2G = .004$. Indeed, the motor imagery time was longer for the sloping floor compared to the horizontal floor for the distance 4 exclusively, $t(26) = -3.53, p = .003$, IC 95% [-0.68, -1.32]. The analysis did not reveal any effect of the embodiment condition, $F(2, 52) = 1.06, p = .355, \eta^2G = .006$ (full-embodiment: $M = 7.7s, SD = 3.7$, no-self-location-embodiment: $M = 7.8, SD = 3.7$, control: $M = 7.3, SD = 3.8$). No other effect was observed ($ps > .099$).

Figure 3. Motor imagery time (in seconds) depending on the distance and the embodiment conditions, in Experiment 1a, 1b and 1c



Note. Panel A: Mean motor imagery time (in seconds). Panel B: Mean motor imagery times centered on the mean time in each distance condition. D1 – D4: distance 1 to distance 4. The error bars correspond to the standard error of the mean.

Discussion Study 1

Despite the efficiency of the protocol to induce a sense of embodiment of the elderly avatar in the full-embodiment condition, it failed to demonstrate a Proteus effect in all three experiments. Indeed, we observed no difference in motor imagery time between the elderly

avatar embodiment conditions and the control conditions. A shorter locomotor imagery time was observed in the control condition compared to conditions with the elderly avatar but exclusively for the distance 4 in Experiment 1b, which does not constitute sufficient evidence to conclude for a Proteus effect. Considering the absence of a Proteus effect, the

respective involvement of the agency and self-location components of embodiment on the phenomenon was not explored. In contrast to the present results, previous studies have demonstrated a negative impact of an elderly self-avatar on motor performance (Reinhard et al., 2019; Vahle & Tomasik, 2022; Vogel et al., 2022; Yoo et al., 2015). Additionally, a similar paradigm to the present one was used in two previous studies that efficiently demonstrated a Proteus effect on a locomotor imagery task. Participants took indeed more time to complete locomotor imagery trials when they embodied a negatively stereotyped avatar relative to motor abilities than when they embodied a non-negatively stereotyped avatar (elderly versus young avatar: Beaudoin et al., 2020; obese versus healthy-weight avatar: Dupraz et al., 2023). The main difference between these studies lies in their control condition. While in the latter the negative stereotyped avatar was compared to a control condition also including an avatar but without such negative stereotypes (e.g., elderly versus young), the present control condition included no avatar to avoid any potential influence of avatar's characteristics on motor imagery performance. However, beyond the fact that the absence of an avatar implies no sense of embodiment, it more importantly

implies the absence of bodily reference in the virtual environment, which might have a negative impact on both the accuracy of spatial perception (Mohler et al., 2010; Yadav & Kang, 2022) and motor performance (Berg et al., 2023). For this reason, Experiment 2 was designed to conceptually replicate Experiment 1, while addressing this limitation.

Study 2

Method

Overview

Experiment 2 also required three experimental conditions, namely an elderly avatar full-embodiment condition, an elderly avatar impaired-embodiment condition and a control condition. To address the limits discussed above, the control condition in Experiment 2 included the embodiment of a “neutral avatar” designed without visual characteristics that might be associated with stereotypes related to motor abilities (e.g., no elderly-related visual characteristics; Figure 4A). The immersion in the control condition was in first-person perspective with visuo-motor synchrony. The full-embodiment condition was identical to that of Study 1 (i.e., visuo-motor synchrony and first-person perspective) as it was associated with a great sense of embodiment. Finally,

the impaired-embodiment condition was identical to the total-impaired-embodiment condition from Experiment 1a (i.e., visuo-motor asynchrony and third-person perspective) as it strongly reduced the sense of embodiment. As for Study 1, locomotor imagery time is expected to be longer in the full- compared to the impaired-embodiment condition, and the time in both conditions is expected to be longer than that in the control condition. Additionally, a stronger association between the self and the elderly-related attributes is expected in both the full- and the impaired-embodiment conditions compared to the control condition, as well as in the full- compared to the impaired-embodiment condition. This association is expected to predict the motor imagery time.

In Study 2 the motor imagery task was only performed on the horizontal floor (no sloping floor trials). This was motivated because the expected effect of slope on motor imagery time was not consistently observed in Study 1, which may reflect participants' difficulty in considering slope in their imagery movements.

Participants

The a priori power analysis based on the lower value of the 95% confidence interval of a meta-analytic effect size of the Proteus

effect based on studies reporting an interaction effect (i.e., $f = .153$; Ratan et al., 2019) recommended a minimum sample size of 31 participants for a repeated measure analysis of variance (ANOVA; 1 group, 12 measures, error rate of $\alpha = .05$, power level of .80).

Forty-six female students aged 18 to 27 completed the study. None of them were involved in Study 1, and none of them had ever suffered from any medical or psychiatric condition contraindicated for the usage of virtual reality nor any sensorimotor disability. The participants provided their informed consent to participate in the study, and they were granted with course credits. Six of them were excluded from the statistical analyses: two did not present the expected descriptive distance pattern on the motor imagery task, and four were identified as outliers on the motor imagery time differences between the embodiment conditions (MAD with a threshold fixed to 3, Leys et al., 2013, 2019) or on the mean time by embodiment conditions (Cook's distances). Therefore, the statistical analyses were conducted on a total sample size of 40 female participants (Age: $M = 20.0$ years, $SD = 2.1$; Motor imagery ability: $M = 5.4$, $SD = 0.9$).

Material

Virtual reality setup

The virtual reality environment and the white marks set on the horizontal floor, as well as the HMD, the motion tracking system, and the elderly avatar (estimated age: $M = 77.4$ years, $SD = 5.2$) were the same as used in Study 1. A neutral avatar was constructed (Blender, MakeHumanTM; estimated age: $M = 22.9$ years, $SD = 4.2$; Figure 4A). It consisted of an orange humanoid body designed to respect the elderly avatar's body shape. As in the Study 1, participants well perceived the four distances as being different from each other (pairwise comparisons: $ps < .001$; distance 1: $M = 2.1m$, $SD = 1.2$, distance 2: $M = 5.0m$, $SD = 2.1$, distance 3: $M = 7.9m$, $SD = 3.7$, distance 4: $M = 11.2m$, $SD = 5.3$).

Questionnaires

Avatar embodiment questionnaire: The same questionnaire as used in Study 1 was completed. One item relating to body ownership ("The virtual body felt like a human body") was excluded from the score computation due to its negative impact on reliability.

Self-perception questionnaire – Second version: A second version of the self-perception questionnaire was constructed to improve its reliability. Of the 21 aging-

related attributes from the first version, the 10 items that reduced reliability the most if dropped were retained (analysis performed on the self-perception scores from the total sample of Study 1). Ten neutral attributes in terms of age were randomly selected from the 21 first-version attributes.

General Beliefs about Physical Functioning instrument (GBPF; Lineweaver et al., 2017): The GBPF was used as in Study 1. A composite stereotype score was computed from the three motor abilities particularly involved in a getting-up-and-walking task (i.e., gait, balance, global motor coordination).

Procedure

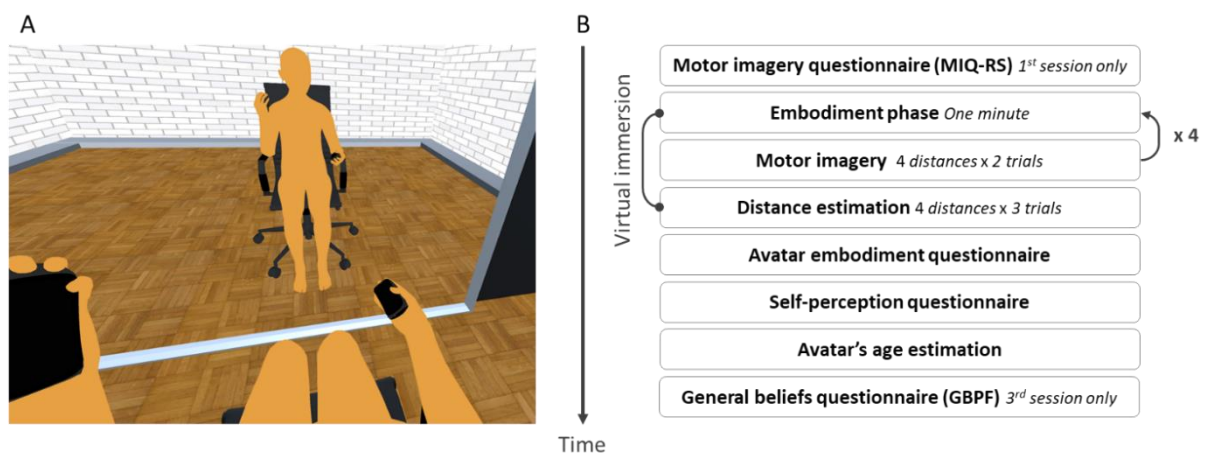
Participants performed three experimental sessions lasting 45 minutes each and at least 24 hours apart. Each session was devoted to one embodiment condition (i.e., full-embodiment, impaired-embodiment, control), in a counterbalanced order (see Figure 4B for the time sequence of one experimental session).

At the beginning of the first experimental session, the participants completed the MIQ-RS. During the virtual immersion, they completed the one-minute embodiment phase with their self-avatar

(see the Procedure Section of Study 1 for more details) followed by the motor imagery task. In each experimental condition, participants performed familiarization trials and 32 recorded trials (4 blocks of 8 trials; one block consisted of two trials per distance presented in a randomized order). A one-minute embodiment phase was repeated

before each block of motor imagery trial. The participant then completed the distance estimation task (3 trials per distance). Once out of immersion, the participant completed the self-perception questionnaire, the avatar embodiment questionnaire, and the estimation of the avatar's age.

Figure 4. Elements of the procedure in Study 2



Note. Panel A: Example of the view displayed in the HMD in the control condition, with first-person perspective and visuo-motor synchrony (the neutral avatar follows in real-time the movements performed by the participant). Panel B: Time sequence of the procedure in an experimental session.

Results

The following confirmatory statistical analyses were pre-registered using OSF (https://osf.io/m54dq/?view_only=9e9164f0a898430aba32857654c62842).

Detailed descriptive and inferential statistics are presented in supplementary material.

Sense of embodiment scores

Paired t-test comparisons, or Wilcoxon tests when assumptions for parametric tests were not met, were performed between the full-embodiment conditions and the impaired-embodiment conditions. Reported p-values for pairwise comparisons are Holm's corrected.

The global sense of embodiment score was higher in the full-embodiment condition compared to the impaired-embodiment condition, $V = 819, p < .001, IC\ 95\% [3.31, 3.96]$, as it was for the body ownership, the agency, and the self-location scores ($ps < .001, Table\ 2$).

Table 2. The global sense of embodiment score, and the body ownership, the agency, and the self-location scores in the Full-, the Impaired-, and the Control embodiment conditions

A	Full-embodiment	Impaired-embodiment	Control
Global embodiment	5.4 (0.8)	1.9 (0.9)	5.6 (0.9)
Body ownership	4.2 (1.4)	1.8 (1.0)	4.8 (1.4)
Agency	6.3 (0.7)	2.0 (1.1)	6.2 (0.8)
Self-location	5.7 (0.9)	1.8 (0.9)	5.7 (1.1)
B	Confirmatory analyses	Exploratory analyses	
	Full vs Impaired	Full vs Control	Impaired vs Control
Global embodiment	$V = 819, p < .001,$ IC 95% [3.31, 3.96]	$t(39) = -1.6, p = .334,$ IC 95% [-0.39, 0.04]	$V = 0, p < .001,$ IC 95% [-4.12, -3.39]
Body ownership	$V = 769.5, p < .001,$ IC 95% [2.00, 3.00]	$V = 162.5, p = .030,$ IC 95% [-1.16, -0.17]	$V = 4, p < .001,$ IC 95% [-3.50, -2.67]
Agency	$V = 820, p < .001,$ IC 95% [4.00, 4.75]	$V = 269.5, p = 1,$ IC 95% [-0.25, 0.37]	$V = 0, p < .001,$ IC 95% [-4.75, -3.88]
Self-location	$V = 820, p < .001,$ IC 95% [3.67, 4.50]	$V = 183.5, p = 1,$ IC 95% [-0.50, 0.33]	$V = 0, p < .001,$ IC 95% [-4.49, -3.51]

Note. Panel A: Mean (standard deviation) scores. Panel B: Results of the comparison tests between the full-embodiment (visuo-motor synchrony and first-person perspective), the impaired-embodiment (visuo-motor asynchrony and third-person perspective), and the control conditions (visuo-motor synchrony and first-person perspective with the neutral avatar).

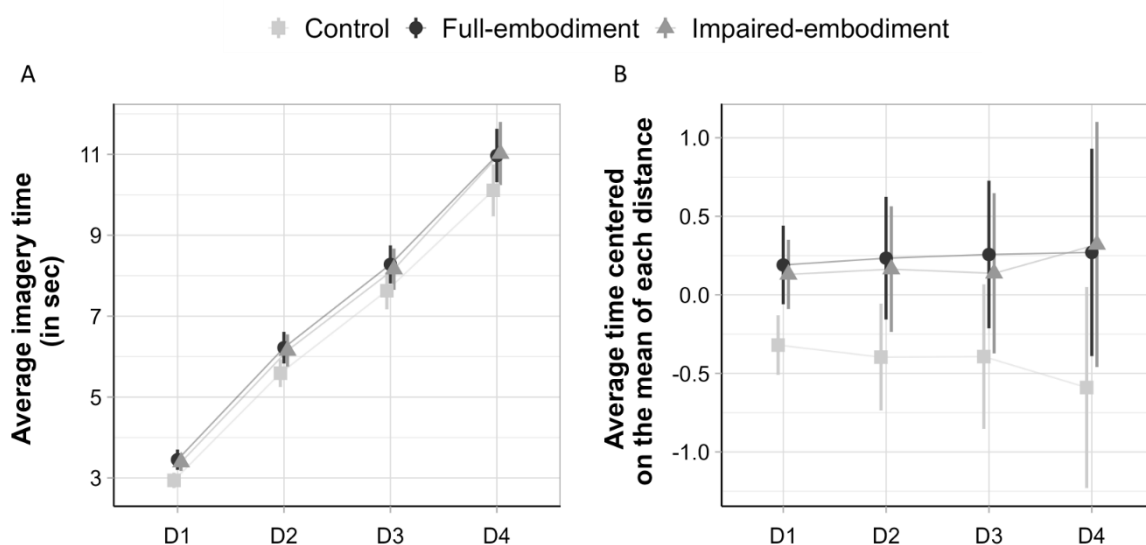
Motor imagery time

A repeated measure within-subject ANOVA (3 embodiment conditions x 4 distances) was performed. Lilliefors' test confirmed the normality of motor imagery time distributions, and Greenhouse-Geiser's corrections were applied when the Mauchly's tests revealed sphericity violations. Contrasts were performed between each embodiment condition (reported p-values are Holm's corrected).

The ANOVA demonstrated a main effect of the distance, $F(1.11, 43.14) = 198.27$ $p < .001$, $\eta^2G = .457$, such that the further the white mark, the longer the motor imagery time. Furthermore, the analysis revealed a

main effect of the embodiment condition, $F(2, 78) = 5.35$, $p = .007$, $\eta^2G = .010$ (Figure 5). Pairwise contrasts demonstrated that participants took less time to complete the motor imagery task in the control condition ($M = 6.6s$, $SD = 3.8$) compared to the full-embodiment condition ($M = 7.2s$, $SD = 4.0$), $b = 0.33$, $SE = 0.11$, $t(39) = 2.91$, $p = .018$, and compared to the impaired-embodiment condition ($M = 7.2s$, $SD = 4.3$), $b = 0.31$, $SE = 0.11$, $t(39) = 2.86$, $p = .018$. However, the latter conditions did not differ from each other, $b = 0.02$, $SE = 0.12$, $t(39) = 0.20$, $p = .841$. No interaction was observed between the distance and the embodiment condition, $F(2.91, 113.57) = 0.81$, $p = .487$, $\eta^2G < .001$.

Figure 5. Motor imagery time (in seconds) depending on the distance and the embodiment conditions



Note. Panel A: Mean motor imagery time (in seconds). Panel B: Mean motor imagery times centered on the mean time in each distance condition. D1 – D4: distance 1 to distance 4. The error bars correspond to the standard error of the mean.

Self-attribution score of the aging-related attributes

Contrasts with Holm's correction were performed between each embodiment condition. The self-attribution score in the full-embodiment condition ($M = 23.1$, $SD = 8.1$) did not differ from the score in the impaired-embodiment condition ($M = 23.8$, $SD = 7.3$), $b = -0.35$, $SE = 0.31$, $t(39) = -1.14$, $p = .526$, nor from the score in the control condition ($M = 22.7$, $SD = 6.7$), $b = 0.18$, $SE = 0.37$, $t(39) = 0.48$, $p = .637$. The latter conditions did not differ either, $b = 0.53$, $SE = 0.24$, $t(39) = 2.16$, $p = .112$.

Discussion Study 2

Supporting the Proteus effect, participants took more time to perform the locomotor imagery task when they were virtually represented by an elderly avatar compared to a neutral one. The Proteus effect is in line with previous studies demonstrating a negative impact of elderly avatar use on walking speed (locomotor imagery: Beaudoin et al., 2020; real walk: Reinhard et al., 2019; computer-simulated walk: Yoo et al., 2015).

General discussion

The objective of the study was twofold, 1) to investigate the effect of avatar embodiment on the Proteus effect, and 2) to examine the extent to which this relationship is explained by a change in self-perception.

Embodiment paradigm: The avatar's body as a reference for body consciousness, spatial perception, and motor performance

In both Study 1 and 2, synchrony between participant's and avatar's movements associated with immersion in first-person perspective led to a higher sense of embodiment compared to conditions that did not offer either or both of immersive features (i.e., asynchrony and/or third-person perspective). This confirms that visuo-motor synchronicity and visual perspective efficiently impact the sense of embodiment (for a review: Kilteni et al., 2012). Furthermore, results of Study 1 demonstrate that such experimental manipulations did not selectively impact either the agency or self-location components, attesting an interaction between the three embodiment components. Firstly, in line with previous results (Guy et al., 2022; Jung et al., 2022),

manipulating visuo-motor synchronicity and/or visual perspective impacted the sense of body ownership. Secondly, while visuo-motor asynchrony did not impact the sense of self-location, immersion in third-person perspective reduced the sense of agency. Thus, it seems that visual perspective of immersion is powerful to manipulate the sense of embodiment. Indeed, first-person perspective guarantees at least in part the emergence of a sense of embodiment of the avatar even in the absence of other optimal features for embodiment (Carey et al., 2019). On the contrary, third-person perspective alters the other embodiment components, even when these are optimally configured for the emergence of a sense of embodiment. Nevertheless, in terms of intensity, visuo-motor asynchrony is the feature that most disturbed the sense of embodiment, highlighting the importance of efferences in body consciousness (Kalckert & Ehrsson, 2012, 2014; Sanchez-Vives et al., 2010; Tsakiris et al., 2005).

Interestingly, exploratory analyses in Experiment 2 revealed a higher sense of body ownership for the neutral avatar compared to the elderly avatar. Presumably, the minimal visual characteristics of the neutral avatar increased ease for participants to identify

with compared to the elderly avatar imbued with specific bodily features that are distant from the young participants' ones. This could be supported by the fact that participants assigned an age to the neutral avatar that was close to their own, as if they mirrored their own characteristics onto the neutral avatar. Stronger body ownership illusion for more similar versus more dissimilar avatar compared to the participant was also observed in healthy-weight participants in favor of a healthy-weight avatar compared to an obese avatar (Dupraz et al., 2023b), or in favor of a normo-shaped avatar compared to a Christian God avatar (Frisanco et al., 2022), although this pattern of results is not consistently observed (e.g., Banakou et al., 2013; Reinhard et al., 2019).

Study 2 was conducted to address the limitations of Study 1, which displayed no avatar in the control condition and failed to demonstrate a Proteus effect. The presence of body-related information anchors the body within a virtual environment and provides familiar metric cues for scaling space. In turn, this enables greater accuracy in spatial perception and motor performance (Berg et al., 2023; Mohler et al., 2010; Yadav & Kang, 2022). In Study 1, although the absence of bodily information in the control condition did

not impact the spatial perception of the virtual environment as observed with the distance and the slope estimation tasks (see Supplementary material), an influence on spatial perception and/or motor imagery remains conceivable. For example, Yadav & Kang (2022) demonstrated an effect of body reference on the accuracy of virtual distance estimation in a physical walking task, but not in a verbal estimation task. Thus, providing a virtual body to embody, even a neutral humanoid body shape, likely enabled better accuracy of perception and imagery performance in the control condition of Study 2, creating optimal conditions for revealing the expected Proteus effect. It should be noted the distance and slope estimation tasks were initially included to verify the participants' perception of the virtual environment and to explore the potential influence of the elderly avatar on the distance and slope perception. Indeed, previous studies demonstrated the impact of bodily characteristics on spatial perception (e.g., effect of age, body fat or fatigue on slope estimation; see Bhalla & Proffitt, 1999; Eves et al., 2014; Proffitt et al., 1995, 2003; Schnall et al., 2010; Taylor-Covill & Eves, 2013, 2016). Additionally, Chambon (2009) observed that elderly stereotypes priming influenced the estimation of hill

slope and of field distance. In the present study, the elderly avatar embodiment did not impact the perception of the virtual environment. Thus, in Study 2, the longer motor imagery time observed in the elderly avatar embodiment conditions compared to the control condition is in favor of the expected avatar's effect on behavior (i.e., Proteus effect) rather than in favor of the alternative "perceptual" hypothesis.

No effect of embodiment on the Proteus effect: a relationship to be reconsidered.

Contrary to the main hypothesis about the role of embodiment on the Proteus effect, motor imagery performance did not differ between the full- and the impaired-embodiment conditions. More precisely, participants' mental walking speed was, as expected, slowed down by the elderly avatar compared to the neutral avatar, but regardless of subjectively considering the elderly avatar's body as their own. Thus, the present results are not in favor of a role of embodiment on the Proteus effect, at least when studied on locomotor imagery.

It could be argued that such Proteus effect observed in both the full- and the impaired-embodiment conditions may support the priming account of the phenomenon. Indeed, the elderly avatar, embodied or not, led to a slowdown in

locomotor imagery speed compared to the control condition, in the same way as an elderly-related situational cue might provoke a decrease in motor performance (Banfield et al., 2003; Bargh et al., 1996; Follenfant et al., 2005). Although the present protocol cannot refute this hypothesis, previous studies already evidenced the existence of an additional effect to that of priming to explain the Proteus effect (e.g., stronger avatar effect in embodiment compared to observation condition; Beaudoin et al., 2020; Yee & Bailenson, 2009).

As an alternative account, the present results might also be the consequence of the link established between the participant's self and the elderly avatar. Indeed, in both the full- and the impaired-embodiment conditions, instructions explicitly told participants that the elderly avatar was their avatar. Thus, despite non-optimal parameters for avatar embodiment in the impaired-embodiment condition (i.e., absence of motor control and/or third-person perspective), a link between the avatar and the participant's self was still established. Such a link, in terms of identity and independently of a bodily-centered notion of avatar embodiment (de Vignemont, 2011; Kilteni, Groten, et al., 2012), may have been sufficient for a Proteus effect to occur. At

first sight, results of Banakou et al.'s study (2013) seem to contradict this hypothesis. Indeed, they observed a Proteus effect on size perception exclusively in a visuo-motor synchrony condition and not in a visuo-motor asynchrony condition. However, differences regarding the introduction of the avatar are worth noticing. Banakou et al. (2013) did not provide participants with any information relating to the avatar. It is possible that a link between the participants' self and the avatar may have been established exclusively when the situation provided sufficient cues to attest that the avatar was the participant's virtual representation. This may have occurred in the visuo-motor synchrony condition but not in the visuo-motor asynchrony condition, consequently explaining the occurrence of a Proteus effect in the former condition but not in the latter. This is in line with the stronger implicit association observed between the participant's self and images related to the social category of the embodied-avatar in the visuo-motor synchrony condition compared to the visuomotor asynchrony condition (Banakou et al., 2013). In the present study, the instructions (i.e., "this is your avatar in the virtual environment") may have been sufficient to convey such a link in terms of identity between the participant's self and the avatar.

Self-perception change and the Proteus effect: a relationship worth exploring

The second objective of the present study was to examine whether self-perception change mediates the relationship between embodiment and the Proteus effect. Contrary to this hypothesis, no effect of embodiment on the self-attribution of the aging-related attributes was observed. In other words, the association between the self and the elderly-related attributes did not vary depending on the self-avatar (i.e., elderly or neutral), nor depending on considering the elderly avatar's body as one's own (i.e., full- or impaired-embodiment). Although the present results do not support the existence of a relationship between embodiment, self-perception, and the Proteus effect, it is worth noticing that the mediation analysis may have suffered from a lack of statistical power. Indeed, the sample size was computed from the size of the Proteus effect based on interaction studies and not from the size of an effect related to self-perception. Thus, future studies testing the relationship between the Proteus and self-perception might focus their sample size calculation on effects related to self-perception examination (e.g., Banakou et al., 2013; Tammy Lin et al., 2021).

Additionally, the custom-made age-related self-perception questionnaire did not

follow a psychometric validation procedure and was an explicit measure of the association between the self and the elderly-related attributes. Thus, it may have been not sensitive enough to capture self-perception changes expected under the self-perception theory of the Proteus effect. Such changes might occur below the level of consciousness and consequently be captured exclusively with implicit measures. In this respect, Klimmt et al. (2010) observed implicit associations between the participant's self and the character-related attributes following a video-game session, what has been theorized under the concept of player's identification with a video-game character. Identification process is defined as an automatic and temporary shift in the participants' self-concept towards the assimilation of the character's attributes (Klimmt et al., 2009, 2010). This process relies on the active-self account, which postulates that situational stimuli can temporarily modify the individual's active self-concept by selectively activating or integrating prime-relevant attributes (DeMarree et al., 2005; Wheeler et al., 2007, 2014). Interestingly, the active-self account also postulates that once shaped by the prime, the active self-concept acts as a driver of the individual's behavior, then promoting congruent behavioral

responses (DeMarree et al., 2005; Wheeler et al., 2007, 2014). To our knowledge, both the identification process, and the active-self account, have received little theoretical consideration in the context of the Proteus effect (Praetorius & Görlich, 2020; Ratan et al., 2019). However, as theorized under the active-self account, the Proteus effect could be considered as an outcome of the identification process (i.e., modification of the active self-concept). Although implicit associations between the self and avatar's attributes have already been observed (Banakou et al., 2013; Klimmt et al., 2010), the link with behavioral outcomes remains to be established. Thus, it could be relevant for future studies to investigate the extent to which an implicit association between the participant's self and the avatar's related attributes predicts the Proteus effect. This would require a careful reflection about the measurement instrument of implicit self-perception, given the theoretical and methodological bases, limitations and challenges associated with implicit measures (Hefner et al., 2011).

Supplementary material Supplementary material and data are available online at https://osf.io/2ed7c/?view_only=967c7eff46e94e60a4692778e8380cb5 and https://osf.io/m54dq/?view_only=9e9164f0a898430aba32857654c62842.

Acknowledgements We thank Kelly Ode for her help in data collection, and Jessica Bourgin for her careful read of the manuscript.

Conclusion

The objective of the present studies was to investigate the effect of avatar embodiment on the Proteus effect and examine to what extent this relationship is driven by a change in self-perception. To the best of our knowledge, this study is the first to specifically examine both the causal role of the embodiment process on the Proteus effect, and the intervention of a self-perception change in the phenomenon. Contrary to the main hypothesis, the Proteus effect was not more pronounced the more participants subjectively considered the avatar's body as their own. Moreover, analyses did not confirm that explicit self-perception change mediates the Proteus effect. Future studies should examine whether an identity link between the participant and the avatar is sufficient for a Proteus effect to occur, and whether the Proteus effect is mediated by an alteration of implicit self-perception.

Authors contributions Louise Dupraz: Conceptualization, Methodology, Software, Formal analysis, Investigation, Writing - Original Draft, Writing - Review & Editing. Marine Beaudoin: Conceptualization, Methodology, Writing - Review & Editing, Supervision. Michel Guerraz: Conceptualization, Methodology, Writing - Review & Editing, Supervision. Julien Barra: Conceptualization, Methodology, Software, Writing - Review & Editing, Supervision.

Fundings This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflict of interest The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

References

- Ash, E. (2016). Priming or Proteus Effect?: Examining the Effects of Avatar Race on In-Game Behavior and Post-Play Aggressive Cognition and Affect in Video Games. *Games and Culture*, 11, 422-440. <https://doi.org/10.1177/1555412014568870>
- Banakou, D., Groten, R., & Slater, M. (2013). Illusory ownership of a virtual child body causes overestimation of object sizes and implicit attitude changes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(31), 12846-12851. <https://doi.org/10.1073/pnas.1306779110>
- Banakou, D., Kishore, S., & Slater, M. (2018). Virtually Being Einstein Results in an Improvement in Cognitive Task Performance and a Decrease in Age Bias. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00917>
- Banfield, J. F., Pendry, L. F., Mewse, A. J., & Edwards, M. G. (2003). The Effects of an Elderly Stereotype Prime on Reaching and Grasping Actions. *Social Cognition*, 21(4), 299-319. <https://doi.org/10.1521/soco.21.4.299.27002>
- Bargh, J. A., Chen, M., & Burrows, L. (1996). Automaticity of Social Behavior: Direct Effects of Trait Construct and Stereotype Activation on Action. *Journal of Personality and Social Psychology*, 71(2), 230-244. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.71.2.230>
- Beaudoin, M., Barra, J., Dupraz, L., Mollier-Sabet, P., & Guerraz, M. (2020). The impact of embodying an “elderly” body avatar on motor imagery. *Experimental Brain Research*, 238(6), 1467-1478. <https://doi.org/10.1007/s00221-020-05828-5>
- Bem, D. J. (1972). Self-Perception Theory. In L. Berkowitz (Éd.), *Advances in Experimental Social Psychology* (Vol. 6, p. 1-62). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0065-2601\(08\)60024-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2601(08)60024-6)
- Berg, A., Vries, B., Breedveld, Z., Mierlo, A., Tjihuis, M., & Marchal-Crespo, L. (2023). Embodiment of virtual feet correlates with motor performance in a target-stepping task: A pilot study. *Frontiers in Virtual Reality*, 4. <https://doi.org/10.3389/frvir.2023.1104638>
- Beyea, D., Ratan, R., Lei, Y., Liu, H., Hales, G. E., & Lim, C. (2023). A New Meta-Analysis of the Proteus Effect: Studies in VR Find Stronger Effect Sizes. *PRESENCE: Virtual and Augmented Reality*, 1-30. https://doi.org/10.1162/pres_a_00392
- Beyea, D., Van der Heide, B., Ewoldsen, D., Eden, A., & Meng, J. (2021). Avatar-Based Self-Influence in a Traditional CMC Environment. *Journal of Media Psychology*. <https://doi.org/10.1027/1864-1105/a000309>
- Bhalla, M., & Proffitt, D. R. (1999). Visual-motor recalibration in geographical slant perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(4), 1076-1096. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.25.4.1076>
- Blanca, M. J., Alarcón, R., Arnau, J., Bono, R., & Bendayan, R. (2017). Non-normal data: Is ANOVA still a valid option? *Psicothema*,

- 29(4), 552-557.
<https://doi.org/10.7334/psicothema2016.383>
- Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands 'feel' touch that eyes see. *Nature*, 391(6669), 756-756. <https://doi.org/10.1038/35784>
- Carey, M., Crucianelli, L., Preston, C., & Fotopoulou, A. (2019). The Effect of Visual Capture Towards Subjective Embodiment Within the Full Body Illusion. *Scientific Reports*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39168-4>
- Chambon, M. (2009). Embodied perception with others' bodies in mind: Stereotype priming influence on the perception of spatial environment. *Journal of Experimental Social Psychology*, 45(1), 283-287. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2008.08.023>
- Czub, M., & Janeta, P. (2021). Exercise in virtual reality with a muscular avatar influences performance on a weightlifting exercise. *Cyberpsychology: Journal of Psychosocial Research on Cyberspace*, 15(3), Article 3. <https://doi.org/10.5817/CP2021-3-10>
- DeMarree, K. G., Wheeler, S. C., & Petty, R. E. (2005). Priming a New Identity: Self-Monitoring Moderates the Effects of Nonself Primes on Self-Judgments and Behavior. *Journal of Personality and Social Psychology*, 89(5), 657-671. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.89.5.657>
- de Vignemont, F. (2011). Embodiment, ownership and disownership. *Consciousness and Cognition*, 20(1), 82-93. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2010.09.004>
- Dijksterhuis, A., & van Knippenberg, A. (1996). The Knife That Cuts Both Ways: Facilitated and Inhibited Access to Traits as a Result of Stereotype Activation. *Journal of Experimental Social Psychology*, 32(3), 271-288. <https://doi.org/10.1006/jesp.1996.0013>
- Dupraz, L., Barra, J., Beaudoin, M., & Guerraz, M. (2023). Impact of an overweight body representation in virtual reality on locomotion in a motor imagery task. *Psychological Research*. <https://doi.org/10.1007/s00426-022-01675-x>
- Ehrsson, H. H. (2007). The Experimental Induction of Out-of-Body Experiences. *Science*, 317(5841), 1048-1048. <https://doi.org/10.1126/science.1142175>
- Eves, F., Thorpe, S. K. S., Lewis, A., & Taylor-Covill, G. A. H. (2014). Does perceived steepness deter stair climbing when an alternative is available? *Psychonomic Bulletin & Review*, 21(3), 637-644. <https://doi.org/10.3758/s13423-013-0535-8>
- Follenfant, A., Légal, J.-B., Marie Dit Dinard, F., & Meyer, T. (2005). Effet de l'activation de stéréotypes sur le comportement: Une application en contexte sportif. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology*, 55(2), 121-129. <https://doi.org/10.1016/j.erap.2005.02.002>
- Frisanco, A., Schepisi, M., Tieri, G., & Aglioti, S. M. (2022). Embodying the avatar of an omnipotent agent modulates the perception of one's own abilities and enhances feelings of invulnerability. *Scientific Reports*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26016-1>
- Giroux, M., Barra, J., Graff, C., & Guerraz, M. (2021). Multisensory integration of visual cues from first- to third-person perspective avatars in the perception of self-motion. *Attention, Perception, & Psychophysics*. <https://doi.org/10.3758/s13414-021-02276-3>
- Gorisse, G., Christmann, O., Amato, E. A., & Richir, S. (2017). First- and Third-Person Perspectives in Immersive Virtual Environments: Presence and Performance Analysis of Embodied Users. *Frontiers in Robotics and AI*, 4. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2017.00033>
- Guegan, J., Buisine, S., Mantelet, F., Maranzana, N., & Segonds, F. (2016). Avatar-mediated creativity: When embodying inventors makes engineers more creative. *Computers in Human Behavior*, 61, 165-175. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.03.024>
- Guy, M., Jeunet-Kelway, C., Moreau, G., & Normand, J.-M. (2022). Manipulating the Sense of Embodiment in Virtual Reality: A study of the interactions between the senses of agency, self-location and ownership. ICAT-EGVE2022, the joint international conference of the 32nd International Conference on Artificial Reality and Telexistence & the 27th Eurographics Symposium on Virtual Environments (2022). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03853981>

- Haggard, P., & Tsakiris, M. (2009). The Experience of Agency : Feelings, Judgments, and Responsibility. *Current Directions in Psychological Science*, 18(4), 242-246. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2009.01644.x>
- Harwell, M. R., Rubinstein, E. N., Hayes, W. S., & Olds, C. C. (1992). Summarizing Monte Carlo Results in Methodological Research : The One- and Two-Factor Fixed Effects ANOVA Cases. *Journal of Educational Statistics*, 17(4), 315-339. <https://doi.org/10.3102/10769986017004315>
- Hefner, D., Rothmund, T., Klimmt, C., & Gollwitzer, M. (2011). Implicit Measures and Media Effects Research: Challenges and Opportunities. *Communication Methods and Measures*, 5(3), 181-202. <https://doi.org/10.1080/19312458.2011.597006>
- Ismail, M. A. F., & Shimada, S. (2016). ‘Robot’ Hand Illusion under Delayed Visual Feedback : Relationship between the Senses of Ownership and Agency. *PLOS ONE*, 11(7), e0159619. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159619>
- Jung, M., Sim, S., Kim, J., & Kim, K. (2022). Impact of Personalized Avatars and Motion Synchrony on Embodiment and Users’ Subjective Experience : Empirical Study. *JMIR Serious Games*, 10(4), e40119. <https://doi.org/10.2196/40119>
- Kalckert, A., & Ehrsson, H. H. (2012). Moving a Rubber Hand that Feels Like Your Own : A Dissociation of Ownership and Agency. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00040>
- Kalckert, A., & Ehrsson, H. H. (2014). The moving rubber hand illusion revisited : Comparing movements and visuotactile stimulation to induce illusory ownership. *Consciousness and Cognition*, 26, 117-132. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2014.02.003>
- Kilteni, K., Bergstrom, I., & Slater, M. (2013). Drumming in Immersive Virtual Reality : The Body Shapes the Way We Play. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 19(4), 597-605. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2013.29>
- Kilteni, K., Groten, R., & Slater, M. (2012). The Sense of Embodiment in Virtual Reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 21(4), 373-387. https://doi.org/10.1162/PRES_a_00124
- Kim, C.-S., Jung, M., Kim, S.-Y., & Kim, K. (2020). Controlling the Sense of Embodiment for Virtual Avatar Applications : Methods and Empirical Study. *JMIR Serious Games*, 8(3), e21879. <https://doi.org/10.2196/21879>
- Klimmt, C., Hefner, D., & Vorderer, P. (2009). The Video Game Experience as “True” Identification : A Theory of Enjoyable Alterations of Players’ Self-Perception. *Communication Theory*, 19(4), 351-373. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2885.2009.01347.x>
- Klimmt, C., Hefner, D., Vorderer, P., Roth, C., & Blake, C. (2010). Identification With Video Game Characters as Automatic Shift of Self-Perceptions. *Media Psychology*, 13(4), 323-338. <https://doi.org/10.1080/15213269.2010.524911>
- Kocur, M., Schauhuber, P., Schwind, V., Wolff, C., & Henze, N. (2020). The Effects of Self- and External Perception of Avatars on Cognitive Task Performance in Virtual Reality. 27, 1-11. <https://doi.org/10.1145/3385956.3418969>
- Kokkinara, E., Kilteni, K., Blom, K. J., & Slater, M. (2016). First Person Perspective of Seated Participants Over a Walking Virtual Body Leads to Illusory Agency Over the Walking. *Scientific Reports*, 6, 28879. <https://doi.org/10.1038/srep28879>
- Lee, J.-E. R., Nass, C. I., & Bailenson, J. N. (2014). Does the mask govern the mind? : Effects of arbitrary gender representation on quantitative task performance in avatar-represented virtual groups. *Cyberpsychology, Behavior and Social Networking*, 17(4), 248-254. <https://doi.org/10.1089/cyber.2013.0358>
- Lenggenhager, B., Tadi, T., Metzinger, T., & Blanke, O. (2007). Video Ergo Sum : Manipulating Bodily Self-Consciousness. *Science*, 317(5841), 1096-1099. <https://doi.org/10.1126/science.1143439>
- Levy, B. (2009). Stereotype Embodiment : A Psychosocial Approach to Aging. *Current Directions in Psychological Science*, 18(6), 332-336. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2009.01662.x>

- Leys, C., Delacre, M., Mora, Y. L., Lakens, D., & Ley, C. (2019). How to classify, detect, and manage univariate and multivariate outliers, with emphasis on pre-registration. *International Review of Social Psychology*, 32(1), Article 1. <https://doi.org/10.5334/irsp.289>
- Leys, C., Ley, C., Klein, O., Bernard, P., & Licata, L. (2013). Detecting outliers : Do not use standard deviation around the mean, use absolute deviation around the median. *Journal of Experimental Social Psychology*, 49(4), 764-766. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2013.03.013>
- Lineweaver, T. T., Kugler, J., Rabellino, A., & Stephan, Y. (2017). Beliefs about age-related changes in physical functioning across the adult life span and their relationship with physical activity levels of older adults. *Aging, Neuropsychology and Cognition*, 25(4), 613-631. <https://doi.org/10.1080/13825585.2017.1356903>
- Loison, B., Moussaddaq, A.-S., Cormier, J., Richard, I., Ferrapie, A.-L., Ramond, A., & Dinomais, M. (2013). Translation and validation of the French Movement Imagery Questionnaire – Revised Second version (MIQ-RS). *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 56(3), 157-173. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2013.01.001>
- Longo, M. R., Schüür, F., Kammers, M. P. M., Tsakiris, M., & Haggard, P. (2008). What is embodiment? A psychometric approach. *Cognition*, 107(3), 978-998. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2007.12.004>
- Maselli, A., & Slater, M. (2013). The building blocks of the full body ownership illusion. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2013.00083>
- Mohler, B. J., Creem-Regehr, S. H., Thompson, W. B., & Bühlhoff, H. H. (2010). The Effect of Viewing a Self-Avatar on Distance Judgments in an HMD-Based Virtual Environment. *Presence*, 19(3), 230-242. <https://doi.org/10.1162/pres.19.3.230>
- Peck, T. C., & Gonzalez-Franco, M. (2021). Avatar Embodiment. A Standardized Questionnaire. *Frontiers in Virtual Reality*, 1. <https://doi.org/10.3389/frvir.2020.575943>
- Peck, T. C., Seinfeld, S., Aglioti, S. M., & Slater, M. (2013). Putting yourself in the skin of a black avatar reduces implicit racial bias. *Consciousness and Cognition*, 22(3), 779-787. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2013.04.016>
- Peña, J. (2011). Integrating the influence of perceiving and operating avatars under the automaticity model of priming effects. *Communication Theory*, 21(2), 150-168. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2885.2011.01380.x>
- Peña, J., Hancock, J. T., & Merola, N. A. (2009). The Priming Effects of Avatars in Virtual Settings. *Communication Research*, 36(6), 838-856. <https://doi.org/10.1177/0093650209346802>
- Peña, J., & Kim, E. (2014). Increasing exergame physical activity through self and opponent avatar appearance. *Computers in Human Behavior*, 41, 262-267. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.09.038>
- Petkova, V., & Ehrsson, H. H. (2008). If I Were You : Perceptual Illusion of Body Swapping. *PLOS ONE*, 3(12), e3832. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003832>
- Piryankova, I. V., Wong, H. Y., Linkenauger, S. A., Stinson, C., Longo, M. R., Bühlhoff, H. H., & Mohler, B. J. (2014). Owning an Overweight or Underweight Body : Distinguishing the Physical, Experienced and Virtual Body. *PLOS ONE*, 9(8), e103428. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103428>
- Praetorius, A. S., & Görlich, D. (2020). How Avatars Influence User Behavior : A Review on the Proteus Effect in Virtual Environments and Video Games. *International Conference on the Foundations of Digital Games*, 1-9. <https://doi.org/10.1145/3402942.3403019>
- Proffitt, D. R., Bhalla, M., Gossweiler, R., & Midgett, J. (1995). Perceiving geographical slant. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2(4), 409-428. <https://doi.org/10.3758/BF03210980>
- Proffitt, D. R., Stefanucci, J., Banton, T., & Epstein, W. (2003). The role of effort in perceiving distance. *Psychological Science*, 14(2), 106-112. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.t01-1-01427>
- Pyasik, M., Ciorli, T., & Pia, L. (2022). Full body illusion and cognition : A systematic review of the literature. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 104926.

- <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.104926>
- Ratan, R., Beyea, D., Li, B. J., & Graciano, L. (2019). Avatar characteristics induce users' behavioral conformity with small-to-medium effect sizes: A meta-analysis of the proteus effect. *Media Psychology*, 0(0), 1-25. <https://doi.org/10.1080/15213269.2019.1623698>
- Ratan, R., & Sah, Y. J. (2015). Leveling up on stereotype threat: The role of avatar customization and avatar embodiment. *Computers in Human Behavior*, 50, 367-374. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.04.010>
- Reinhard, R., Shah, K. G., Faust-Christmann, C. A., & Lachmann, T. (2019). Acting your avatar's age: Effects of virtual reality avatar embodiment on real life walking speed. *Media Psychology*, 1-23. <https://doi.org/10.1080/15213269.2019.1598435>
- Roth, D., & Latoschik, M. E. (2020). Construction of the Virtual Embodiment Questionnaire (VEQ). *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 26(12), 3546-3556. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2020.3023603>
- Sanchez-Vives, M. V., Spanlang, B., Frisoli, A., Bergamasco, M., & Slater, M. (2010). Virtual Hand Illusion Induced by Visuomotor Correlations. *PLOS ONE*, 5(4), e10381. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010381>
- Schmider, E., Ziegler, M., Danay, E., Beyer, L., & Bühner, M. (2010). Is It Really Robust? *Methodology*, 6(4), 147-151. <https://doi.org/10.1027/1614-2241/a000016>
- Schmidt, D. F., & Boland, S. M. (1986). Structure of perceptions of older adults: Evidence for multiple stereotypes. *Psychology and Aging*, 1(3), 255-260. <https://doi.org/10.1037//0882-7974.1.3.255>
- Schnall, S., Zadra, J. R., & Proffitt, D. R. (2010). Direct Evidence for the Economy of Action: Glucose and the Perception of Geographical Slant. *Perception*, 39(4), 464-482. <https://doi.org/10.1068/p6445>
- Slater, M., Perez-Marcos, D., Ehrsson, H. H., & Sanchez-Vives, M. V. (2008). Towards a Digital Body: The Virtual Arm Illusion. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2. <https://doi.org/10.3389/neuro.09.006.2008>
- Slater, M., Perez-Marcos, D., Ehrsson, H. H., & Sanchez-Vives, M. V. (2009). Inducing illusory ownership of a virtual body. *Frontiers in Neuroscience*, 3(2), 214-220. <https://doi.org/10.3389/neuro.01.029.2009>
- Spanlang, B., Normand, J.-M., Borland, D., Kilteni, K., Giannopoulos, E., Pomés, A., González-Franco, M., Perez-Marcos, D., Arroyo-Palacios, J., Muncunill, X. N., & Slater, M. (2014). How to Build an Embodiment Lab: Achieving Body Representation Illusions in Virtual Reality. *Frontiers in Robotics and AI*, 1. <https://doi.org/10.3389/frobt.2014.00009>
- Szolin, K., Kuss, D. J., Nuyens, F. M., & Griffiths, M. D. (2022). Exploring the user-avatar relationship in videogames: A systematic review of the Proteus effect. *Human-Computer Interaction*, 0(0), 1-26. <https://doi.org/10.1080/07370024.2022.2103419>
- Tammy Lin, J.-H., Wu, D.-Y., & Yang, J.-W. (2021). Exercising With a Six Pack in Virtual Reality: Examining the Proteus Effect of Avatar Body Shape and Sex on Self-Efficacy for Core-Muscle Exercise, Self-Concept of Body Shape, and Actual Physical Activity. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2021.693543>
- Taylor-Covill, G. A. H., & Eves, F. (2013). Slant Perception for Stairs and Screens: Effects of Sex and Fatigue in a Laboratory Environment. *Perception*, 42(4), 459-469. <https://doi.org/10.1068/p7425>
- Taylor-Covill, G. A. H., & Eves, F. (2016). Carrying a biological « backpack »: Quasi-experimental effects of weight status and body fat change on perceived steepness. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 42(3), 331-338. <https://doi.org/10.1037/xhp0000137>
- Tsakiris, M., & Haggard, P. (2005). The Rubber Hand Illusion Revisited: Visuotactile Integration and Self-Attribution. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(1), 80-91. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.31.1.80>
- Tsakiris, M., Haggard, P., Franck, N., Mainy, N., & Sirigu, A. (2005). A specific role for efferent information in self-recognition. *Cognition*, 96(3), 215-231.

<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2004.08.002>

- Vahle, N. M., & Tomasik, M. J. (2022). Younger and Older Adults' Cognitive and Physical Functioning in a Virtual Reality Age Manipulation. *Frontiers in Aging, 3*. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fagi.2022.851687>
- Verhulst, A., Normand, J.-M., Lombart, C., Sugimoto, M., & Moreau, G. (2018). Influence of Being Embodied in an Obese Virtual Body on Shopping Behavior and Products Perception in VR. *Frontiers in Robotics and AI, 5*. <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00113>
- Vogel, F., Vahle, N. M., Gertheiss, J., & Tomasik, M. J. (2022). Supervised learning for analysing movement patterns in a virtual reality experiment. *Royal Society Open Science, 9*(4), 211594. <https://doi.org/10.1098/rsos.211594>
- Walsh, L. D., Moseley, G. L., Taylor, J. L., & Gandevia, S. C. (2011). Proprioceptive signals contribute to the sense of body ownership. *The Journal of Physiology, 589*(Pt 12), 3009-3021. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.204941>
- Walther, J. B., & Lew, Z. (2022). Self-transformation online through alternative presentations of self: A review, critique, and call for research. *Annals of the International Communication Association, 0*(0), 1-24. <https://doi.org/10.1080/23808985.2022.2096662>
- Wheeler, S. C., DeMarree, K. G., & Petty, R. E. (2007). Understanding the Role of the Self in Prime-to-Behavior Effects: The Active-Self Account. *Personality and Social Psychology Review, 11*(3), 234-261. <https://doi.org/10.1177/1088868307302223>
- Wheeler, S. C., Demarree, K., & Petty, R. (2014). Understanding Prime-to-Behavior Effects: Insights from the Active-Self Account. *Social Cognition, 32*, 109-123. <https://doi.org/10.1521/soco.2014.32.suppl.109>
- Yadav, N., & Kang, J. (2022). The effects of partial proxy embodiment on the awareness of linear distance in omnidirectional treadmill enabled immersive virtual environment. *Computers in Human Behavior Reports, 6*, 100203. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2022.100203>
- Yee, N., & Bailenson, J. (2006). Walk A Mile in Digital Shoes: The Impact of Embodied Perspective-Taking on The Reduction of Negative Stereotyping in Immersive Virtual Environments.
- Yee, N., & Bailenson, J. (2007). The Proteus Effect: The Effect of Transformed Self-Representation on Behavior. *Human Communication Research, 33*(3), 271-290. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2958.2007.00299.x>
- Yee, N., & Bailenson, J. N. (2009). The Difference Between Being and Seeing: The Relative Contribution of Self-Perception and Priming to Behavioral Changes via Digital Self-Representation. *Media Psychology, 12*(2), 195-209. <https://doi.org/10.1080/15213260902849943>
- Yoo, S.-C., Peña, J., & Drumwright, M. E. (2015). Virtual shopping and unconscious persuasion: The priming effects of avatar age and consumers' age discrimination on purchasing and prosocial behaviors. *Computers in Human Behavior, 48*, 62-71. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.01.042>



3. Récapitulatif des expériences



HYPOTHÈSE

Effet du processus d'incorporation sur l'effet Proteus :

L'incorporation d'un avatar âgé conduit à un ralentissement de la vitesse de marche en imagerie motrice, ceci d'autant plus si le corps de l'avatar âgé est considéré comme sien.



MÉTHODOLOGIE

ETUDE 4

Design expérimental intra-sujet: 3 sessions (3 conditions d'incorporation; **Figure 1**)

- **Condition contrôlée** : pas d'avatar
- **Condition d'incorporation totale** :
 - Couplage visuo-moteur synchrone ET Perspective à la 1ère personne
- **Condition d'incorporation altérée** : l'une parmi :
 - Exp 1a: Couplage visuo-moteur asynchrone ET Perspective à la 3ème personne
 - Exp 1b: Couplage visuo-moteur asynchrone ET Perspective à la 1ème personne
 - Exp 1c: Couplage visuo-moteur synchrone ET Perspective à la 3ème personne

81 femmes (Exp 1a : $N = 27$, Age: $M = 19.7$, $SD = 1.6$; Exp 1b : $N = 27$, Age : $M = 19.7$, $SD = 2.4$; Exp 1c : $N = 27$, Age : $M = 19.2$, $SD = 1.2$)

- Sessions 1, 2 & 3
- Questionnaire d'imagerie motrice (Loison et al., 2013)
 - Session 1 uniquement
 - Equipement (**Figure 2**)
 - Casque de réalité virtuelle (Oculus Quest 2, Meta, US)
 - Capteurs de mouvements sur les poignets (Liberty™, Polhemus, US)
 - Phase d'incorporation (1 minute) : Condition d'incorporation
 - Tâche d'imagerie motrice
 - Simulation mentale du déplacement (lever, marche)
 - 4 distances x 2 pentes (15°, horizontale)
 - Enregistrement du temps de déplacement
 - Estimation des distances
 - Estimation de la pente
 - Questionnaire d'incorporation de l'avatar (sauf condition contrôlée)
 - Estimation de l'âge de l'avatar (sauf condition contrôlée)
 - Questionnaire des croyances sur le fonctionnement physique avec l'avancée en âge (adapté de Lineweaver et al., 2017)
 - Session 3 uniquement



Figure représentant l'environnement réel



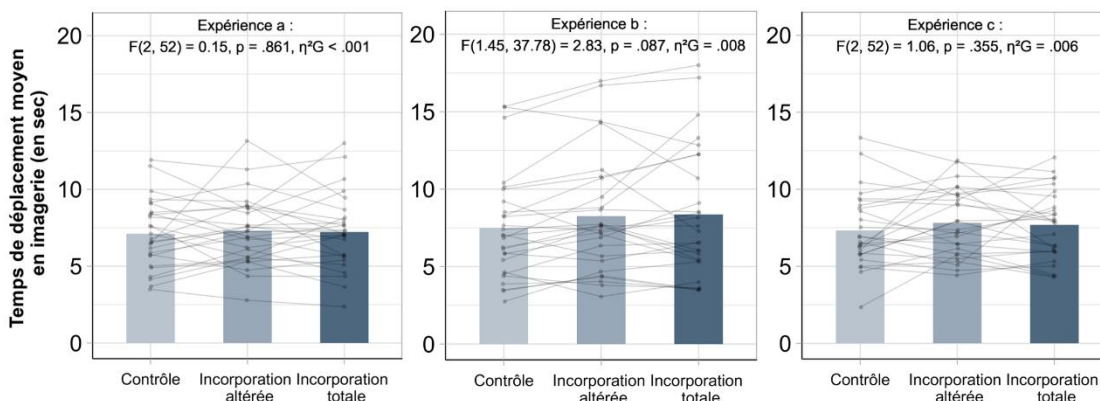
Figure représentant l'environnement virtuel



RÉSULTATS

Effet de la condition d'incorporation sur le sentiment d'incorporation global de l'avatar : Inc. totale > Inc. altérée ($p < .001$)

Pas d'effet de la condition d'incorporation sur le temps de déplacement en imagerie motrice :



↘
Pas d'effet Proteus



HYPOTHÈSE

Effet du processus d'incorporation sur l'effet Proteus :

L'incorporation d'un avatar âgé conduit à un ralentissement de la vitesse de marche en imagerie motrice, ceci d'autant plus si le corps de l'avatar âgé est considéré comme sien.



MÉTHODOLOGIE

ETUDE 4bis

40 femmes (Age : $M = 20.0$, $SD = 2.1$)

Design expérimental intra-sujet: 3 sessions (3 conditions d'incorporation; **Figure 1**)

- **Condition contrôlée** : avatar neutre
- **Condition d'incorporation totale** :
 - Couplage visuo-moteur synchrone ET Perspective à la 1ère personne
- **Condition d'incorporation altérée** :
 - Couplage visuo-moteur asynchrone ET Perspective à la 3ème personne

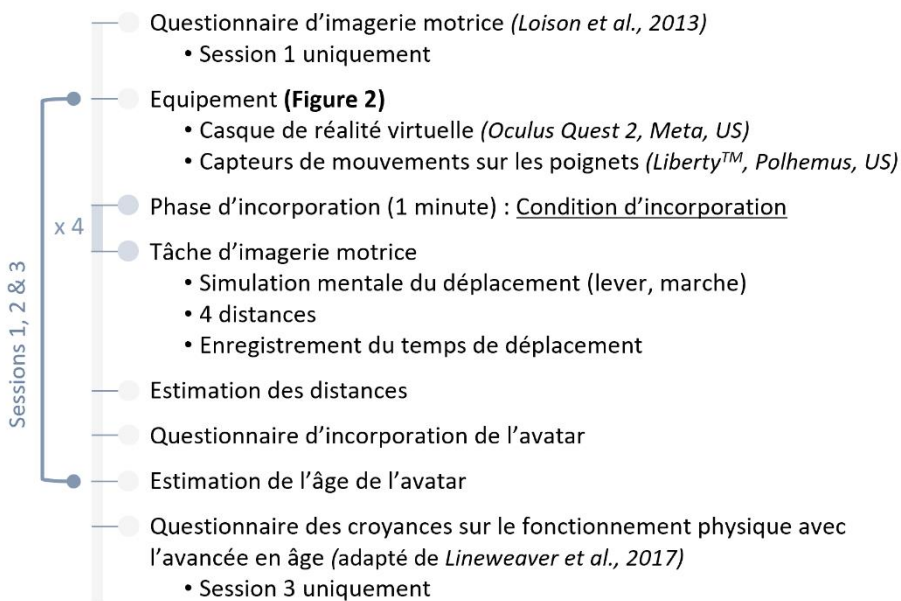
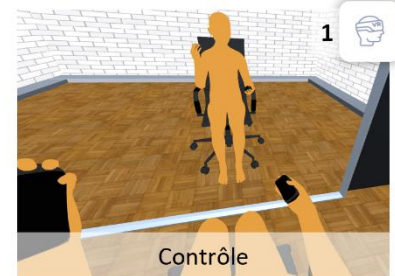


Figure représentant l'environnement réel



Figure représentant l'environnement virtuel



Contrôle



Incorporation totale



Incorporation altérée



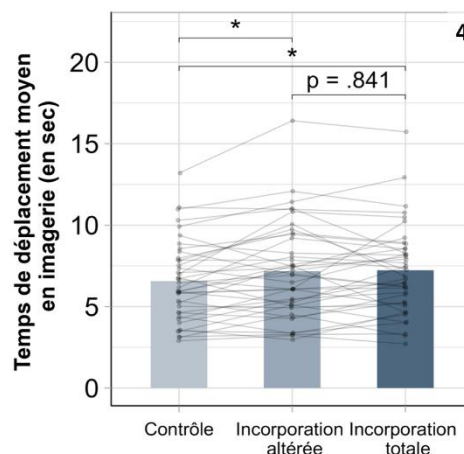
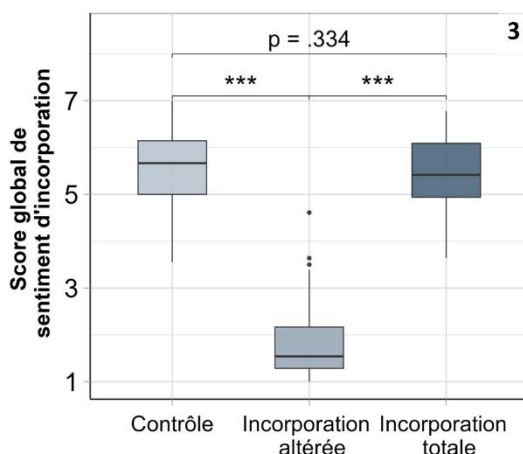
2



RÉSULTATS

Effet de la condition d'incorporation sur le sentiment d'incorporation global de l'avatar (**Figure 3**)

Effet de la condition d'incorporation sur le temps de déplacement en imagerie motrice (**Figure 4**)



Effet Proteus

Indépendamment de l'incorporation

4. Conclusion

Les études 4 et 4bis visaient à investiguer, le rôle spécifique du processus d'incorporation d'un avatar sur l'apparition de l'effet Proteus, et dans quelle mesure un changement de perception de soi explique cette relation. Premièrement, l'effet Proteus a été retrouvé uniquement dans l'étude 4bis. Deuxièmement, celui-ci a été observé indépendamment du processus d'incorporation de l'avatar, c'est-à-dire du fait de considérer ce dernier comme son propre corps. Autrement dit, un effet Proteus a été observé aussi bien dans des conditions favorables à l'émergence d'un sentiment d'incorporation de l'avatar (i.e., contrôle des mouvements, immersion avec une perspective à la première personne) que dans des conditions défavorables. Ces résultats ne confirment donc pas que les facteurs favorisant la proximité entre l'avatar et l'utilisateur constituent des modérateurs de l'effet Proteus, tout au moins lorsqu'il s'agit du processus d'incorporation qui est étudié (pour une méta-analyse : Ratan et al., 2019). Par ailleurs, contrairement à ce qui était attendu, les présentes études n'ont pas permis d'identifier l'intervention d'un changement de perception de soi explicite lors de l'incorporation d'un avatar. Autrement dit, l'incorporation d'un avatar n'était pas associée à une perception de soi teintée des attributs relatifs aux caractéristiques de l'avatar incorporé. Concernant cette absence de résultats, il convient de souligner que la perception de soi explicite a été investiguée au moyen d'items spécifiquement créés pour l'expérience qui n'ont pas fait l'objet d'une évaluation psychométrique approfondie, questionnant ainsi la sensibilité de cette mesure. En somme, les résultats témoignent de l'apparition d'un effet Proteus dès lors qu'une relation identitaire est instaurée entre le participant et l'avatar, indépendamment d'un processus centré sur le corps. Ils soulignent également l'échec à identifier un changement de perception de soi explicite consécutif à l'incorporation d'un avatar. En d'autres termes, la présentation de l'avatar aux participants comme étant leur propre représentation numérique (i.e., « il s'agit de votre avatar dans l'environnement virtuel ») semble suffisante à l'apparition d'un effet Proteus.

Si la conscience de soi corporelle n'intervient pas dans l'apparition d'un effet Proteus, le phénomène pourrait reposer sur une forme davantage identitaire que corporelle de la représentation de l'individu. La relation identitaire créée entre l'individu et l'avatar pourrait d'ailleurs constituer une alternative à l'explication de certains résultats expérimentaux jusqu'ici attribués au processus d'incorporation. En effet, le changement comportemental observé par Yee & Bailenson (2009) lors de l'incorporation mais pas lors de l'observation d'un avatar a été interprété en faveur du rôle de l'incorporation dans l'apparition de l'effet Proteus. Il est

important de rappeler que les conditions expérimentales à l'origine de ces résultats diffèrent en termes d'incorporation (agentivité *versus* pas d'agentivité) mais également en termes de relation à l'avatar (avatar présenté comme la représentation numérique de soi *versus* d'autrui) ce qui ne permet pas de distinguer l'effet de l'incorporation de l'effet de la relation identitaire à l'avatar (voir *Chapitre IV. Partie 1*). Une voie d'influence comportementale expliquée par la relation identitaire à l'avatar est à envisager dans la mesure où cette relation implique une association entre le concept de soi du participant et les caractéristiques de l'avatar. Or, l'établissement d'une association entre le soi et un stimulus influence le traitement cognitif de ce dernier ainsi que les conséquences de ce traitement. Par exemple, les individus présentant une tendance à traiter les informations en référence à soi sont plus sensibles à l'effet d'amorçage comportemental comparativement aux individus ne présentant pas cette tendance (Hull et al., 2002). En conséquence, l'effet de référence à soi constitue, dans l'étude de Yee & Bailenson (2009), un facteur confondu avec le processus d'incorporation. Selon cette alternative, le changement comportemental observé dans la condition d'incorporation pourrait être expliqué, non par le processus d'incorporation en tant que tel, mais par l'association établie entre le participant et l'avatar, tandis que l'absence de changement comportemental dans la condition d'observation s'expliquerait par l'absence d'une telle relation. Cet effet de référence à soi est susceptible d'expliquer qu'un effet Proteus ait été observé aussi bien dans des conditions favorables que non favorables à l'incorporation d'un avatar dans les études 4 et 4bis car la même relation identitaire entre les participantes et l'avatar était instaurée dans ces deux conditions. En somme, les mécanismes sous-jacents à l'association entre le concept de soi et l'avatar sont susceptibles de jouer un rôle dans l'apparition de l'effet Proteus ; l'examen de ces derniers apparaît donc important dans le cadre de l'approfondissement théorique du phénomène.

Chapitre VII.

Effet Proteus : un changement de perception de soi avant tout ?

Etude 5

1. Introduction

L'objectif de cette étude était d'investiguer le rôle de l'association entre le concept de soi et l'avatar dans l'apparition de l'effet Proteus. Des associations automatiques entre le concept de soi d'un individu et les caractéristiques d'un avatar, et plus généralement d'un personnage numérique, sont montrées et conceptualisées sous le modèle d'identification au personnage numérique (voir *Chapitre III. Partie 3.2.* ; Banakou et al., 2013; Klimmt et al., 2010 ; pour une revue : Klimmt et al., 2009). Ce modèle d'identification repose sur la théorie du concept de soi actif qui, inscrite parmi les modèles d'amorçage comportemental indirect, prédit que l'exposition à une amorce modifie le concept de soi actif qui influence en conséquence les comportements mis en place. Cet effet d'amorçage comportemental indirect serait modéré par le degré de modification du concept de soi en réponse à l'amorce (voir *Chapitre III. Partie 2.1.2.* ; pour des revues : Wheeler et al., 2007, 2014). Ainsi, les associations automatiques créées entre le concept de soi de l'utilisateur et les caractéristiques du personnage numérique pourraient être à l'origine d'une influence comportementale. En se basant sur les postulats de la théorie du concept de soi actif, il est proposé que l'effet Proteus constitue un effet d'assimilation comportementale consécutif à un processus d'identification à l'avatar. En d'autres termes, l'utilisation d'un avatar entraînerait l'intégration des caractéristiques de l'avatar dans le concept de soi actif (i.e., identification) ce qui conduirait à un effet d'assimilation aux stéréotypes. Selon cette théorie, l'effet Proteus devrait être modéré par les facteurs impactant l'intégration des traits relatifs à l'avatar dans le concept de soi actif.

Conformément à la théorie du concept de soi actif sur laquelle a été établi le modèle d'identification, **il était attendu que l'effet Proteus soit plus fort dans une situation**

favorable plutôt que défavorable à l'intégration des caractéristiques de l'avatar dans le concept de soi.

Cette hypothèse a été testée au travers de l'étude de l'effet Proteus sur le comportement en imagerie motrice dans un contexte d'incorporation d'un avatar âgé comparativement à un avatar neutre. Le protocole d'imagerie motrice, développé et validé au travers des études 1 et 2 de ce travail de thèse, a été repris et adapté à une expérimentation en ligne, sans immersion virtuelle. Afin de s'affranchir des limites relatives à la mesure implicite du processus d'identification à l'avatar, et d'ambitionner la mise en évidence d'une relation causale entre ce processus et l'effet Proteus, une méthodologie expérimentale a été privilégiée. L'intégration des caractéristiques de l'avatar dans le concept de soi actif a été manipulée par l'exposition à une situation de focalisation attentionnelle sur soi qui constitue un modérateur des effets d'assimilation comportementale (Dijksterhuis & van Knippenberg, 2000; Hutton & Baumeister, 1992; Kaufman & Libby, 2012; Sohn et al., 2019 ; voir *Chapitre III. Partie 2.1.2.*).

2. Expérience

Note. Etude non publiée.

The Proteus effect: behavioral outcome of a change in the active self-concept?

Introduction

The present study aimed to examine the Proteus effect under the model of identification with a digital character (for a review: Klimmt et al., 2009). The identification process is defined as a temporary modification of the self-concept based on the assimilation of the character's features. The model is based on the active-self account which postulates the integration of prime-related attributes in the active self-concept (for reviews: Wheeler et al., 2007, 2014). Furthermore, the active self-concept is expected to drive behavior, resulting in a behavioral assimilation effect. Accordingly, dispositional (DeMarree et al., 2005, 2011, 2016; DeMarree & Morrison, 2012; Hull et al., 2002; Morrison et al., 2012; Wheeler et al., 2008, 2010) or situational characteristics (Dijksterhuis & van Knippenberg, 2000; Hutton & Baumeister, 1992; Kaufman & Libby, 2012; Sohn et al., 2019) that influence assimilation of prime-related features in the self-concept, consequently impact

behavioral assimilation effects (for reviews: Wheeler et al., 2007, 2014). For example, exposure to the self-image prevents modification of the self-concept because self-awareness activates personal characteristics, which then favors behaviors in accordance with personal standards (Carver & Scheier, 1978; Macrae et al., 1998). In this sense, greater resistance to behavioral and attitudinal influence effects are observed when participants are exposed to their self-image, through a mirror (Dijksterhuis & van Knippenberg, 2000; Hutton & Baumeister, 1992; Kaufman & Libby, 2012) or a real-time video of themselves (Sohn et al., 2019), compared to when they are not. In the context of modification of the self-concept based on a narrative character, Kaufman & Libby (2012) observed weaker identification with the character when exposed to a mirror compared to not.

In the light of the active self-account, the main objective of the present study was to test the hypothesis that the Proteus effect is a behavioral assimilation effects following the process of identification with

the avatar. Thus, a stronger Proteus effect is expected under situations that favors rather than prevents the integration of avatar-related characteristics in the active self-concept. More precisely, considering the Proteus effect on motor imagery time in the context of an elderly avatar embodiment, a longer motor imagery time is expected in the elderly avatar embodiment condition compared to a neutral avatar embodiment condition, and even more so in a no-self-awareness condition compared to a self-awareness condition.

Methods

Participants

The power analysis based on the lower value of the 95% confidence interval of the meta-analytic effect size of the Proteus effect tested in interaction with another variable ($f = .153$; Ratan et al., 2019) recommended a minimum sample size of at least 116 participants for a within-between analysis of variance (ANOVA; 2 groups, 2 measurements, error rate of $\alpha = .05$, power level of .90). Women aged 18 to 30 years with no current or past balance, neuromuscular, locomotor or uncorrected visual disorders were recruited via an online platform (Prolific). The study was proposed to both English and French speakers. The study was approved by an

institutional ethics committee (USMB-CER_2023-25-PSPRO). Participants were granted a financial contribution according to the standards applied by the online platform.

Participants who experienced technical problems and/or did not complete the experiment were excluded from the statistical analyses. Moreover, 48 participants were excluded from the statistical analyses because they did not meet the criteria indicative of a concentrated participation and compliance with instructions (failure of attention check, aberrant experiment completion time : less than 10 minutes or more than 1 hour and 15 minutes for one session, too brief exploration of the virtual environment: less than 5 seconds), and/or they did not show the descriptive distance effect on the distance estimations and on the motor imagery time, and/or they were identified as outliers on the mean motor imagery time as a function of the avatar and the self-awareness variables (Cook's distance). In total, 103 participants were included in the statistical analyses (Age: $M = 25.6$ years; $SD = 3.1$; $N = 33$ French, $N = 70$ English).

Materials

Virtual environment and avatars

The experiment ran online (browsers allowed: Chrome, Safari), in English or French depending on the participant's language, and was displayed in full screen on the participants' computers (phones and tablets not allowed).

The experimental setup, including the virtual environment and the avatars, was partly similar to that developed in the study 2 of Dupraz et al. (2024), except that it was presented on desktop rather than in virtual reality. The virtual environment was developed using Unity software (Unity Technologies USA) and consisted of a virtual room with tapestry and parquet floor. The room was in two parts separated by a wall that could be removed depending on the time of the experiment. In front of the wall, an office armchair was placed facing a virtual mirror positioned against the wall. Various objects were presented in this part of the room (e.g., furniture, flowerpot; Figure 1A₁). Behind the wall, the room stretched with a horizontal floor on which red marks were placed at four possible distances from the office armchair (Figure 1A₂). The participants' ability to perceive distances between the armchair and the red marks was tested with a distance estimation task (see Procedure section). Participants well perceived the marks as distance from each other (Holm corrected comparisons: $p < .001$; see

Supplementary material for details) with a mean estimation of 2.6m ($SD = 1.6$), 6.1m ($SD = 3.5$), 8.9m ($SD = 5.3$), and 12.2m ($SD = 7.6$) for distance 1, 2, 3, and 4 respectively.

One elderly woman avatar (mean estimated age: $M = 77.2$ years; $SD = 10.1$; Figure 1B₁) and one orange humanoid avatar (i.e., "neutral" avatar in terms of aging stereotypes; mean estimated age: $M = 27.4$ years; $SD = 4.3$, Figure 1B₂) were constructed with Blender and MakeHuman™ software. The elderly avatar was perceived as older than the neutral avatar (Mann Whitney test: $W = 57$, $p < .001$). Each avatar was displayed alone in the virtual environment, seated on the office armchair facing the mirror, and the elbows on the armrests. The point of view from which the participants perceived the virtual environment was from the avatar's perspective (i.e., first-person perspective).

At some points in the experiment, the top left part of the screen displayed a video image. In the self-awareness condition, the real-time video feed from the participant's computer webcam was presented (resolution: 1280x720 pixels; Figure 1C₁). Thus, participants saw themselves from the frontal viewpoint (i.e., as in a mirror). In the no-self-awareness condition, a one-minute video of someone else (female

experimenter) performing the experiment was presented (Figure 1C₂). The video was previously recorded from the frontal

viewpoint which enabled participants to see the experimenter from the front.

Figure 1. Overview of the setup



Note. **A.** External view of the virtual room (with the elderly avatar), **A1.** in front of the central wall, and **A2.** behind the central wall where red marks were placed on the floor (once at a time) at four possible distances from the armchair. **B.** **B1.** The elderly and **B2.** the neutral avatars seen in the virtual mirror. **C.** Example of the computer's screen displayed during the exploration phase with the neutral avatar (see Procedure section), **C1.** in the self-awareness condition (the image displays a fictive participant), and **C2.** in the no-self-awareness condition (the image displays the pre-recorded video of the experimenter).

Questionnaires

The identification scale (IS): Identification with the avatar was assessed using items from the Player identification in digital

games scale (Van Looy et al., 2012). The scale has been developed in order to measure the change in the user's self-perception induced by the connection with a digital character (i.e., identification process; for a review: Klimmt et al., 2009). It initially includes three subscales: similarity identification, wishful identification, and embodied presence. Considering that the avatars used in the present study were not designed to resemble participants nor to display desired features, which is more typical of characters in video game context, only the six items from the embodied presence subscale were selected. The content of these items is closely related to that of items relating to the sense of embodiment of an avatar in virtual reality (e.g., body ownership, agency, self-location; for a review: Kilteni et al., 2012). Additionally, the items' statement, initially referring to a game context, was adapted to the experimental situation (see Supplementary material). The items were scored on a five-point Likert scale from 1 (*strongly disagree*) to 5 (*strongly agree*). A mean identification score was computed (Cronbach's alphas between .91 and .95; see Supplementary materials for details).

Adaptation of the General Beliefs about Physical Functioning Instrument (GBPFI):

The extent to which participants expected

a decline of the physical functioning with aging was measured using an adaptation of the General Beliefs about Physical Functioning Instrument (GBPFI; Lineweaver et al., 2017). The questionnaire consisted of seven physical abilities (i.e., six from the initial questionnaire and one specifically added for the experiment: strength, balance, eye-hand coordination, gross motor coordination, flexibility, endurance, and gait speed) for which participants indicated the level of ability of a typical adult aged 20 to 90 years (for each decade). Responses were indicated on visual analogue scales (from 0 to 10 cm) ranging from very low to very high level of ability. A stereotype score for each physical ability was calculated from the slope value of the linear regression line predicting the expected level of ability as a function of age. The more negative the slope value, the stronger the aging stereotypes related to physical functioning. A composite stereotype score was calculated by averaging the stereotype scores of three physical abilities highly involved in locomotion (i.e., gait speed, gross motor coordination, balance).

Distraction item: The extent to which participants were distracted by the exposure to the webcam feed or the video of the experimenter was assessed using

two items (“How distracting was it to see yourself / a video of the experimenter in the top left corner of the screen during the exploration phases?”). Both items were scored on a seven-point Likert scale from 1 (*not distracting at all*) to 7 (*extremely distracting*).

Procedure

Participants performed two experimental sessions lasting 25 minutes each, and at least one day apart (Figure 2). Both sessions were performed with the same self-avatar (i.e., between-subject variable: elderly versus neutral self-avatar), and each session consisted of the completion of one self-awareness condition (i.e., within-subject variable: self-awareness versus no-self-awareness). The assignment of participants to the elderly (N = 52) or the neutral (N = 51) self-avatar condition was alternated at each experiment registration, and the self-awareness conditions were performed in a counterbalanced order.

The exploration phase

Once the participants had consented, configured their webcam (in the self-awareness condition) and read the instructions, they were presented with the virtual environment from the avatar’s first-person perspective (i.e., avatar in front of a mirror). For one minute, participants were

invited to explore the room using the arrows on the keyboard (i.e., right, left, up, down). The arrows enabled the participant to move the avatar’s head in real time with the inputs, and thus to displace the participant’s view over the room. For example, the participant could move the avatar’s head down to see the avatar’s body from a first-person perspective (see Figure 1C), or could turn the avatar’s head to the left to see the flowerpot. This phase made the participants aware that the avatar was their self-avatar over which they had a certain degree of motor control.

Throughout the exploration phase, the top left part of the screen displayed either the real-time video feed from the participant’s computer webcam (i.e., self-awareness condition), or the prerecorded video of the experimenter (i.e., no-self-awareness condition). This one-minute exploration phase was repeated before each block of the motor imagery task.

The motor imagery task

The present motor imagery task is a desktop adaptation of the task previously developed in virtual reality (Beaudoin et al., 2020; Dupraz, Beaudoin, et al., 2024; Dupraz et al., 2023a). During the task, the central wall and mirror of the virtual room were removed so that the participant could see behind it. Each imagery trial started

with a view on the avatar's knees, as if the self-avatar had head down. Thus, for each trial, participants had to move up the avatar's head (with arrows on keyboard) to correctly visualize the red mark placed at four possible distances from the office armchair. Then, they were invited to close their eyes and simulate the displacement from the armchair to the red mark, at a natural walking speed (i.e., getting up, walking, setting both feet on the mark). When participants started and ended the motor simulation, they had to press the space bar of the keyboard. The first press turned the screen black to make the room disappear, while the second press made it reappear. The time between the two presses was recorded as the locomotor imagery time for the trial.

The motor imagery task started with one familiarization trial followed by three blocks of eight trials each. On block

included two trials per distance presented in a randomized order. Thus, participants performed 24 recorded trials in each self-awareness condition.

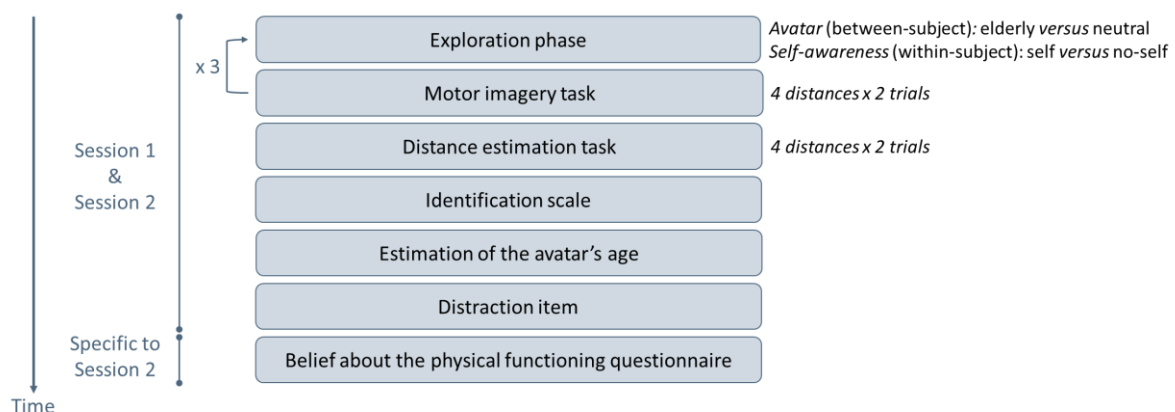
The distance estimation task

Once the imagery task was performed, a red mark was presented at four possible distances from the armchair and the participants had to estimate the distance (in meters) between their self-avatar and the mark. Two estimations per distance were asked, in a randomized order.

Questionnaires completion

The distance estimation task was followed by the completion of the IS and of the distraction item, and by the estimation of the avatar's age. One attention check was included among the items of the IQ. At the end of the second session, participants completed the GBPFI.

Figure 2. Time sequence of the procedure



Results

The following statistical analyses were pre-registered using Open Science Framework (OSF; https://osf.io/b256s/?view_only=4e3ca7ec519641878dd27259645ca1d0).

Motor imagery time

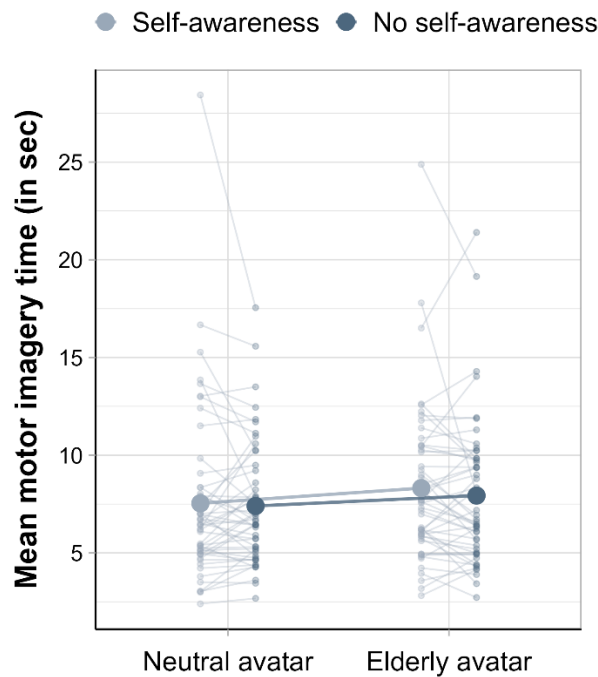
A repeated measure one-way ANOVA (4 distances) was performed to verify the participant's ability to perform the motor imagery task on desktop. Greenhouse-Geiser's correction was applied because the Mauchly's test revealed sphericity violations ($p < .05$). Holm's corrected contrasts were performed between each distance. Moreover, a within-between ANOVA (2 self-awareness conditions x 2 avatar conditions) was performed to test the main hypothesis. Levene's test did not reveal any violation of variance equality between the avatar conditions, $F(1, 204) = 0.28, p = .597$. Although the Lilliefors' tests did not confirm the normality assumption in each condition, both ANOVAs were

performed because of their robustness to the normality violation in terms of Type I error rate (Blanca et al., 2017; Harwell et al., 1992; Schmider et al., 2010).

The repeated measure one-way ANOVA revealed a main effect of the distance, $F(1.12, 113.79) = 283.96, p < .001, \eta^2_G = .349$. The greater the distance, the longer the motor imagery time, with a mean motor imagery time of 3.7s ($SD = 1.7$), 6.8s ($SD = 3.2$), 8.9s ($SD = 4.6$), and 11.8s ($SD = 6.2$) for distance 1, 2, 3, and 4 respectively (contrasts: $p < .001$; see Supplementary material for details).

The within-between ANOVA revealed no effect of the avatar, $F(1, 101) = 0.82, p = .368, \eta^2_G = .007$, nor any effect of the self-awareness condition, $F(1, 101) = 1.30, p = .257, \eta^2_G = .001$. Moreover, the analysis did not demonstrate any interaction effect between the avatar and the self-awareness variables, $F(1, 101) = 0.29, p = .589, \eta^2_G < .001$ (Figure 3).

Figure 3. Mean motor imagery time (in seconds) as a function of the avatar condition (elderly *versus* young) and the self-awareness condition (self-awareness *versus* no-self-awareness).



Exploratory correlation analyses

Considering the normality violation (Lilliefors' test: $p < .05$), Spearman correlations were performed between the motor imagery time in the elderly avatar condition and the identification score with the elderly avatar, the estimation of the age of the elderly avatar, and the stereotype composite score. A statistical correlation was observed exclusively between the motor imagery time and the stereotype composite score ($r = .29, p = .036$).

Additional analyses⁵

A repeated within-between ANOVA (2 awareness conditions x 2 avatar conditions) was performed on the identification scores. Levene's test did not reveal any violation of variance equality between the avatar conditions, $F(1, 204) = 3.72, p = .055$. Although the Lilliefors' tests did not confirm the normality assumption in each condition, the ANOVA was still performed considering its robustness to the normality violation in terms of Type I error rate (Blanca et al., 2017; Harwell et al., 1992; Schmider et al., 2010). The analysis did not reveal any effect of the awareness condition, $F(1, 101) = 2.77, p =$

⁵Additional analyses were not preregistered.

.099, $\eta^2_G = .005$, nor any effect of the avatar condition, $F(1, 101) = 0.07$, $p < .799$, $\eta^2_G < .001$, or any interaction effect between both variables, $F(1, 101) = 0.13$, $p = .718$, $\eta^2_G < .001$.

Considering the normality violation (Lilliefors' test: $p < .05$), a Wilcoxon test was performed on the distraction scores. It revealed a statistical difference between the self-awareness condition ($M = 4.3$, $SD = 1.8$) and the no-self-awareness condition ($M = 4.7$, $SD = 1.8$, $V = 1255$, $p = .037$).

Discussion

The objective of the study was to investigate the effect of self-awareness on the Proteus effect. The protocol failed to demonstrate a Proteus effect on motor imagery time. Moreover, contrary to the hypothesis, no stronger Proteus effect was observed in the no-self-awareness condition compared to the self-awareness condition.

The Proteus effect paradigm used in the present study is a desktop adaptation of that previously developed and validated in virtual reality (Beaudoin et al., 2020; Dupraz, Beaudoin, et al., 2024; Dupraz et al., 2023a). It was demonstrated that the embodiment of an elderly avatar in virtual reality led to a decrease in locomotor imagery speed compared to the

embodiment of a young avatar (Beaudoin et al., 2020) or compared to a neutral avatar in terms of age (Dupraz, Beaudoin, et al., 2024). The major difference between the present paradigm and the original one lies in the motor imagery task. The walking trajectories were presented on a computer screen in the present study rather than in an immersive virtual environment in previous ones. Bakker et al. (2007) demonstrated that motor imagery is similar, in terms of mental chronometry, when performed from real trajectories and from trajectories presented on computer screen. In the present study, to ensure that participants were sufficiently good imagers to complete the motor imagery task, only participants with a descriptive effect of distance on motor imagery time were included in the statistical analyses. Indeed, considering that the present experiment ran online, it was difficult to assess participant's imagery motor ability through a questionnaire as previously done (e.g., Loison et al., 2013). Thus, the preserved temporal characteristics of movement on the motor imagery performance was considered as a behavioral criterion for the accuracy of the mental representation (for a review: Collet et al., 2011). This was supported by the statistical effect of distance observed on motor imagery time. Thus, despite

participant's ability to perform the motor imagery task on desktop, the study failed to replicate the Proteus effect in that no difference was observed on the motor imagery time between the elderly and the neutral avatar conditions.

One explanation for this absence of Proteus effect could result in a weak relationship established between the participants' and their self-avatar. In the original Proteus effect study, Yee & Bailenson (2007) presented the phenomenon in a context of deindividuation in an online environment that led the user to search for new identity cues which were eventually found in the avatar. In the present study, the non-immersive experimental situation may have reduced the deindividuation process and then the need for the participants to search for identity cues. This would be consistent with the weaker Proteus effects demonstrated by non-immersive studies compared to studies in virtual reality (for a meta-analysis: Beyea et al., 2023). Additionally, the interactions offered by the present paradigm between the participants and their avatar (i.e., motor control over the avatar's head movements, immersion in first-person perspective through the screen) may have been insufficient for the participants to truly consider the avatar as their self-

representation in the virtual environment. In this sense, although the avatars were presented as such to the participants, the identification scores with both the elderly and the neutral avatars appeared quite modest. This explanation may support the need for a minimal degree of proximity between the user and the avatar for the Proteus effect to occur (for a meta-analysis: Ratan et al., 2019). However, it should be noted that evidence for the user-avatar proximity hypothesis remains modest in the present study. Such hypothesis is only supported by the different results observed between previous studies in virtual reality and the present study without such immersion. Additionally, it is not further supported by any correlation between motor imagery performance and the degree of identification with the avatar. Moreover, the present study that specifically studied the proximity between the participant and the avatar through assimilation of the avatar's characteristics in the participant's self-concept was not supported either.

Based on the identification model (for a review: Klimmt et al., 2009) and the active-self account (for reviews: Wheeler et al., 2007, 2014), it was proposed that the Proteus effect consisted of the behavioral outcome of identification with the avatar. Thus, the identification process was

manipulated to investigate consequences on the Proteus effect. Previous studies demonstrated the moderator effect of self-awareness on active self-concept modification and then on behavioral assimilation effect (for reviews: Wheeler et al., 2007, 2014). In that sense, a weaker identification with the avatar was expected in a self-awareness condition compared to a no-self-awareness condition, leading then to a weaker Proteus effect in the former compared to the latter. Contrary to the hypothesis, no effect of the self-awareness condition was observed either on the identification with the avatar or on the Proteus effect. In other words, the main hypothesis, which postulated a stronger Proteus effect in a situation enabling the assimilation of the avatar's characteristics in the self-concept compared to a situation preventing from such an association was not confirmed. Evidence lacks to fit the Proteus effect within the active-self account and confirm that the phenomenon is a behavioral outcome of an avatar identification process.

Several limits must be considered in the light of this absence of results. First, the manipulation of self-awareness may have failed. Previous studies that used exposure to a mirror as a self-awareness situation checked that it expectedly activated personal characteristics. For example,

more first-person pronouns were listed following a self-image exposure compared to a control condition without exposure (Dijksterhuis & van Knippenberg, 2000; Macrae et al., 1998; Wiekens & Stapel, 2008). The absence of such manipulation check in the present study makes it difficult to ascertain the efficiency of the manipulation. The failure of the self-awareness manipulation is possible in that it was specifically used to influence identification with the avatar, but additional analyses did not reveal weaker identification when exposed to the self-image compared to the image of someone else. It is worth noticing that the identification with the avatar was assessed using an explicit measure whose construction was effectively based on the model of identification (Van Looy et al., 2012). However, its explicit nature deviates from the implicit process describes in the original model (for a review: Klimmt et al., 2009). Indeed, the model of identification being based on the active-self account, it assumes a temporary and automatic assimilation of the character-related features in the self-concept what authors assessed with implicit measures (Klimmt et al., 2010). In the present study, an explicit measure of identification was favored given the criticisms that were raised about the use,

interpretation and psychometrics qualities of implicit measures (Fiedler et al., 2006; Hefner et al., 2011). However, it should be noted that Klimmt et al. (2010) did not observe any correlation between the implicit and the explicit measures of identification. Therefore, in addition to the possible failure of the present protocol to manipulate avatar identification through self-awareness, the questionnaire used to measure identification may have also failed to truly capture this process. A second limit that might explain the absence of results lies in statistical underpower. As preregistered, data collection was stopped once the *a priori* recommended sample size was achieved with an additional margin to consider potential deletion. However, the analyses of preregistered exclusion criteria lead to exclude more participants than initially anticipated, and therefore to statistical underpower.

In the light of these points, it would be interesting to further investigate the Proteus effect under the model of identification and the active-self account. The present study suggests reconsidering the technology used to demonstrate the Proteus effect, as well as the measure of identification with the avatar. For example, in order to observe the expected Proteus effect on motor imagery, it could be

interesting to replicate the present paradigm in virtual reality as it was initially developed (Beaudoin et al., 2020; Dupraz, Beaudoin, et al., 2024). Additionally, a measure of identification with the avatar more in line with the theoretical conception of the identification model would enable a more accurate assessment of the process. This would require an evaluation of the implicit associations between the self-concept and the avatar's characteristics (for a review: Klimmt et al., 2009). However, considering that these associations have so far been investigated using an Implicit Association Task (IAT; Greenwald et al., 1998; e.g., Banakou et al., 2013; Klimmt et al., 2010; Tammy Lin et al., 2021; Tammy Lin & Wu, 2021) whose validity has been widely criticized (Fiedler et al., 2006), more reliable implicit measure would be relevant to further investigate the process of identification with the avatar in the context of the Proteus effect.

Conclusion

The objective of the study was to investigate the Proteus effect in the light of the model of identification with a media character, and more generally from the active-self account perspective. The study aimed to test the effect of self-awareness on the Proteus effect. Contrary to

hypotheses, the protocol failed to replicate the Proteus effect on motor imagery time, and did not demonstrate a stronger Proteus effect under the no-self-awareness condition compared to the self-awareness condition. It is worth pursuing investigations using more optimal conditions for the occurrence of the Proteus effect and for the examination of the expected underlying processes.

References

- Bakker, M., de Lange, F. P., Stevens, J. A., Toni, I., & Bloem, B. R. (2007). Motor imagery of gait: A quantitative approach. *Experimental Brain Research*, 179(3), 497-504. <https://doi.org/10.1007/s00221-006-0807-x>
- Banakou, D., Groten, R., & Slater, M. (2013). Illusory ownership of a virtual child body causes overestimation of object sizes and implicit attitude changes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(31), 12846-12851. <https://doi.org/10.1073/pnas.1306779110>
- Beaudoin, M., Barra, J., Dupraz, L., Mollier-Sabet, P., & Guerraz, M. (2020). The impact of embodying an “elderly” body avatar on motor imagery. *Experimental Brain Research*, 238(6), 1467-1478. <https://doi.org/10.1007/s00221-020-05828-5>
- Beyea, D., Ratan, R., Lei, Y., Liu, H., Hales, G. E., & Lim, C. (2023). A New Meta-Analysis of the Proteus Effect: Studies in VR Find Stronger Effect Sizes. *PRESENCE: Virtual and Augmented Reality*, 1-30. https://doi.org/10.1162/pres_a_00392
- Blanca, M. J., Alarcón, R., Arnau, J., Bono, R., & Bendayan, R. (2017). Non-normal data: Is ANOVA still a valid option? *Psicothema*, 29(4), 552-557. <https://doi.org/10.7334/psicothema2016.383>
- Carver, C. S., & Scheier, M. F. (1978). Self-focusing effects of dispositional self-consciousness, mirror presence, and audience presence. *Journal of Personality and Social Psychology*, 36, 324-332. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.36.3.324>
- Collet, C., Guillot, A., Lebon, F., MacIntyre, T., & Moran, A. (2011). Measuring motor imagery using psychometric, behavioral, and psychophysiological tools. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 39(2), 85-92. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e31820ac5e0>
- DeMarree, K. G., & Morrison, K. R. (2012). What do I think about who I am? Metacognition and the self-concept. In *Social metacognition* (p. 103-119). Psychology Press.
- DeMarree, K. G., Morrison, K. R., Wheeler, S. C., & Petty, R. E. (2011). Self-Ambivalence and Resistance to Subtle Self-Change Attempts. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 37(5), 674-686. <https://doi.org/10.1177/0146167211400097>
- DeMarree, K. G., Rios, K., Randell, J. A., Wheeler, S. C., Reich, D. A., & Petty, R. E. (2016). Wanting to Be Different Predicts Nonmotivated Change: Actual–Desired Self-Discrepancies and Susceptibility to Subtle Change Inductions. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 42(12), 1709-1722. <https://doi.org/10.1177/0146167216670876>
- DeMarree, K. G., Wheeler, S. C., & Petty, R. E. (2005). Priming a New Identity: Self-Monitoring Moderates the Effects of Nonself Primes on Self-Judgments and Behavior. *Journal of Personality and Social Psychology*, 89(5), 657-671. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.89.5.657>
- Dijksterhuis, A., & van Knippenberg, A. (2000). Behavioral indecision: Effects of self-focus on automatic behavior. *Social Cognition*, 18, 55-74. <https://doi.org/10.1521/soco.2000.18.1.55>
- Dupraz, L., Barra, J., Beaudoin, M., & Guerraz, M. (2023). Impact of an overweight body representation in virtual reality on locomotion in a motor imagery task. *Psychological Research*, 87(2), 462-473. <https://doi.org/10.1007/s00426-022-01675-x>
- Dupraz, L., Beaudoin, M., Guerraz, M., & Barra, J. (2024). Does the avatar embodiment moderate the Proteus effect?
- Fiedler, K., Messner, C., & Bluemke, M. (2006). Unresolved problems with the « I », the « A », and the « T »: A logical and psychometric

- critique of the Implicit Association Test (IAT). *European Review of Social Psychology*, 17, 74-147. <https://doi.org/10.1080/10463280600681248>
- Greenwald, A. G., McGhee, D. E., & Schwartz, J. L. K. (1998). Measuring Individual Differences in Implicit Cognition: The Implicit Association Test. 17.
- Harwell, M. R., Rubinstein, E. N., Hayes, W. S., & Olds, C. C. (1992). Summarizing Monte Carlo Results in Methodological Research: The One- and Two-Factor Fixed Effects ANOVA Cases. *Journal of Educational Statistics*, 17(4), 315-339. <https://doi.org/10.3102/10769986017004315>
- Hefner, D., Rothmund, T., Klimmt, C., & Gollwitzer, M. (2011). Implicit Measures and Media Effects Research: Challenges and Opportunities. *Communication Methods and Measures*, 5(3), 181-202. <https://doi.org/10.1080/19312458.2011.597006>
- Hull, J. G., Slone, L. B., Meteyer, K. B., & Matthews, A. R. (2002). The nonconsciousness of self-consciousness. *Journal of Personality and Social Psychology*, 83, 406-424. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.83.2.406>
- Hutton, D. G., & Baumeister, R. F. (1992). Self-Awareness and Attitude Change: Seeing Oneself on the Central Route to Persuasion. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 18(1), 68-75. <https://doi.org/10.1177/0146167292181010>
- Kaufman, G. F., & Libby, L. K. (2012). Changing beliefs and behavior through experience-taking. *Journal of Personality and Social Psychology*, 103, 1-19. <https://doi.org/10.1037/a0027525>
- Kilteni, K., Groten, R., & Slater, M. (2012). The Sense of Embodiment in Virtual Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 21(4), 373-387. https://doi.org/10.1162/PRES_a_00124
- Klimmt, C., Hefner, D., & Vorderer, P. (2009). The Video Game Experience as "True" Identification: A Theory of Enjoyable Alterations of Players' Self-Perception. *Communication Theory*, 19(4), 351-373. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2885.2009.01347.x>
- Klimmt, C., Hefner, D., Vorderer, P., Roth, C., & Blake, C. (2010). Identification With Video Game Characters as Automatic Shift of Self-Perceptions. *Media Psychology*, 13(4), 323-338. <https://doi.org/10.1080/15213269.2010.524911>
- Lineweaver, T. T., Kugler, J., Rabellino, A., & Stephan, Y. (2017). Beliefs about age-related changes in physical functioning across the adult life span and their relationship with physical activity levels of older adults. *Aging, Neuropsychology and Cognition*, 25(4), 613-631. <https://doi.org/10.1080/13825585.2017.1356903>
- Loison, B., Moussaddaq, A.-S., Cormier, J., Richard, I., Ferrapie, A.-L., Ramond, A., & Dinomais, M. (2013). Translation and validation of the French Movement Imagery Questionnaire – Revised Second version (MIQ-RS). *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 56(3), 157-173. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2013.01.001>
- Macrae, C. N., Bodenhausen, G. V., & Milne, A. B. (1998). Saying no to unwanted thoughts: Self-focus and the regulation of mental life. *Journal of Personality and Social Psychology*, 74, 578-589. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.74.3.578>
- Morrison, K. R., Johnson, C. S., & Wheeler, S. C. (2012). Not All Selves Feel the Same Uncertainty: Assimilation to Primes Among Individualists and Collectivists. *Social Psychological and Personality Science*, 3(1), 118-126. <https://doi.org/10.1177/1948550611411310>
- Ratan, R., Beyea, D., Li, B. J., & Graciano, L. (2019). Avatar characteristics induce users' behavioral conformity with small-to-medium effect sizes: A meta-analysis of the proteus effect. *Media Psychology*, 0(0), 1-25. <https://doi.org/10.1080/15213269.2019.1623698>
- Schmider, E., Ziegler, M., Danay, E., Beyer, L., & Bühner, M. (2010). Is It Really Robust? *Methodology*, 6(4), 147-151. <https://doi.org/10.1027/1614-2241/a000016>
- Sohn, S., Chung, H. C., & Park, N. (2019). Private Self-Awareness and Aggression in Computer-Mediated Communication: Abusive User Comments on Online News Articles. *International Journal of Human-Computer*

- Interaction, 35(13), 1160-1169.
<https://doi.org/10.1080/10447318.2018.1514822>
- Tammy Lin, J.-H., & Wu, D.-Y. (2021). Exercising With Embodied Young Avatars: How Young vs. Older Avatars in Virtual Reality Affect Perceived Exertion and Physical Activity Among Male and Female Elderly Individuals. *Frontiers in Psychology*, 12.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2021.693545>
- Tammy Lin, J.-H., Wu, D.-Y., & Yang, J.-W. (2021). Exercising With a Six Pack in Virtual Reality: Examining the Proteus Effect of Avatar Body Shape and Sex on Self-Efficacy for Core-Muscle Exercise, Self-Concept of Body Shape, and Actual Physical Activity. *Frontiers in Psychology*, 12.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2021.693543>
- Van Looy, J., Courtois, C., De Vocht, M., & De Marez, L. (2012). Player identification in online games: Validation of a scale for measuring identification in MMOGs. *Media Psychology*, 15, 197-221.
<https://doi.org/10.1080/15213269.2012.674917>
- Wheeler, S. C., DeMarree, K. G., Morrison, K. R., & Petty, R. (2010). Self-Concept Consistency Fosters Resistance to Prime-Induced Attitude Shifts. *Advances in Consumer Research*, 37, 170-173.
- Wheeler, S. C., DeMarree, K. G., & Petty, R. E. (2007). Understanding the Role of the Self in Prime-to-Behavior Effects: The Active-Self Account. *Personality and Social Psychology Review*, 11(3), 234-261.
<https://doi.org/10.1177/1088868307302223>
- Wheeler, S. C., Demarree, K., & Petty, R. (2014). Understanding Prime-to-Behavior Effects: Insights from the Active-Self Account. *Social Cognition*, 32, 109-123.
<https://doi.org/10.1521/soco.2014.32.suppl.109>
- Wheeler, S. C., Morrison, K. R., DeMarree, K. G., & Petty, R. E. (2008). Does self-consciousness increase or decrease priming effects? It depends. *Journal of Experimental Social Psychology*, 44(3), 882-889.
<https://doi.org/10.1016/j.jesp.2007.09.002>
- Wiekens, C. J., & Stapel, D. A. (2008). The Mirror and I: When private opinions are in conflict with public norms. *Journal of Experimental Social Psychology*, 44(4), 1160-1166.
<https://doi.org/10.1016/j.jesp.2008.02.005>
- Yee, N., & Bailenson, J. (2007). The Proteus Effect: The Effect of Transformed Self-Representation on Behavior. *Human Communication Research*, 33(3), 271-290.
<https://doi.org/10.1111/j.1468-2958.2007.00299.x>



3. Récapitulatif de l'expérience



HYPOTHÈSE

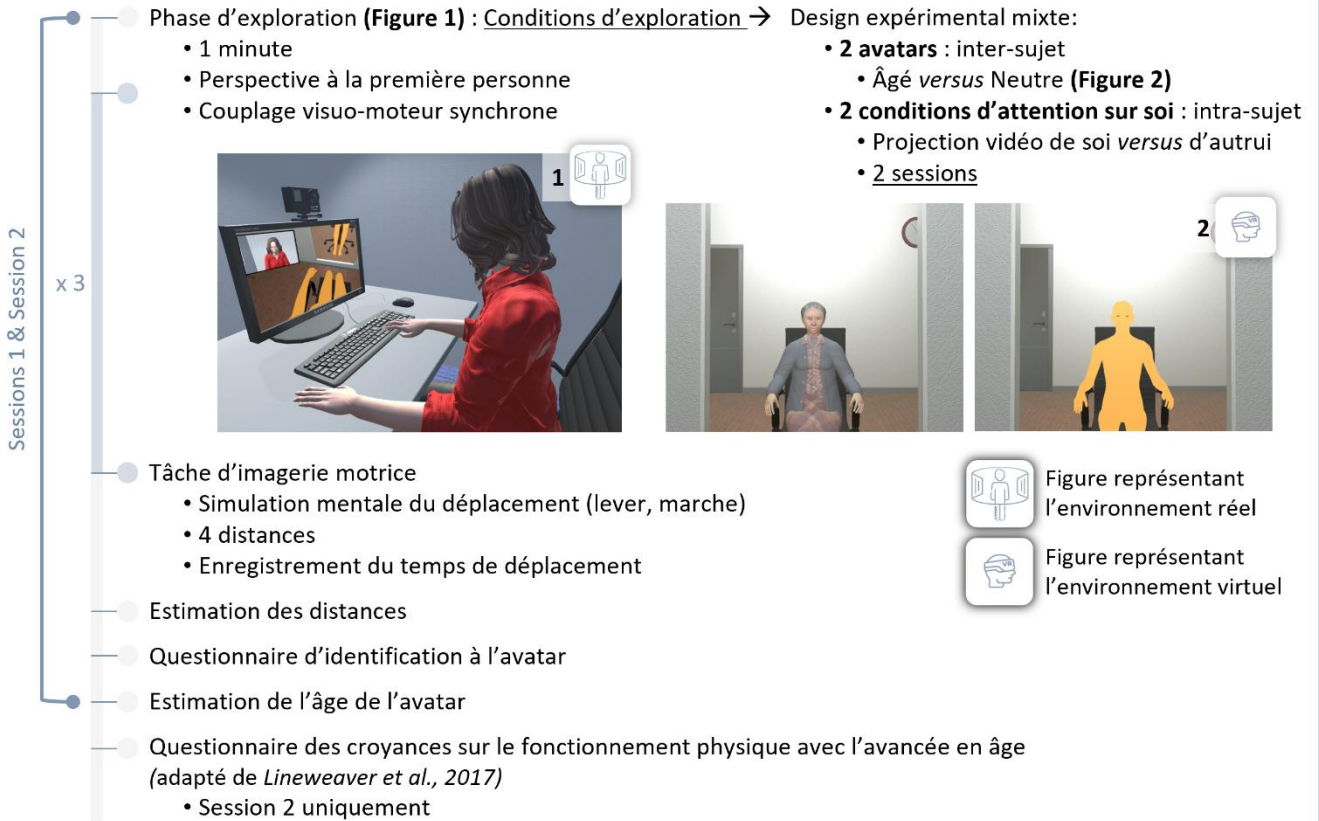
Effet de focalisation sur soi sur l'effet Proteus :

L'incorporation d'un avatar âgé conduit à un ralentissement de la vitesse de marche en imagerie motrice, ceci d'autant plus dans une condition sans focalisation sur soi plutôt qu'avec focalisation sur soi.

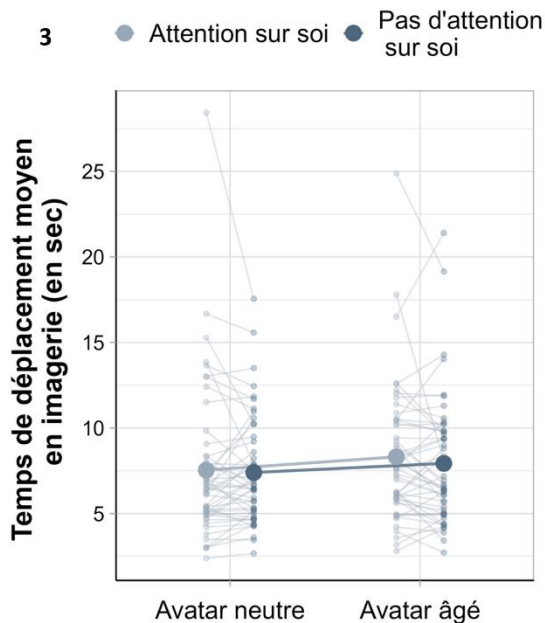


MÉTHODOLOGIE

103 femmes (Age : $M = 25.6$, $SD = 3.1$)



RÉSULTATS



Temps de déplacement en imagerie motrice (Figure 3) :

- Pas d'effet de l'avatar
 - $F(1, 101) = 0.82, p = .368, \eta^2G = .007$
- Pas d'effet de l'attention sur soi
 - $F(1, 101) = 1.30, p = .257, \eta^2G = .001$
- Pas d'effet d'interaction avatar x attention sur soi
 - $F(1, 101) = 0.29, p = .589, \eta^2G < .001$



Pas d'effet Proteus

4. Conclusion

L'étude 5 s'inscrivait dans une conception de l'effet Proteus reposant sur le modèle d'identification au personnage numérique (pour une revue : Klimmt et al., 2009) et sur la théorie du concept de soi actif (pour des revues : Wheeler et al., 2007, 2014). L'étude visait à manipuler l'identification à l'avatar, et plus précisément l'intégration des caractéristiques de l'avatar âgé dans le concept de soi, afin d'en étudier les conséquences sur l'apparition de l'effet Proteus. L'identification à l'avatar a été manipulée par l'exposition ou non à une situation de focalisation attentionnelle sur soi censée influencer l'établissement d'une association entre le concept de soi et l'avatar. L'effet Proteus a été investigué au travers d'une adaptation sur ordinateur de la tâche d'imagerie motrice construite dans les précédentes études de ce travail de thèse.

Bien que les participantes soient parvenues à réaliser la tâche d'imagerie motrice sur ordinateur, comme le démontre le respect des caractéristiques de distance de la trajectoire sur le temps de déplacement en imagerie (pour une revue : Collet et al., 2011), l'étude n'a pas permis de mettre en évidence un effet Proteus. En effet, l'utilisation d'un avatar âgé plutôt que neutre n'a pas conduit au ralentissement attendu de la vitesse de marche en imagerie motrice. Par ailleurs, aucun effet de l'exposition à une situation de focalisation attentionnelle sur soi n'a été observé, ni sur la mesure explicite d'identification à l'avatar, ni sur la performance en imagerie motrice. L'étude ne permet donc pas de confirmer l'hypothèse selon laquelle l'effet Proteus constitue un effet d'assimilation comportementale consécutif au processus d'identification à l'avatar. Il apparaît néanmoins que cette question mérite de plus amples investigations. La présente étude comporte des limites relatives à la technologie (i.e., non immersive) et aux mesures employées (i.e., mesure explicite du processus d'identification) qu'il conviendrait de corriger pour mieux appréhender les processus ciblés.

CHAPITRE VIII.

Discussion générale

1. Recontextualisation du travail de thèse

1.1. Rappel des objectifs

Ce travail de thèse s'est inscrit dans l'objectif de poursuivre l'investigation de l'effet Proteus sur les compétences motrices et cognitives, ainsi que d'approfondir la compréhension des mécanismes sous-jacents. Dans ce cadre, l'effet de l'incorporation d'un avatar âgé et d'un avatar obèse a été investigué sur la vitesse de marche en imagerie motrice (études 1 et 2). Le protocole d'incorporation d'un avatar âgé a également été testé sur une tâche de rappel explicite (étude 3). Parallèlement, un premier objectif théorique était de confirmer l'intervention d'un mécanisme additionnel à celui d'un effet d'amorçage situationnel direct dans l'apparition de l'effet Proteus (études 1, 2 et 3). Un second objectif était de tester le rôle causal du processus d'incorporation sur l'apparition du phénomène (études 4 et 4bis). Enfin, le dernier objectif était d'examiner l'intervention d'un changement de perception de soi dans l'apparition de l'effet Proteus (étude 5).

1.2. Rappel des principaux résultats

Les études 1 et 2 ont mis en évidence un effet Proteus sur la vitesse de marche en imagerie motrice : les participantes ont mis plus de temps à se représenter un déplacement lors de l'incorporation d'un avatar âgé plutôt que jeune (étude 1), et d'un avatar obèse plutôt que normo-pondéré (étude 2). Le protocole d'étude de l'effet Proteus, basé sur l'incorporation d'un avatar en réalité virtuelle, est donc efficace pour observer l'influence des caractéristiques de l'avatar incorporé sur le comportement en imagerie motrice. Ces premiers résultats sont en faveur de l'intervention d'un mécanisme additionnel à celui de l'effet de l'amorçage dans l'apparition de l'effet Proteus. L'étude 3 n'a pas permis d'identifier un effet Proteus sur une

mesure cognitive : aucun effet de l'incorporation d'un avatar âgé n'a été observé sur les performances de rappel explicite.

Les études 4 et 4bis n'ont pas confirmé le rôle causal du processus d'incorporation sur l'apparition du phénomène. Un effet Proteus a été observé quelle que soit la condition d'incorporation, aussi bien lorsque le corps de l'avatar était associé à un sentiment d'incorporation que lorsqu'il ne l'était pas (étude 4bis). De plus, les études 4 et 4bis n'ont pas permis d'identifier un changement de perception de soi explicite consécutivement à l'incorporation d'un avatar âgé comparativement à un avatar neutre. L'étude 5 n'a pas permis non plus de confirmer l'intervention d'un changement de perception de soi implicite dans l'apparition de l'effet Proteus. Le protocole d'étude en ligne a échoué à répliquer l'effet Proteus sur le comportement en imagerie motrice, et à mettre en évidence une modulation du phénomène par une situation favorable ou défavorable à l'association entre le concept de soi et les caractéristiques de l'avatar (étude 5).

2. Contributions aux démonstrations de l'effet Proteus

2.1. Entre représentation corporelle, croyances, et comportement moteur

Les études 1 et 2 attestent d'un effet Proteus sur le comportement en imagerie motrice lors de l'incorporation d'un avatar associé à des stéréotypes relatifs au fonctionnement moteur. L'effet Proteus observé dans ces deux études était corrélé à l'adhésion aux stéréotypes associés aux avatars ; une corrélation a été observée avec les stéréotypes relatifs aux capacités d'équilibre des adultes âgés (étude 1) et les capacités d'agilité des personnes obèses (étude 2 ; voir *Chapitre VIII. Partie 6.* pour une discussion de ces corrélations). Pris ensemble, ces résultats confirment l'influence des croyances associées aux caractéristiques d'apparence du corps virtuel incorporé sur la représentation mentale du mouvement (Tosi et al., 2020). De manière cohérente, de récentes études apportent de nouvelles démonstrations d'un effet Proteus sur le comportement moteur réel malgré l'intervention inévitable de retours sensoriels susceptibles de perturber l'expérience d'incorporation des avatars (Kocur, Kloss, et al., 2020; Mal et al., 2023; Sadek et al., 2022; Tammy Lin et al., 2021; Vahle & Tomasik, 2022; Vogel et al., 2022). Certaines études continuent toutefois à mettre en évidence des résultats inconsistants

(voir *Chapitre IV. Partie 2.2.1.*), voire à ne pas identifier d'effet Proteus sur la motricité réelle (Kocur et al., 2023; Tammy Lin et al., 2021; Tammy Lin & Wu, 2021). En somme, l'utilisation d'une tâche d'imagerie motrice pour appréhender le fonctionnement moteur dans le cadre de l'effet Proteus apparaît pertinente.

L'alignement du fonctionnement moteur réel et représenté aux croyances relatives à la représentation corporelle, présentant ici une déviation par rapport aux frontières du corps biologique, n'est pas sans rappeler celui observé lors de troubles de l'expérience corporelle. Dans le cadre de l'anorexie mentale par exemple, au-delà de la perception élargie qu'ont les patients de leur forme corporelle (American Psychiatric Association, 2015), le comportement moteur de ces patients est aligné à leurs dimensions corporelles perçues (Guardia et al., 2010, 2012; Keizer et al., 2013; Metral et al., 2014). Dans une tâche visant à franchir des ouvertures de différentes largeurs, ces patients tournent leurs épaules de façon à franchir des ouvertures ne nécessitant pas un tel ajustement postural, témoignant d'une représentation corporelle élargie comparativement aux dimensions réelles du corps (Keizer et al., 2013; Metral et al., 2014). Cette distorsion du schéma corporel est d'ailleurs retrouvée au niveau de la représentation mentale de l'action (Guardia et al., 2010; Metral et al., 2014). En somme, des déviations aussi bien expérimentales que pathologiques de la représentation corporelle par rapport aux frontières du corps biologique entraînent un fonctionnement moteur davantage conforme aux dimensions corporelles perçues plutôt que réelles. Ce parallèle donne sens au fait de considérer les paradigmes d'incorporation comme des simulations de déviations de la représentation corporelle susceptibles d'aboutir à des conséquences fonctionnelles. Si ces simulations sont principalement basées sur des informations visuelles, des simulations sensori-motrices d'expériences corporelles sont également proposées : des études s'intéressent à l'impact du port de simulateurs de vieillissement, mimant les changements sensoriels et moteurs observés avec l'avancée en âge, sur les capacités de jeunes adultes (pour une revue : Moutoussamy et al., 2023). Ces protocoles de simulation visuelle et sensorimotrice offrent la possibilité d'appréhender, selon une approche expérimentale, les processus sous-jacents aux relations entre l'expérience corporelle, les croyances associées et les comportements.

2.2. Effet Proteus et performances cognitives : réflexions sur le protocole d'étude

L'étude 3 de ce travail de thèse n'a pas permis de mettre en évidence un effet Proteus sur les capacités mnésiques d'adultes jeunes lors de l'incorporation d'un avatar âgé. D'autres études confirment, quant à elles, l'apparition du phénomène sur des mesures cognitives, telles que des tâches arithmétiques (Lee et al., 2014; Ratan & Sah, 2015), des tâches de créativité (Buisine & Guegan, 2019; Gorisse et al., 2023; Guegan et al., 2016), de planification (Banakou et al., 2018), et de mémoire (Vahle & Tomasik, 2022). Bien que l'étude de Vahle & Tomasik (2022) présente certaines limites (voir *Chapitre V. Partie 2.2.*), elle suggère toutefois que les capacités de mémoire peuvent être impactées dans un contexte d'incorporation d'avatar. Il reste donc raisonnable d'attribuer l'absence de résultats dans l'étude 3, non pas à l'absence d'effet Proteus sur les fonctions mnésiques, mais à l'échec du protocole à le mettre en évidence. Il est proposé que l'effet Proteus est plus difficile à mettre en évidence sur une tâche cognitive impliquant une notion évaluative. Des processus psychologiques annexes, tels que la motivation à performer, sont susceptibles d'intervenir et masquer tout effet d'assimilation aux stéréotypes. Cela avait d'ailleurs été avancé pour expliquer l'absence d'effet d'amorçage comportemental aux stéréotypes du vieillissement sur les performances de mémorisation d'adultes jeunes (Hess et al., 2004). Dans le cadre de l'effet Proteus, l'utilisation de tâches cognitives plus incidentes pourrait être envisagée afin de poursuivre l'étude du phénomène sur les fonctions de plus haut niveau.

3. Effet Proteus : au-delà d'un effet d'amorçage direct aux stéréotypes

Le protocole expérimental employé dans les premières études du travail de cette thèse a été construit de manière à systématiser l'activation des stéréotypes associés aux avatars (e.g., co-présence des avatars âgé et jeune dans l'environnement virtuel). Le ralentissement identifié dans les conditions d'incorporation des avatars âgé ou obèse comparativement aux conditions où ces mêmes avatars n'étaient pas incorporés mais présents (études 1 et 2) témoigne d'un effet Proteus au-delà de l'activation situationnelle des stéréotypes. En somme, ces études sont en faveur de l'intervention d'un mécanisme additionnel à celui de l'amorçage situationnel direct dans l'apparition de l'effet Proteus.

Ces résultats confirment la proposition de Yee & Bailenson (2009, p. 206) : « alors que d'autres auteurs suggèrent que l'amorçage peut être à la base de l'effet Proteus [(Peña et al., 2009)], nos résultats suggèrent qu'il y a plus que cela dans le tableau. [...] L'incorporation et la

représentation numérique de soi sont des facteurs importants qui conduisent aux changements de comportement observés dans les études sur l'effet Proteus [...] ». La corrélation positive observée entre la force du sentiment d'incorporation de l'avatar âgé et l'intensité de l'effet Proteus apparaît conforme à cette proposition (étude 1). Cette relation suggère que le degré de conformisme aux stéréotypes associé à l'avatar est lié à la force de considération du corps de cet avatar comme étant sien. Toutefois, il est nécessaire de rester prudent avec cette corrélation car cette dernière n'est pas soutenue par celle identifiée dans l'étude 2 ; l'effet Proteus était corrélé à l'intensité de l'illusion d'incorporation de l'avatar non ciblé par les stéréotypes négatifs cette fois (normo-pondéré).

4. Repenser le rôle du processus d'incorporation

Le processus d'incorporation a été placé au cœur des investigations et interprétations de l'effet Proteus. L'incorporation a été proposée comme étant le reflet de l'intervention d'un processus d'auto-perception supposément à l'œuvre dans l'effet Proteus (Yee & Bailenson, 2009), et comme étant un facteur modérateur du phénomène (pour une méta-analyse : Ratan et al., 2019). Une récente méta-analyse argumente en ce sens : les études menées en réalité virtuelle, plutôt que sur ordinateur, sont identifiées comme plus favorables à la mise en évidence de l'effet Proteus, ce qui est attribué à l'intervention d'un processus d'incorporation (pour une méta-analyse : Beyea et al., 2023). Bien que les conditions optimales à l'incorporation d'un avatar soient considérées favorables à l'apparition d'un effet Proteus, l'étude 4bis démontre qu'elles ne lui sont pas nécessaires. En effet, les résultats de cette étude montrent que l'effet Proteus ne nécessite pas de considérer le corps de l'avatar comme étant sien pour apparaître. Le phénomène semble donc indépendant d'un processus centré sur le corps.

De manière intéressante, une série de récentes études s'inscrit dans l'objectif de tester le rôle causal du processus d'incorporation sur l'apparition de phénomènes étudiés au travers d'un paradigme d'incorporation en réalité virtuelle (Dupraz, Bourgin, et al., 2024; Raoul et al., 2024; Vagaja et al., 2024). Ces études aboutissent aux mêmes conclusions que l'étude 4bis réalisée, elle, sur l'effet Proteus. Dans le contexte des illusions kinesthésiques par exemple, une étude démontre que les mouvements de bras d'un avatar perçu depuis une perspective à la première personne induisent des illusions kinesthésiques aussi bien après une phase de couplage visuo-moteur synchrone qu'asynchrone (Dupraz, Bourgin, et al., 2024). Autrement dit, les

informations visuelles de mouvements provenant de l'avatar participent à l'émergence d'un percept kinesthésique, indépendamment du fait de considérer subjectivement l'avatar comme son propre corps. De plus, dans le cadre d'un protocole de rééducation fonctionnelle basée sur l'entraînement à l'imagerie motrice en réalité virtuelle, Vagaja et collaborateurs (2024) enregistrent des activités électroencéphalographiques similaires au cours de la tâche d'imagerie quelle que soit la condition d'incorporation de l'avatar (synchronie *versus* asynchronie visuo-tactile et visuo-motrice). Enfin, Raoul et collaborateurs (2024) observent une modification de la perception implicite de la taille corporelle après l'immersion dans le corps d'un avatar plus ou moins large que le corps des participantes, ceci indépendamment de la condition d'incorporation encore une fois (voir aussi : Piryankova et al., 2014; Porras Garcia et al., 2019; Serino et al., 2016; Tosi et al., 2022). Ces différents phénomènes apparaissent donc peu sensibles au processus d'incorporation en tant que tel, tout au moins lorsque ce dernier est évalué au moyen de mesures subjectives explicites. Une interprétation possible est que ces mesures ne permettent pas d'appréhender de manière optimale les processus relatifs à l'expérience corporelle (voir *Chapitre II. Partie 2.1.*), ou ciblent seulement un aspect conscient de celle-ci. Par exemple, Raoul et collaborateurs (2024) proposent que la modification de la taille corporelle perçue en direction de la morphologie de l'avatar traduit une forme d'incorporation implicite de ce dernier qui n'est pas détectée par les mesures explicites du sentiment d'incorporation. De même, les résultats concernant les illusions kinesthésiques suggèrent que si l'avatar n'est pas consciemment considéré comme étant son propre corps, les caractéristiques dynamiques de ce dernier sont toutefois intégrées à la construction d'un percept de mouvement, tout au moins lors d'une immersion avec une perspective à la première personne (Dupraz, Bourgin, et al., 2024). Les dissociations identifiées entre le sentiment d'incorporation de l'avatar et les phénomènes de perception corporelle (e.g., perception des dimensions, kinesthésie) pourraient être interprétées en regard des processus à l'origine de l'expérience corporelle. En effet, ces expériences corporelles pourraient faire état de processus distincts, respectivement conscients et non conscients, conceptualisés sous différents types de représentations corporelles (e.g., image corporelle consciente *versus* schéma corporel moins conscientisé ; voir *Chapitre II. Partie 1.*).

Si l'effet Proteus ne relève pas uniquement d'une expérience de perception corporelle, ces conclusions invitent malgré tout à repenser la place accordée au processus d'incorporation dans la compréhension du phénomène. A ce sujet, Müsseler et collaborateurs (2022, p. 3) avancent que « des explications telles que l'amorçage et l'inhibition, d'une part, et

[l'incorporation], d'autre part, ne s'excluent pas mutuellement. L'amorçage et l'inhibition se réfèrent aux processus, tandis que [l'incorporation] se réfère à la question de savoir si, et dans quelle mesure, l'utilisateur a le sentiment que l'avatar lui appartient ou non ». Selon les auteurs, le fait de considérer le corps de l'avatar comme étant sien ne constitue qu'une condition sous laquelle l'effet Proteus est susceptible d'apparaître, ne renseignant en rien quant aux mécanismes à l'origine du phénomène. Croiser les éléments de méthodologie des études ayant observé une relation entre le processus d'incorporation et l'effet Proteus pourrait bénéficier à l'identification de ces mécanismes. Les résultats de l'étude 4bis en regard de ceux de l'étude de Yee & Bailenson (2009) orientent les réflexions vers la piste d'un mécanisme relatif à la perception de soi. En effet, les études 4 et 4bis ont permis de tester l'effet causal du processus d'incorporation sur l'effet Proteus tout en neutralisant l'effet d'une relation identitaire établie entre le participant et l'avatar, un tel effet étant susceptible d'intervenir dans l'étude de Yee & Bailenson (2009 ; voir *Chapitre IV. Partie 1.*). En conséquence, l'observation d'un effet Proteus dès lors qu'une relation identitaire était instaurée, quel que soit le niveau d'incorporation (étude 4bis), invite à réorienter l'interprétation des résultats de Yee & Bailenson (2009) vers le rôle de l'association entre le soi et l'avatar.

5. Examiner l'intervention d'un changement de perception de soi

Les études menées dans ce travail de thèse n'ont pas permis de mettre en évidence un changement de perception de soi explicite lors de l'incorporation d'un avatar âgé (études 3, 4 et 4bis). Toutefois, l'investigation d'une attribution au soi des caractéristiques de l'avatar incorporé étant, à notre connaissance, une première dans le cadre de l'effet Proteus, il convient de ne pas définitivement écarter l'hypothèse d'un changement de perception de soi dans l'apparition du phénomène. Rappelons que le questionnaire utilisé dans les présentes études était une mesure auto-rapportée de la perception de soi, et n'ayant pas fait l'objet d'une analyse psychométrique. En cela, il est possible que cet outil n'ait pas été suffisamment sensible pour capturer un changement de perception de soi, d'autant plus qu'un tel processus pourrait intervenir en dehors du champ de la conscience. Par exemple, des études sont parvenues à enregistrer, consécutivement à l'incorporation d'un avatar, des associations implicites entre le concept de soi et les caractéristiques de ce dernier (Banakou et al., 2013; Tammy Lin et al., 2021). Ces associations sont définies sous le modèle d'identification au personnage numérique,

et traduisent une modification de la perception de soi implicite (voir *Chapitre III. Partie 3.2.* ; Klimmt et al., 2010 ; pour une revue : Klimmt et al., 2009). Dans une démarche d'approfondissement théorique de l'effet Proteus, les résultats de Banakou et collaborateurs (2013) et de Tammy Lin et collaborateurs (2021) pourraient constituer les prémisses de la démonstration d'un changement de perception de soi implicite dans l'apparition du phénomène. En d'autres termes, l'effet Proteus pourrait correspondre à un effet d'assimilation comportementale consécutif au processus d'identification à l'avatar. Cette hypothèse est cohérente aux postulats de la théorie du concept de soi actif sur laquelle repose le modèle d'identification, cette théorie s'inscrivant parmi les modèles d'amorçage comportemental indirect (voir *Chapitre III. Partie 2.1.2.*). Selon la théorie du concept de soi actif, l'intégration des caractéristiques de l'avatar dans le concept de soi actif (i.e., identification) peut être à l'origine d'un changement comportemental (pour des revues : Wheeler et al., 2007, 2014).

Pour l'heure, le lien entre un processus d'identification et les conséquences comportementales attendues dans le cadre de l'effet Proteus reste à établir. A notre connaissance, Tammy Lin & Wu (2021) sont les seuls à avoir investigué la relation de médiation par laquelle l'effet de l'incorporation d'un avatar sur le comportement (i.e., effet Proteus) serait expliqué par un processus d'identification à l'avatar. Cependant, n'ayant pas retrouvé les associations implicites attendues entre le concept de soi et l'avatar, les auteurs n'ont pas pu attester du lien entre un processus d'identification et l'effet Proteus. L'étude 5 du travail de thèse a donc visé à manipuler ce processus d'identification à l'avatar pour en étudier les conséquences sur l'apparition de l'effet Proteus. L'effet Proteus n'a cependant pas été retrouvé sur le comportement moteur en imagerie motrice. Par ailleurs, la focalisation attentionnelle sur soi, attendue défavorable à l'intégration des caractéristiques de l'avatar dans le concept de soi actif (Dijksterhuis & van Knippenberg, 2000; Hutton & Baumeister, 1992; Kaufman & Libby, 2012; Sohn et al., 2019), n'a conduit à aucune modulation du phénomène. La présente étude ne permet donc pas de confirmer l'intervention d'un processus d'identification à l'avatar dans l'apparition de l'effet Proteus et, plus généralement, d'inscrire le phénomène sous la théorie du concept de soi actif. A notre connaissance, cette étude est la première à approcher, au travers d'une méthodologie expérimentale, un processus de changement de perception de soi implicite dans l'apparition de l'effet Proteus. La démarche mérite de plus amples investigations après la résolution préalable des limites méthodologiques.

6. Limites générales

Le protocole d'étude de l'effet Proteus employé dans l'étude 5 était une adaptation sur ordinateur (et en ligne) du protocole développé et validé en réalité virtuelle dans les études 1 et 2 de ce travail de thèse. L'utilisation d'une technologie non immersive dans cette présente étude peut expliquer en partie que l'effet Proteus n'ait pas été retrouvé ; les conditions optimales à l'observation du phénomène offertes par la réalité virtuelle n'étaient pas présentes (pour une méta-analyse : Beyea et al., 2023). Récemment, You et collaborateurs (2024) ont également échoué à répliquer, sur ordinateur, l'effet Proteus sur les biais raciaux initialement observé en réalité virtuelle lors de l'incorporation d'un avatar de couleur noire (Peck et al., 2013). Les auteurs font l'hypothèse que « pour induire un changement psychologique chez un participant, des niveaux plus importants d'incorporation et d'identification à l'avatar sont nécessaires » (You et al., 2024, p. 10). Cependant, l'étude 4bis ayant remis en question l'importance du processus d'incorporation sur l'apparition de l'effet Proteus, il est nécessaire de privilégier d'autres mécanismes relatifs à l'immersion virtuelle pour expliquer ces résultats. Bien qu'hypothétique, il pourrait être envisagé que l'immersion virtuelle influence les mécanismes attentionnels et de traitement de l'information (Magosso et al., 2019), modulant en conséquence l'effet Proteus. En somme, il apparaît que l'effet Proteus ne dépend pas de l'intervention d'un processus d'incorporation, mais reste toutefois optimisé par un certain degré d'immersion virtuelle.

Une seconde limite associée aux études de ce travail de thèse correspond à l'absence de condition contrôle dans le protocole employé dans les études 1, 2 et 3, c'est-à-dire d'une situation qui aurait exposé les participantes à aucune caractéristique relative à l'âge ou à la morphologie. Cette limite implique, premièrement, qu'il n'a pas été possible dans les études 1 et 2 d'enregistrer une vitesse de déplacement en imagerie motrice exempte de toute influence potentielle relative aux caractéristiques d'apparence d'un avatar. S'il n'était pas attendu que l'incorporation des avatars jeune et normo-pondéré exerce une influence sur les performances en imagerie motrice, cette possibilité ne peut être complètement écartée. Les caractéristiques visuelles de ces derniers ont pu évoquer des attentes en termes de performance motrice, jouant un rôle sur le comportement en imagerie motrice. Par exemple, si l'effet Proteus observé dans les études 1 et 2 a été interprété comme un ralentissement de la vitesse de marche en imagerie motrice lors de l'incorporation de l'avatar âgé et obèse, celui-ci pourrait au contraire traduire une accélération lors de l'incorporation de l'avatar jeune et normo-pondéré. Du reste, cette

interprétation alternative a été neutralisée dans les études 4, 4bis et 5 dans lesquelles la condition d'incorporation d'un avatar jeune a été remplacée par une condition excluant la présentation de caractéristiques relatives à la jeunesse. L'étude 4bis a donc confirmé que l'incorporation d'un avatar âgé conduit effectivement à un ralentissement de la vitesse de marche en imagerie motrice. Deuxièmement, l'absence de condition contrôle ne permet pas d'établir si la simple observation des avatars âgé ou obèse (sans incorporation) a influencé la vitesse de déplacement en imagerie motrice. En d'autres termes, le protocole ne permet pas de confirmer que l'exposition à des avatars associés à des stéréotypes négatifs conduit à un effet d'amorçage situationnel direct (voir Bargh et al., 1996; Hull et al., 2002). Une condition excluant totalement la présence de ces avatars aurait permis de valider la technique de co-présence des avatars comme moyen d'amorcer les stéréotypes.

La co-présence systématique des avatars, tels qu'âgé et jeune par exemple, visait en effet à contrôler l'intervention d'un effet d'amorçage direct sur les réponses comportementales (étude 1, 2 et 3). L'utilisation d'une telle méthode pour cet objectif présente une limite qu'il convient de mentionner. Il peut être envisagé que l'incorporation d'un avatar, comparativement à la simple observation de celui-ci, conduise à une activation plus intense des construits en mémoire, conduisant à un effet d'assimilation comportementale plus fort. Selon cette interprétation, la vitesse de marche en imagerie motrice serait davantage influencée lors de l'incorporation que lors de l'observation d'un avatar, tout en l'étant au travers d'un mécanisme commun, celui de l'amorçage situationnel direct. Pour l'heure, cette explication alternative ne peut être définitivement écartée car cette démarche nécessite de mesurer l'accessibilité des construits (pour une revue : Uhlmann et al., 2012). Du reste, l'interprétation des résultats proposant l'intervention d'un mécanisme additionnel à celui de l'amorçage situationnel direct et supposément relatif à la perception de soi a été privilégiée au regard des présentes études croisées à celles de la littérature (voir *Chapitre VI. Partie 4.*). Si ce mécanisme n'a pour l'heure pas été identifié dans le cadre de l'effet Proteus, une étude est actuellement en phase de pré-test afin de poursuivre les investigations, ce qui permettrait d'écarter l'interprétation alternative de l'accessibilité des construits. L'objectif de cette étude est d'examiner les associations établies entre le concept de soi et les caractéristiques de l'avatar (i.e., processus d'identification) et d'étudier ces dernières au regard de l'apparition de l'effet Proteus. Cette étude vise à investiguer le processus d'identification à l'avatar au moyen d'un outil plus fiable que la tâche d'associations implicites utilisée jusqu'à présent pour étudier le processus (voir Greenwald et al., 1998, 2002; Klimmt et al., 2010). En effet, cette dernière fait l'objet de critiques quant à sa

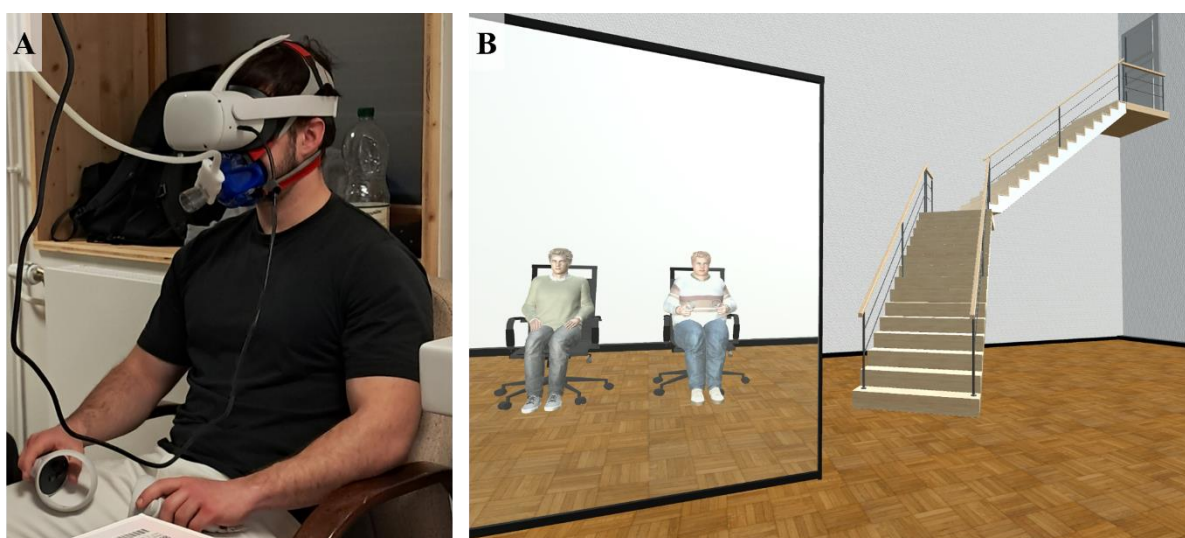
construction, sa validité et l'interprétation de ses paramètres (pour des revues : Fiedler et al., 2006; Hefner et al., 2011; Uhlmann et al., 2012).

Parallèlement à l'investigation de processus relatifs à un changement de perception de soi, les présentes études se sont employées à examiner la relation entre l'effet Proteus et l'adhésion aux stéréotypes relatifs aux avatars incorporés. Si l'examen de cette relation à l'intérêt d'inscrire les études dans une démarche d'investigation des processus sous-jacents à l'effet Proteus, les corrélations observées sont à considérer avec précautions. En effet, elles n'ont été observées que par deux fois (étude 1 et 2), bien qu'investiguées dans toutes les études réalisées, sur plusieurs domaines de fonctionnement (i.e., performances physiques et mnésiques), et relativement à différentes compétences (e.g., vitesse de déplacement, équilibre, rappel global, rappel de souvenir). Ces corrélations sont donc pauvres au regard de la compréhension du rôle des processus sous-jacents aux stéréotypes dans l'apparition de l'effet Proteus, tout comme le sont les résultats inconsistants issus de précédentes tentatives (Sherrick et al., 2014; Vahle & Tomasik, 2022; Yoo et al., 2015). Il convient de mentionner que les corrélations ont été étudiées ici au moyen d'instruments dont les propriétés psychométriques n'ont pas été évaluées (Lineweaver et al., 2017; Lineweaver & Hertzog, 1998) et dont certains items ont été ajoutés, modifiés ou supprimés pour les besoins expérimentaux. L'examen du rôle de l'adhésion aux stéréotypes dans l'apparition de l'effet Proteus bénéficierait de l'usage d'outils de mesure fiables ou d'une méthodologie expérimentale ou quasi-expérimentale. Pour initier la démarche, une étude visant à tester l'effet d'une induction des stéréotypes sur l'apparition de l'effet Proteus est en cours de réalisation. L'objectif de cette étude est de déterminer si le changement comportemental lors de l'incorporation d'un avatar est susceptible d'être modulé par la valence du stéréotype préalablement rendue saillante.

L'étude de l'effet Proteus sur le comportement en imagerie motrice constitue une originalité du protocole développé dans le cadre de ce travail de thèse, mais constitue également une de ses limites. La performance d'imagerie motrice des participantes a systématiquement fait l'objet d'une analyse des caractéristiques spatio-temporelles du mouvement (e.g., effet de la distance sur le temps d'imagerie) qui, lorsqu'elles sont respectées, sont considérées comme le témoin de bonnes capacités d'imagerie (Collet et al., 2011). Par ailleurs, pour les études menées en laboratoires (études 1, 2, 4 et 4bis), les capacités d'imagerie motrice des participantes étaient évaluées au travers d'un questionnaire (Loison et al., 2013). Malgré ces précautions, et comme souligné par Lotze & Halsband (2006, p. 389), « il faut admettre [...] qu'un contrôle précis de ce que fait réellement le sujet pendant l'imagerie reste illusoire ». En conséquence, la

possibilité que l'effet de l'avatar observé sur le comportement en imagerie motrice (études 1, 2 et 4bis) soit imputable à d'autres processus que l'effet Proteus ne peut être complètement écartée (e.g., biais de demande expérimentale, simulation mentale d'une démarche lourde et encombrée). Pour limiter l'intervention de ces processus, les consignes de la tâche d'imagerie motrice étaient centrées sur l'objectif de retrouver les sensations kinesthésiques de la marche (i.e., imagerie motrice kinesthésique ; Loison et al., 2013), et d'adopter une vitesse naturelle et confortable pour les participantes. Afin d'enrichir le protocole d'imagerie motrice de mesures moins sensibles à l'intervention d'un contrôle volontaire, l'étude 2 est en cours de réplication en y ajoutant des mesures respiratoires et cardiaques (*Figure 1*). La représentation mentale du mouvement s'associe d'une augmentation de la ventilation pulmonaire et de la fréquence cardiaque comparativement à une période de repos (Decety et al., 1991; Papadelis et al., 2007). Dans la mesure où ces changements neurovégétatifs sont corrélés à l'effort imaginé (Decety et al., 1991), il est attendu que la réalisation de la tâche d'imagerie motrice lors de l'incorporation d'un avatar obèse soit associée à des réponses cardio-respiratoires plus importantes que lors de l'incorporation d'un avatar normo-pondéré. Cette nouvelle étude vise à s'assurer que les résultats jusqu'alors observés sur l'imagerie motrice ne sont pas expliqués par des processus peu pertinents dans le cadre de l'effet Proteus. Celle-ci permet également d'investiguer le phénomène sur des mesures physiologiques ; les précédentes tentatives ayant abouti à des résultats peu concluants (Frisanco et al., 2022; Kocur et al., 2021, 2023).

Figure 1. Matériel utilisé dans l'étude visant à tester l'effet Proteus sur le comportement en imagerie motrice et les mesures neurovégétatives associées.



Note. **A.** Photo d'un participant portant le casque de réalité virtuelle permettant l'immersion virtuelle et le masque permettant l'enregistrement des échanges gazeux. La ceinture d'enregistrement de la fréquence cardiaque n'est, ici, pas visible. **B.** Environnement virtuel présenté depuis une perspective à la première personne avec le corps de l'avatar obèse visible dans le miroir. La tâche d'imagerie motrice consiste en la simulation mentale du déplacement intégrant le lever de chaise puis la montée des marches de l'escalier jusqu'à atteindre la porte située au sommet.

7. Synthèse et perspectives

L'effet Proteus, entre l'intervention d'un effet d'amorçage et d'un changement de perception de soi ?

Fortes d'extensions méthodologiques permettant d'aller au-delà de simples démonstrations de l'effet Proteus, les études réalisées dans ce travail de thèse ont examiné, au travers de l'expérimentation ou de la mesure, l'intervention de processus d'intérêt : l'amorçage comportemental, le changement de perception de soi, la conscience de soi corporelle, l'adhésion aux stéréotypes. Les résultats issus de ces études attestent de l'intervention d'un mécanisme additionnel à celui de l'effet d'amorçage direct dans l'apparition de l'effet Proteus. La démonstration du phénomène dès lors qu'une relation identitaire était instaurée avec l'avatar, indépendamment d'un processus de conscience de soi corporelle, incite à orienter les futures recherches vers l'étude des mécanismes relatifs à la perception de soi. En ce sens, l'effet Proteus pourrait traduire un effet d'assimilation comportementale consécutif à la modification temporaire de la perception de soi implicite et ce, par l'intégration des caractéristiques de l'avatar dans le concept de soi actif. Cette hypothèse est conforme au processus d'identification à un personnage numérique, tel qu'à un avatar, et à la théorie du concept de soi actif inscrite parmi les modèles d'amorçage indirect. Bien que peu considérée dans le contexte de l'effet Proteus, la théorie du concept de soi actif permettrait de rapprocher les théories d'auto-perception et d'amorçage jusqu'alors proposées pour expliquer le phénomène. En effet, cette orientation théorique inscrirait l'effet Proteus au sein des effets d'amorçage comportemental, mais attesterait parallèlement que le phénomène est davantage qu'un effet d'amorçage situationnel direct faisant intervenir des processus relatifs au concept de soi. Pour l'heure, les arguments empiriques manquent pour confirmer l'intervention d'un processus d'identification à l'avatar dans l'apparition de l'effet Proteus. Au regard des investigations jusqu'alors réalisées,

l'utilisation d'instruments fiables et de méthodologies puissantes est nécessaire pour aller plus avant dans les réflexions.

Mieux appréhender les mécanismes sous-jacents à l'effet Proteus permettrait d'en maximiser les effets, ceci dans la perspective d'applications concrètes. L'effet Proteus, témoin des relations entre la représentation corporelle, les croyances associées et les comportements, pourrait bénéficier à la compréhension et à la remédiation des conséquences fonctionnelles identifiées, par exemple, dans le cadre de distorsions pathologiques de la représentation corporelle (e.g., anorexie mentale) ou de l'évolution des expériences corporelles avec l'avancée en âge. Par ailleurs, les conséquences cognitives et comportementales attendues des expériences de simulations corporelles constituent des opportunités de remédiation des comportements sociaux inadaptés tels que le harcèlement et les comportements violents. Ces applications font d'ores et déjà l'objet d'expérimentations pour lutter contre les violences conjugales. En somme, la compréhension de l'effet Proteus offre des perspectives importantes dans le domaine de la prise en charge thérapeutique et de la prévention des risques psycho-sociaux.

Références bibliographiques

- Abdulkarim, Z., & Ehrsson, H. H. (2016). No causal link between changes in hand position sense and feeling of limb ownership in the rubber hand illusion. *Attention, Perception & Psychophysics*, 78(2), 707-720. <https://doi.org/10.3758/s13414-015-1016-0>
- Abrams, D., Eller, A., & Bryant, J. (2006). An age apart : The effects of intergenerational contact and stereotype threat on performance and intergroup bias. *Psychology and Aging*, 21(4), 691-702. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.21.4.691>
- Ahn, S. J., & Bailenson, J. N. (2011). Self-Endorsing Versus Other-Endorsing in Virtual Environments. *Journal of Advertising*, 40(2), 93-106. <https://doi.org/10.2753/JOA0091-3367400207>
- Allard, E., Canzoneri, E., Adler, D., Morélot-Panzini, C., Bello-Ruiz, J., Herbelin, B., Blanke, O., & Similowski, T. (2017). Interferences between breathing, experimental dyspnoea and bodily self-consciousness. *Scientific Reports*, 7(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11045-y>
- American Psychiatric Association. (2015). *DSM-5 ® : Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (5e édition)* (M.-A. Crocq & J. D. Guelfi, Trad.; Elsevier Masson).
- Armel, K. C., & Ramachandran, V. S. (2003). Projecting sensations to external objects : Evidence from skin conductance response. *Proceedings. Biological Sciences*, 270(1523), 1499-1506. <https://doi.org/10.1098/rspb.2003.2364>
- Arora, N., Suomalainen, M., Pouke, M., Center, E. G., Mimnaugh, K. J., Chambers, A. P., Pouke, S., & LaValle, S. M. (2022). Augmenting Immersive Telepresence Experience with a Virtual Body. *arXiv:2202.00900 [cs]*. <http://arxiv.org/abs/2202.00900>
- Ash, E. (2016). Priming or Proteus Effect?: Examining the Effects of Avatar Race on In-Game Behavior and Post-Play Aggressive Cognition and Affect in Video Games. *Games and Culture*, 11, 422-440. <https://doi.org/10.1177/1555412014568870>
- Aspell, J. E., Heydrich, L., Marillier, G., Lavanchy, T., Herbelin, B., & Blanke, O. (2013). Turning Body and Self Inside Out : Visualized Heartbeats Alter Bodily Self-Consciousness and Tactile Perception. *Psychological Science*, 24(12), 2445-2453. <https://doi.org/10.1177/0956797613498395>
- Ayalon, L., Dayan, E., & Freedman, S. (2022). Combatting ageism through virtual embodiment? Using explicit and implicit measures. *International Psychogeriatrics*, 1-7. <https://doi.org/10.1017/S1041610222000722>
- Aymerich-Franch, L., Kizilcec, R. F., & Bailenson, J. N. (2014). The Relationship between Virtual Self Similarity and Social Anxiety. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00944>
- Bailenson, J. N., & Blascovich, J. J. (2004). Avatars. In W. S. Bainbridge (Éd.), *Encyclopedia of human-computer interaction*. Berkshire publishing group.
- Bailenson, J. N., & Segovia, K. Y. (2010). Virtual Doppelgangers : Psychological Effects of Avatars Who Ignore Their Owners. In W. S. Bainbridge (Éd.), *Online Worlds : Convergence of the Real and the Virtual* (p. 175-186). Springer London. https://doi.org/10.1007/978-1-84882-825-4_14
- Bakker, M., de Lange, F. P., Stevens, J. A., Toni, I., & Bloem, B. R. (2007). Motor imagery of gait : A quantitative approach. *Experimental Brain Research*, 179(3), 497-504. <https://doi.org/10.1007/s00221-006-0807-x>

- Banakou, D., Beacco, A., Neyret, S., Blasco-Oliver, M., Seinfeld, S., & Slater, M. (2020). Virtual body ownership and its consequences for implicit racial bias are dependent on social context. *Royal Society Open Science*, 7(12), 201848. <https://doi.org/10.1098/rsos.201848>
- Banakou, D., Groten, R., & Slater, M. (2013). Illusory ownership of a virtual child body causes overestimation of object sizes and implicit attitude changes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(31), 12846-12851. <https://doi.org/10.1073/pnas.1306779110>
- Banakou, D., Hanumanthu, P. D., & Slater, M. (2016). Virtual Embodiment of White People in a Black Virtual Body Leads to a Sustained Reduction in Their Implicit Racial Bias. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00601>
- Banakou, D., Kishore, S., & Slater, M. (2018). Virtually Being Einstein Results in an Improvement in Cognitive Task Performance and a Decrease in Age Bias. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00917>
- Banakou, D., & Slater, M. (2014). Body ownership causes illusory self-attribution of speaking and influences subsequent real speaking. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(49), 17678-17683. <https://doi.org/10.1073/pnas.1414936111>
- Banfield, J. F., Pendry, L. F., Mewse, A. J., & Edwards, M. G. (2003). The Effects of an Elderly Stereotype Prime on Reaching and Grasping Actions. *Social Cognition*, 21(4), 299-319. <https://doi.org/10.1521/soco.21.4.299.27002>
- Bargh, J. A. (1994). The four horsemen of automaticity : Awareness, intention, efficiency, and control in social cognition. In S. Wyer Jr. & T. K. Srull, *Handbook of social cognition : Basic processes; Applications* (Vol. 1-2, p. 1-40). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Bargh, J. A. (2006). What have we been priming all these years? On the development, mechanisms, and ecology of nonconscious social behavior. *European Journal of Social Psychology*, 36(2), 147-168. <https://doi.org/10.1002/ejsp.336>
- Bargh, J. A., Chen, M., & Burrows, L. (1996). Automaticity of Social Behavior : Direct Effects of Trait Construct and Stereotype Activation on Action. *Journal of Personality and Social Psychology*, 71(2), 230-244. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.71.2.230>
- Barra, J., Giroux, M., Metral, M., Cian, C., Luyat, M., Kavounoudias, A., & Guerraz, M. (2020). Functional properties of extended body representations in the context of kinesthesia. *Neurophysiologie Clinique = Clinical Neurophysiology*, 50(6), 455-465. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2020.10.011>
- Bartl, A., Merz, C., Roth, D., & Latoschik, M. E. (2022). *The Effects of Avatar and Environment Design on Embodiment, Presence, Activation, and Task Load in a Virtual Reality Exercise Application*.
- Bashford, L., & Mehring, C. (2016). Ownership and Agency of an Independent Supernumerary Hand Induced by an Imitation Brain-Computer Interface. *PLOS ONE*, 11(6), e0156591. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156591>
- Beaudoin, M., Barra, J., Dupraz, L., Mollier-Sabet, P., & Guerraz, M. (2020). The impact of embodying an “elderly” body avatar on motor imagery. *Experimental Brain Research*, 238(6), 1467-1478. <https://doi.org/10.1007/s00221-020-05828-5>
- Behr, K. M., Nosper, A., Klimmt, C., & Hartmann, T. (2005). Some practical considerations of ethical issues in VR research. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 14(6), 668-676. <https://doi.org/10.1162/105474605775196535>
- Bem, D. J. (1972). Self-Perception Theory. In L. Berkowitz (Éd.), *Advances in Experimental Social Psychology* (Vol. 6, p. 1-62). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0065-2601\(08\)60024-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2601(08)60024-6)

- Berg, A., Vries, B., Breedveld, Z., Mierlo, A., Tjihuis, M., & Marchal-Crespo, L. (2023). Embodiment of virtual feet correlates with motor performance in a target-stepping task : A pilot study. *Frontiers in Virtual Reality*, 4. <https://doi.org/10.3389/frvir.2023.1104638>
- Bertamini, M., & O'Sullivan, N. (2014). The use of realistic and mechanical hands in the rubber hand illusion, and the relationship to hemispheric differences. *Consciousness and Cognition*, 27, 89-99. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2014.04.010>
- Beyea, D., Ratan, R., Lei, Y., Liu, H., Hales, G. E., & Lim, C. (2023). A New Meta-Analysis of the Proteus Effect : Studies in VR Find Stronger Effect Sizes. *PRESENCE: Virtual and Augmented Reality*, 1-30. https://doi.org/10.1162/pres_a_00392
- Beyea, D., Van der Heide, B., Ewoldsen, D., Eden, A., & Meng, J. (2021). Avatar-Based Self-Influence in a Traditional CMC Environment. *Journal of Media Psychology*. <https://doi.org/10.1027/1864-1105/a000309>
- Bhalla, M., & Proffitt, D. R. (1999). Visual–motor recalibration in geographical slant perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(4), 1076-1096. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.25.4.1076>
- Bian, Y., Zhou, C., Tian, Y., Wang, P., & Gao, F. (2015). The Proteus Effect : Influence of Avatar Appearance on Social Interaction in Virtual Environments. *Springerprofessional.De*, 529, 78-83. https://doi.org/10.1007/978-3-319-21383-5_13
- Biocca, F. (1997). The cyborg's dilemma : Progressive embodiment in virtual environments. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 3(2). <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=psyh&AN=2001-03229-002&lang=fr&site=ehost-live>
- Biocca, F. (2014). Connected to My Avatar : Effects of Avatar Embodiments on User Cognitions, Behaviors, and Self Construal. In G. Meiselwitz (Éd.), *Social Computing and Social Media* (p. 421-429). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07632-4_40
- Blakemore, S. J., Wolpert, D. M., & Frith, C. D. (2002). Abnormalities in the awareness of action. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(6), 237-242. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(02\)01907-1](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(02)01907-1)
- Blanca, M. J., Alarcón, R., Arnau, J., Bono, R., & Bendayan, R. (2017). Non-normal data : Is ANOVA still a valid option? *Psicothema*, 29(4), 552-557. <https://doi.org/10.7334/psicothema2016.383>
- Blanke, O. (2012). Multisensory brain mechanisms of bodily self-consciousness. *Nature Reviews Neuroscience*, 13(8), Article 8. <https://doi.org/10.1038/nrn3292>
- Blanke, O., Landis, T., Spinelli, L., & Seeck, M. (2004). Out-of-body experience and autoscapy of neurological origin. *Brain: A Journal of Neurology*, 127(Pt 2), 243-258. <https://doi.org/10.1093/brain/awh040>
- Blanke, O., & Metzinger, T. (2009). Full-body illusions and minimal phenomenal selfhood. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(1), 7-13. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.10.003>
- Blanke, O., Slater, M., & Serino, A. (2015). Behavioral, Neural, and Computational Principles of Bodily Self-Consciousness. *Neuron*, 88(1), 145-166. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.09.029>
- Bohil, C. J., Alicea, B., & Biocca, F. A. (2011). Virtual reality in neuroscience research and therapy. *Nature Reviews. Neuroscience*, 12(12), 752-762. <https://doi.org/10.1038/nrn3122>
- Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands 'feel' touch that eyes see. *Nature*, 391(6669), 756-756. <https://doi.org/10.1038/35784>

- Bouazzaoui, B., Follenfant, A., Ric, F., Fay, S., Croizet, J.-C., Atzeni, T., & Tacconat, L. (2016). Ageing-related stereotypes in memory : When the beliefs come true. *Memory*, *24*(5), 659-668. <https://doi.org/10.1080/09658211.2015.1040802>
- Braun, N., Debener, S., Sychala, N., Bongartz, E., Sörös, P., Müller, H. H. O., & Philipson, A. (2018). The Senses of Agency and Ownership: A Review. *Frontiers in Psychology*, *9*, 535. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00535>
- Buisine, S., & Guegan, J. (2019). Proteus vs. Social identity effects on virtual brainstorming. *Behaviour & Information Technology*, *39*(1), 1-13. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2019.1605408>
- Burin, D., Kilteni, K., Rabuffetti, M., Slater, M., & Pia, L. (2019). Body ownership increases the interference between observed and executed movements. *PLOS ONE*, *14*(1), e0209899. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209899>
- Burin, D., Pyasik, M., Salatino, A., & Pia, L. (2017). That's my hand! Therefore, that's my willed action : How body ownership acts upon conscious awareness of willed actions. *Cognition*, *166*, 164-173. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.05.035>
- Cadete, D., Alsmith, A. J. T., & Longo, M. (2022). Curved sixth fingers : Flexible representation of the shape of supernumerary body parts. *Consciousness and Cognition*. <https://www.sciencedirect.com/journal/consciousness-and-cognition>
- Cadete, D., & Longo, M. R. (2022). The long sixth finger illusion : The representation of the supernumerary finger is not a copy and can be felt with varying lengths. *Cognition*, *218*, 104948. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2021.104948>
- Callow, N., & Hardy, L. (2004). The relationship between the use of kinaesthetic imagery and different visual imagery perspectives. *Journal of Sports Sciences*, *22*(2), 167-177. <https://doi.org/10.1080/02640410310001641449>
- Carey, M., Crucianelli, L., Preston, C., & Fotopoulou, A. (2019). The Effect of Visual Capture Towards Subjective Embodiment Within the Full Body Illusion. *Scientific Reports*, *9*(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39168-4>
- Carruthers, G. (2008). Types of body representation and the sense of embodiment. *Consciousness and Cognition*, *17*(4), 1302-1316. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2008.02.001>
- Carver, C. S., & Scheier, M. F. (1978). Self-focusing effects of dispositional self-consciousness, mirror presence, and audience presence. *Journal of Personality and Social Psychology*, *36*, 324-332. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.36.3.324>
- Chambon, M. (2009). Embodied perception with others' bodies in mind : Stereotype priming influence on the perception of spatial environment. *Journal of Experimental Social Psychology*, *45*(1), 283-287. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2008.08.023>
- Chancel, M., & Ehrsson, H. H. (2020). Which hand is mine? Discriminating body ownership perception in a two-alternative forced-choice task. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *82*(8), 4058-4083. <https://doi.org/10.3758/s13414-020-02107-x>
- Chancel, M., Iriye, H., & Ehrsson, H. H. (2022). Causal inference of body ownership in the posterior parietal cortex. *Journal of Neuroscience*. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0656-22.2022>
- Chang, E.-S., Kanno, S., Levy, S., Wang, S.-Y., Lee, J. E., & Levy, B. R. (2020). Global reach of ageism on older persons' health: A systematic review. *PloS One*, *15*(1), e0220857. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220857>
- Charbonneau, P., Dallaire-Cote, M., Cote, S. S.-P., Labbe, D. R., Mezghani, N., Shahnewaz, S., Ararat, I., Irfan, T., Samaraweera, G., & Quarles, J. (2017). Gaitzilla : Exploring the effect of

- embodying a giant monster on lower limb kinematics and time perception. *2017 International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR)*, 1-8. <https://doi.org/10.1109/ICVR.2017.8007535>
- Chen, J., Ning, C., & Chen, C. (2023). A systematic literature review of virtual embodied experience. *Psychology & Marketing*. <https://doi.org/10.1002/mar.21876>
- Cheymol, A., Fribourg, R., Lécuyer, A., Normand, J.-M., & Argelaguet, F. (2023). Beyond my Real Body : Characterization, Impacts, Applications and Perspectives of “Dissimilar” Avatars in Virtual Reality. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 1.
- Christou, C., & Michael, D. (2014). *Aliens versus Humans : Do avatars make a difference in how we play the game?* <https://doi.org/10.1109/VS-Games.2014.7012029>
- Clark, O. (2020). *How to Kill a Greek God : A Meta-Analysis and Critical Review of 14 years of Proteus Effect Research*. PsyArXiv. <https://doi.org/10.31219/osf.io/z5kf8>
- Collet, C., Di Rienzo, F., Hoyek, N., & Guillot, A. (2013). Autonomic nervous system correlates in movement observation and motor imagery. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2013.00415>
- Collet, C., Guillot, A., Lebon, F., MacIntyre, T., & Moran, A. (2011). Measuring motor imagery using psychometric, behavioral, and psychophysiological tools. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 39(2), 85-92. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e31820ac5e0>
- Collins, A., & Loftus, E. (1975). A Spreading Activation Theory of Semantic Processing. *Psychological Review*, 82, 407-428. <https://doi.org/10.1037//0033-295X.82.6.407>
- Coslett, H. B. (2022). Clinical disorders of body representation : A historical perspective. In A. J. T. Alsmith & M. R. Longo (Éds.), *The Routledge Handbook od Bodily Awareness* (p. 122-134). Routledge.
- Crea, S., D’Alonzo, M., Vitiello, N., & Cipriani, C. (2015). The rubber foot illusion. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 12(1), 77. <https://doi.org/10.1186/s12984-015-0069-6>
- Crivelli, D., Crotti, D., Crottini, F., Peviani, V., Gandola, M., Bottini, G., & Salvato, G. (2023). Skin temperature changes in response to body ownership modulation vary according to the side of stimulation. *Physiology & Behavior*, 114142. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2023.114142>
- Crucianelli, L., Reader, A. T., & Ehrsson, H. H. (2023). Subcortical contributions to the sense of body ownership. *Brain*, awad359. <https://doi.org/10.1093/brain/awad359>
- Cummins, I., & Schofield, D. (2023). Studying the Effects of Being Einstein : An Experiment in Social Virtual Reality. *Computer and Information Science*, 16(2), Article 2. <https://doi.org/10.5539/cis.v16n2p1>
- Czub, M., & Janeta, P. (2021). Exercise in virtual reality with a muscular avatar influences performance on a weightlifting exercise. *Cyberpsychology: Journal of Psychosocial Research on Cyberspace*, 15(3), Article 3. <https://doi.org/10.5817/CP2021-3-10>
- Dai, W., Yang, T., White, B. X., Palmer, R., Sanders, E. K., McDonald, J. A., Leung, M., & Albarracín, D. (2023). Priming behavior : A meta-analysis of the effects of behavioral and nonbehavioral primes on overt behavioral outcomes. *Psychological Bulletin*, No Pagination Specified-No Pagination Specified. <https://doi.org/10.1037/bul0000374>
- D’Angelo, M., di Pellegrino, G., & Frassinetti, F. (2019). The illusion of having a tall or short body differently modulates interpersonal and peripersonal space. *Behavioural Brain Research*, 375. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2019.112146>
- David, N., Fiori, F., & Aglioti, S. M. (2014). Susceptibility to the rubber hand illusion does not tell the whole body-awareness story. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 14(1), 297-306. <https://doi.org/10.3758/s13415-013-0190-6>

- David, N., Newen, A., & Vogeley, K. (2008). The « sense of agency » and its underlying cognitive and neural mechanisms. *Consciousness and Cognition*, 17(2), 523-534. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2008.03.004>
- de la Rosa, S., & Breidt, M. (2018). Virtual reality : A new track in psychological research. *British Journal of Psychology*, 109(3), 427-430. <https://doi.org/10.1111/bjop.12302>
- Debarba, H. G., Bovet, S., Salomon, R., Blanke, O., Herbelin, B., & Boulic, R. (2017). Characterizing first and third person viewpoints and their alternation for embodied interaction in virtual reality. *PLOS ONE*, 12(12), e0190109. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190109>
- Decety, J. (1996a). Do imagined and executed actions share the same neural substrate? *Cognitive Brain Research*, 3(2), 87-93. [https://doi.org/10.1016/0926-6410\(95\)00033-X](https://doi.org/10.1016/0926-6410(95)00033-X)
- Decety, J. (1996b). The neurophysiological basis of motor imagery. *Behavioural Brain Research*, 77(1), 45-52. [https://doi.org/10.1016/0166-4328\(95\)00225-1](https://doi.org/10.1016/0166-4328(95)00225-1)
- Decety, J., & Jeannerod, M. (1995). Mentally simulated movements in virtual reality : Does Fitt's law hold in motor imagery? *Behavioural Brain Research*, 72(1), 127-134. [https://doi.org/10.1016/0166-4328\(96\)00141-6](https://doi.org/10.1016/0166-4328(96)00141-6)
- Decety, J., Jeannerod, M., Germain, M., & Pastene, J. (1991). Vegetative response during imagined movement is proportional to mental effort. *Behavioural Brain Research*, 42(1), 1-5. [https://doi.org/10.1016/S0166-4328\(05\)80033-6](https://doi.org/10.1016/S0166-4328(05)80033-6)
- Decety, J., Jeannerod, M., & Prablanc, C. (1989). The timing of mentally represented actions. *Behavioural Brain Research*, 34(1-2), 35-42. [https://doi.org/10.1016/S0166-4328\(89\)80088-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4328(89)80088-9)
- de Haan, A. M., Van Stralen, H. E., Smit, M., Keizer, A., Van der Stigchel, S., & Dijkerman, H. C. (2017). No consistent cooling of the real hand in the rubber hand illusion. *Acta Psychologica*, 179, 68-77. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2017.07.003>
- DeMarree, K. G., & Morrison, K. R. (2012). What do I think about who I am? Metacognition and the self-concept. In *Social metacognition* (p. 103-119). Psychology Press.
- DeMarree, K. G., Morrison, K. R., Wheeler, S. C., & Petty, R. E. (2011). Self-Ambivalence and Resistance to Subtle Self-Change Attempts. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 37(5), 674-686. <https://doi.org/10.1177/0146167211400097>
- DeMarree, K. G., Rios, K., Randell, J. A., Wheeler, S. C., Reich, D. A., & Petty, R. E. (2016). Wanting to Be Different Predicts Nonmotivated Change : Actual–Desired Self-Discrepancies and Susceptibility to Subtle Change Inductions. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 42(12), 1709-1722. <https://doi.org/10.1177/0146167216670876>
- DeMarree, K. G., Wheeler, S. C., & Petty, R. E. (2005). Priming a New Identity : Self-Monitoring Moderates the Effects of Nonself Primes on Self-Judgments and Behavior. *Journal of Personality and Social Psychology*, 89(5), 657-671. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.89.5.657>
- de Rooij, A., van der Land, S., & van Erp, S. (2017). The Creative Proteus Effect : How Self-Similarity, Embodiment, and Priming of Creative Stereotypes with Avatars Influences Creative Ideation. *Proceedings of the 2017 ACM SIGCHI Conference on Creativity and Cognition*, 232-236. <https://doi.org/10.1145/3059454.3078856>
- de Vignemont, F. (2010). Body schema and body image—Pros and cons. *Neuropsychologia*, 48(3), 669-680. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.09.022>
- de Vignemont, F. (2011). Embodiment, ownership and disownership. *Consciousness and Cognition*, 20(1), 82-93. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2010.09.004>

- de Vignemont, F. (2020). Bodily Awareness. In E. N. Zalta (Éd.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2020). Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/fall2020/entries/bodily-awareness/>
- Dijksterhuis, A., & Bargh, J. A. (2001). The perception–behavior expressway : Automatic effects of social perception on social behavior. In M. P. Zanna, *Advances in experimental social psychology* (Vol. 33, p. 1-40). Academic Press. <https://awsptest.apa.org/record/2001-01410-001>
- Dijksterhuis, A., & van Knippenberg, A. (1996). The Knife That Cuts Both Ways : Facilitated and Inhibited Access to Traits as a Result of Stereotype Activation. *Journal of Experimental Social Psychology*, 32(3), 271-288. <https://doi.org/10.1006/jesp.1996.0013>
- Dijksterhuis, A., & van Knippenberg, A. (1998). The relation between perception and behavior, or how to win a game of Trivial Pursuit. *Journal of Personality and Social Psychology*, 74(4), 865-877. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.74.4.865>
- Dijksterhuis, A., & van Knippenberg, A. (2000). Behavioral indecision : Effects of self-focus on automatic behavior. *Social Cognition*, 18, 55-74. <https://doi.org/10.1521/soco.2000.18.1.55>
- Dionigi, R. A. (2015). Stereotypes of Aging : Their Effects on the Health of Older Adults. *Journal of Geriatrics*, 2015, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2015/954027>
- Dobricki, M., & Rosa, S. de la. (2013). The Structure of Conscious Bodily Self-Perception during Full-Body Illusions. *PLOS ONE*, 8(12), e83840. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083840>
- Doise, W., Csepele, G., Dann, H. D., Gouge, C., Larsen, K., & Ostell, A. (1972). An experimental investigation into the formation of intergroup representations. *European Journal of Social Psychology*, 2(2), 202-204. <https://doi.org/10.1002/ejsp.2420020208>
- Dotsch, R., & Wigboldus, D. H. J. (2008). Virtual prejudice. *Journal of Experimental Social Psychology*, 44(4), 1194-1198. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2008.03.003>
- Doyen, S., Klein, O., Pichon, C.-L., & Cleeremans, A. (2012). Behavioral priming : It's all in the mind, but whose mind? *PloS One*, 7(1), e29081. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029081>
- Dummer, T., Picot-Annand, A., Neal, T., & Moore, C. (2009). Movement and the rubber hand illusion. *Perception*, 38(2), 271-280. <https://doi.org/10.1068/p5921>
- Dupraz, L., Barra, J., Beaudoin, M., & Guerraz, M. (2023a). Impact of an overweight body representation in virtual reality on locomotion in a motor imagery task. *Psychological Research*, 87(2), 462-473. <https://doi.org/10.1007/s00426-022-01675-x>
- Dupraz, L., Barra, J., Beaudoin, M., & Guerraz, M. (2023b). Impact of an overweight body representation in virtual reality on locomotion in a motor imagery task. *Psychological Research*. <https://doi.org/10.1007/s00426-022-01675-x>
- Dupraz, L., Beaudoin, M., Guerraz, M., & Barra, J. (2024). Does the avatar embodiment moderate the Proteus effect? *International Journal of Human - Computer Studies*.
- Dupraz, L., Bourgin, J., Giroux, M., Barra, J., & Guerraz, M. (2022). Involvement of visual signals in kinaesthesia : A virtual reality study. *Neuroscience Letters*, 786, 136814. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2022.136814>
- Dupraz, L., Bourgin, J., Pia, L., Barra, J., & Guerraz, M. (2024). Body ownership and kinaesthetic illusions : Dissociated bodily experiences for distinct levels of body consciousness? *Consciousness and Cognition*, 117, 103630. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2023.103630>
- Eastin, M. S., Appiah, O., & Cicchirillo, V. (2009). Identification and the Influence of Cultural Stereotyping on Postvideogame Play Hostility. *Human Communication Research*, 35(3), 337-356. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2958.2009.01354.x>

- Eastwick, P. W., & Gardner, W. L. (2009). Is it a game? Evidence for social influence in the virtual world. *Social Influence*, 4(1), 18-32. <https://doi.org/10.1080/15534510802254087>
- Ehrsson, H. H. (2007). The Experimental Induction of Out-of-Body Experiences. *Science*, 317(5841), 1048-1048. <https://doi.org/10.1126/science.1142175>
- Ehrsson, H. H. (2012). The Concept of Body Ownership and Its Relation to Multisensory Integration. In *The New Handbook of Multisensory Processes* (B. E. Stein, p. 775-792). MA: MIT Press.
- Ehrsson, H. H., Holmes, N. P., & Passingham, R. E. (2005). Touching a rubber hand : Feeling of body ownership is associated with activity in multisensory brain areas. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 25(45), 10564-10573. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0800-05.2005>
- Ehrsson, H. H., Spence, C., & Passingham, R. E. (2004). That's My Hand ! Activity in Premotor Cortex Reflects Feeling of Ownership of a Limb. *Science*, 305(5685), 875-877. <https://doi.org/10.1126/science.1097011>
- Ehrsson, H. H., Wiech, K., Weiskopf, N., Dolan, R. J., & Passingham, R. E. (2007). Threatening a rubber hand that you feel is yours elicits a cortical anxiety response. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(23), 9828-9833. <https://doi.org/10.1073/pnas.0610011104>
- Emile, M., Chalabaev, A., Stephan, Y., Corrion, K., & d'Arripe-Longueville, F. (2014). Aging stereotypes and active lifestyle: Personal correlates of stereotype internalization and relationships with level of physical activity among older adults. *Psychology of Sport and Exercise*, 15(2), 198-204. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2013.11.002>
- Eubanks, J. C., Moore, A. G., Fishwick, P. A., & McMahan, R. P. (2020). The Effects of Body Tracking Fidelity on Embodiment of an Inverse-Kinematic Avatar for Male Participants. *2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 54-63. <https://doi.org/10.1109/ISMAR50242.2020.00025>
- Eubanks, J. C., Moore, A. G., Fishwick, P. A., & McMahan, R. P. (2021). A Preliminary Embodiment Short Questionnaire. *Frontiers in Virtual Reality*, 2. <https://doi.org/10.3389/frvir.2021.647896>
- Eves, F., Thorpe, S. K. S., Lewis, A., & Taylor-Covill, G. A. H. (2014). Does perceived steepness deter stair climbing when an alternative is available? *Psychonomic Bulletin & Review*, 21(3), 637-644. <https://doi.org/10.3758/s13423-013-0535-8>
- Falcone, S., Brouwer, A.-M., Heylen, D., Van Erp, J., Zhang, L., Pradhan, S. S., Stuldreher, I. V., Cocu, I., Heuvel, M., de Vries, P. S., Gijssbertse, K., & Englebienne, G. (2022). Pupil Diameter as Implicit Measure to Estimate Sense of Embodiment. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 44. <https://escholarship.org/uc/item/8rt963b9>
- Falconer, C. J., Slater, M., Rovira, A., King, J. A., Gilbert, P., Antley, A., & Brewin, C. R. (2014). Embodying Compassion: A Virtual Reality Paradigm for Overcoming Excessive Self-Criticism. *PLOS ONE*, 9(11), e111933. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111933>
- Fansler, C. L., Poff, C. L., & Shepard, K. F. (1985). Effects of mental practice on balance in elderly women. *Physical Therapy*, 65(9), 1332-1338. <https://doi.org/10.1093/ptj/65.9.1332>
- Farmer, H., Tajadura-Jiménez, A., & Tsakiris, M. (2012). Beyond the colour of my skin : How skin colour affects the sense of body-ownership. *Consciousness and Cognition*, 21(3), 1242-1256. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2012.04.011>
- Fazio, R. H., Jackson, J. R., Dunton, B. C., & Williams, C. J. (1995). Variability in automatic activation as an unobtrusive measure of racial attitudes : A bona fide pipeline? *Journal of Personality and Social Psychology*, 69(6), 1013-1027. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.69.6.1013>

- Fiedler, K., Messner, C., & Bluemke, M. (2006). Unresolved problems with the « I », the « A », and the « T » : A logical and psychometric critique of the Implicit Association Test (IAT). *European Review of Social Psychology*, 17, 74-147. <https://doi.org/10.1080/10463280600681248>
- First, M. B. (2005). Desire for amputation of a limb : Paraphilia, psychosis, or a new type of identity disorder. *Psychological Medicine*, 35(6), 919-928. <https://doi.org/10.1017/s0033291704003320>
- First, M. B., & Fisher, C. E. (2012). Body Integrity Identity Disorder : The Persistent Desire to Acquire a Physical Disability. *Psychopathology*, 45(1), 3-14. <https://doi.org/10.1159/000330503>
- Follenfant, A., Légal, J.-B., Marie Dit Dinard, F., & Meyer, T. (2005). Effet de l'activation de stéréotypes sur le comportement : Une application en contexte sportif. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology*, 55(2), 121-129. <https://doi.org/10.1016/j.erap.2005.02.002>
- Forster, P.-P., Karimpur, H., & Fiehler, K. (2022). Demand characteristics challenge effects in embodiment and presence. *Scientific Reports*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18160-5>
- Fox, J., Bailenson, J., & Tricase, L. (2013). The embodiment of sexualized virtual selves : The Proteus effect and experiences of self-objectification via avatars. *Comput. Hum. Behav.* <https://doi.org/10.1016/j.chb.2012.12.027>
- Franck, N., Farrer, C., Georgieff, N., Marie-Cardine, M., Daléry, J., d'Amato, T., & Jeannerod, M. (2001). Defective recognition of one's own actions in patients with schizophrenia. *The American Journal of Psychiatry*, 158(3), 454-459. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.158.3.454>
- Frank, M. G., & Gilovich, T. (1988). The dark side of self- and social perception : Black uniforms and aggression in professional sports. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54(1), 74-85. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.54.1.74>
- Frisanco, A., Schepisi, M., Tieri, G., & Aglioti, S. M. (2022). Embodying the avatar of an omnipotent agent modulates the perception of one's own abilities and enhances feelings of invulnerability. *Scientific Reports*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26016-1>
- Funder, D. C., & Ozer, D. J. (2019). Evaluating Effect Size in Psychological Research : Sense and Nonsense. *Advances in Methods and Practices in Psychological Science*, 2(2), 156-168. <https://doi.org/10.1177/2515245919847202>
- Furlan, M., & Spagnoli, A. (2021). Using an Embodiment Technique in Psychological Experiments with Virtual Reality : A Scoping Review of the Embodiment Configurations and their Scientific Purpose. *The Open Psychology Journal*, 14(1). <https://doi.org/10.2174/1874350102114010204>
- Galinsky, A. D., & Moskowitz, G. B. (2000). Perspective-taking : Decreasing stereotype expression, stereotype accessibility, and in-group favoritism. *Journal of Personality and Social Psychology*, 78(4), 708-724. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.78.4.708>
- Gallagher, S. (1986). Body image and body schema : A conceptual clarification. *Journal of Mind and Behavior*, 7(4), 541-554.
- Garau, M. (2003). The impact of avatar fidelity on social interaction in virtual environments. [Doctoral, UCL (University College London)]. In *Doctoral thesis, UCL (University College London)*. <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10103871/>
- Garbarini, F., Fossataro, C., Pia, L., & Berti, A. (2020). What pathological embodiment/disembodiment tell us about body representations. *Neuropsychologia*, 149, 107666. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2020.107666>

- Gerardin, E., Sirigu, A., Lehericy, S., Poline, J.-B., Gaymard, B., Marsault, C., Agid, Y., & Le Bihan, D. (2000). Partially Overlapping Neural Networks for Real and Imagined Hand Movements. *Cerebral Cortex*, *10*(11), 1093-1104. <https://doi.org/10.1093/cercor/10.11.1093>
- Giroux, M., Barra, J., Barraud, P.-A., Graff, C., & Guerraz, M. (2019). From Embodiment of a Point-Light Display in Virtual Reality to Perception of One's Own Movements. *Neuroscience*, *416*, 30-40. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2019.07.043>
- Giroux, M., Barra, J., Graff, C., & Guerraz, M. (2021). Multisensory integration of visual cues from first- to third-person perspective avatars in the perception of self-motion. *Attention, Perception, & Psychophysics*. <https://doi.org/10.3758/s13414-021-02276-3>
- Giroux, M., Barra, J., Zrelli, I.-E., Barraud, P.-A., Cian, C., & Guerraz, M. (2018). The respective contributions of visual and proprioceptive afferents to the mirror illusion in virtual reality. *PLOS ONE*, *13*(8), e0203086. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203086>
- Giummarra, M. J., Gibson, S. J., Georgiou-Karistianis, N., & Bradshaw, J. L. (2008). Mechanisms underlying embodiment, disembodiment and loss of embodiment. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *32*(1), 143-160. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2007.07.001>
- Gonzalez-Franco, M., Cohn, B., Ofek, E., Burin, D., & Maselli, A. (2020). The Self-Avatar Follower Effect in Virtual Reality. *2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 18-25. <https://doi.org/10.1109/VR46266.2020.00019>
- Gonzalez-Franco, M., & Peck, T. C. (2018). Avatar Embodiment. Towards a Standardized Questionnaire. *Frontiers in Robotics and AI*, *5*. <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00074>
- Gonzalez-Franco, M., Perez-Marcos, D., Spanlang, B., & Slater, M. (2010). The contribution of real-time mirror reflections of motor actions on virtual body ownership in an immersive virtual environment. *2010 IEEE Virtual Reality Conference (VR)*, 111-114. <https://doi.org/10.1109/VR.2010.5444805>
- Gorisse, G., Christmann, O., Amato, E. A., & Richir, S. (2017). First- and Third-Person Perspectives in Immersive Virtual Environments : Presence and Performance Analysis of Embodied Users. *Frontiers in Robotics and AI*, *4*. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2017.00033>
- Gorisse, G., Christmann, O., Houzangbe, S., & Richir, S. (2019). From Robot to Virtual Doppelganger : Impact of Visual Fidelity of Avatars Controlled in Third-Person Perspective on Embodiment and Behavior in Immersive Virtual Environments. *Frontiers in Robotics and AI*, *6*. <https://doi.org/10.3389/frobt.2019.00008>
- Gorisse, G., Wellenreiter, S., Fleury, S., L'ecuyer, A., Richir, S., & Christmann, O. (2023). I am a Genius ! Influence of Virtually Embodying Leonardo da Vinci on Creative Performance. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, *PP*. <https://doi.org/10.1109/tvcg.2023.3320225>
- Greenleaf, C., & Weiller, K. (2005). Perceptions of Youth Obesity among Physical Educators. *Social Psychology of Education*, *8*(4), 407-423. <https://doi.org/10.1007/s11218-005-0662-9>
- Greenwald, A. G., Banaji, M. R., Rudman, L. A., Farnham, S. D., Nosek, B. A., & Mellott, D. S. (2002). A unified theory of implicit attitudes, stereotypes, self-esteem, and self-concept. *Psychological Review*, *109*(1), 3-25. <https://doi.org/10.1037//0033-295X.109.1.3>
- Greenwald, A. G., McGhee, D. E., & Schwartz, J. L. K. (1998). *Measuring Individual Differences in Implicit Cognition : The Implicit Association Test*. 17.
- Groom, V., Bailenson, J. N., & Nass, C. (2009). The influence of racial embodiment on racial bias in immersive virtual environments. *Social Influence*, *4*(3), 231-248. <https://doi.org/10.1080/15534510802643750>

- Grynberg, D., & Pollatos, O. (2015). Alexithymia modulates the experience of the rubber hand illusion. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2015.00357>
- Guardia, D., Conversy, L., Jardri, R., Lafargue, G., Thomas, P., Dodin, V., Cottencin, O., & Luyat, M. (2012). Imagining One's Own and Someone Else's Body Actions : Dissociation in Anorexia Nervosa. *PLOS ONE*, 7(8), e43241. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043241>
- Guardia, D., Lafargue, G., Thomas, P., Dodin, V., Cottencin, O., & Luyat, M. (2010). Anticipation of body-scaled action is modified in anorexia nervosa. *Neuropsychologia*, 48(13), 3961-3966. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.09.004>
- Guardia, D., Metral, M., Pigeyre, M., Bauwens, I., Cottencin, O., & Luyat, M. (2013). Body distortions after massive weight loss : Lack of updating of the body schema hypothesis. *Eating and Weight Disorders - Studies on Anorexia, Bulimia and Obesity*, 18(3), 333-336. <https://doi.org/10.1007/s40519-013-0032-0>
- Guegan, J., Buisine, S., Mantelet, F., Maranzana, N., & Segonds, F. (2016). Avatar-mediated creativity : When embodying inventors makes engineers more creative. *Computers in Human Behavior*, 61, 165-175. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.03.024>
- Guillot, A., & Collet, C. (2005). Contribution from neurophysiological and psychological methods to the study of motor imagery. *Brain Research Reviews*, 50(2), 387-397. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2005.09.004>
- Guterstam, A., Abdulkarim, Z., & Ehrsson, H. H. (2015). Illusory ownership of an invisible body reduces autonomic and subjective social anxiety responses. *Scientific Reports*, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/srep09831>
- Guterstam, A., Gentile, G., & Ehrsson, H. H. (2013). The invisible hand illusion : Multisensory integration leads to the embodiment of a discrete volume of empty space. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 25(7), 1078-1099. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00393
- Guterstam, A., Larsson, D., Szczotka, J., & Ehrsson, H. H. (2020). Duplication of the bodily self : A perceptual illusion of dual full-body ownership and dual self-location. *Royal Society Open Science*, 7(12). <https://doi.org/10.1098/rsos.201911>
- Guterstam, A., Petkova, V. I., & Ehrsson, H. H. (2011). The Illusion of Owning a Third Arm. *PLOS ONE*, 6(2), e17208. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017208>
- Guy, M., Jeunet-Kelway, C., Moreau, G., & Normand, J.-M. (2022). *Manipulating the Sense of Embodiment in Virtual Reality : A study of the interactions between the senses of agency, self-location and ownership*. ICAT-EGVE2022, the joint international conference of the 32nd International Conference on Artificial Reality and Telexistence & the 27th Eurographics Symposium on Virtual Environments (2022). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03853981>
- Guy, M., Normand, J.-M., Jeunet-Kelway, C., & Moreau, G. (2023). The Sense of Embodiment in Virtual Reality and its Assessment Methods. *Frontiers in Virtual Reality*, 4. <https://doi.org/10.3389/frvir.2023.1141683>
- Haans, A., Ijsselstein, W. A., & de Kort, Y. A. W. (2008). The effect of similarities in skin texture and hand shape on perceived ownership of a fake limb. *Body Image*, 5(4), 389-394. <https://doi.org/10.1016/j.bodyim.2008.04.003>
- Haggard, P., & Tsakiris, M. (2009). The Experience of Agency : Feelings, Judgments, and Responsibility. *Current Directions in Psychological Science*, 18(4), 242-246. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2009.01644.x>
- Halpern, D. F. (2014). *Sex Differences in Cognitive Abilities : 3rd Edition* (3^e éd.). Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9781410605290>

- Hamilton-Giachritsis, C., Banakou, D., Garcia Quiroga, M., Giachritsis, C., & Slater, M. (2018). Reducing risk and improving maternal perspective-taking and empathy using virtual embodiment. *Scientific Reports*, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21036-2>
- Hapuarachchi, H., Ishimoto, H., Kitazaki, M., Sugimoto, M., & Inami, M. (2023). Temporal visuomotor synchrony induces embodiment towards an avatar with biomechanically impossible arm movements. *i-Perception*, 14(6), 20416695231211699. <https://doi.org/10.1177/20416695231211699>
- Harwell, M. R., Rubinstein, E. N., Hayes, W. S., & Olds, C. C. (1992). Summarizing Monte Carlo Results in Methodological Research : The One- and Two-Factor Fixed Effects ANOVA Cases. *Journal of Educational Statistics*, 17(4), 315-339. <https://doi.org/10.3102/10769986017004315>
- Hasler, B. S., Spanlang, B., & Slater, M. (2017). Virtual race transformation reverses racial in-group bias. *PLOS ONE*, 12(4), e0174965. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174965>
- Hausdorff, J. M., Levy, B. R., & Wei, J. Y. (1999). The Power of Ageism on Physical Function of Older Persons : Reversibility of Age-Related Gait Changes. *Journal of the American Geriatrics Society*, 47(11), 1346-1349. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1999.tb07437.x>
- Hefner, D., Rothmund, T., Klimmt, C., & Gollwitzer, M. (2011). Implicit Measures and Media Effects Research : Challenges and Opportunities. *Communication Methods and Measures*, 5(3), 181-202. <https://doi.org/10.1080/19312458.2011.597006>
- Heilman, K. M., Valenstein, E., & Watson, R. T. (1984). Neglect and Related Disorders. *Seminars in Neurology*, 4(2), 209-219. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1041551>
- Herbelin, B., Salomon, R., Serino, A., & Blanke, O. (2016). 5. Neural Mechanisms of Bodily Self-Consciousness and the Experience of Presence in Virtual Reality. In *5. Neural Mechanisms of Bodily Self-Consciousness and the Experience of Presence in Virtual Reality* (p. 80-96). De Gruyter Open Poland. <https://doi.org/10.1515/9783110471137-005>
- Hershfield, H. E., Goldstein, D. G., Sharpe, W. F., Fox, J., Yeykelis, L., Carstensen, L. L., & Bailenson, J. N. (2011). Increasing Saving Behavior Through Age-Progressed Renderings of the Future Self. *Journal of Marketing Research*, 48, S23-S37. <https://doi.org/10.1509/jmkr.48.SPL.S23>
- Hess, T. M., Auman, C., Colcombe, S. J., & Rahhal, T. A. (2003). The impact of stereotype threat on age differences in memory performance. *The journals of gerontology. Series B, Psychological sciences and social sciences*, 58(1). <https://doi.org/10.1093/geronb/58.1.P3>
- Hess, T. M., Hinson, J. T., & Statham, J. A. (2004). Explicit and Implicit Stereotype Activation Effects on Memory : Do Age and Awareness Moderate the Impact of Priming? *Psychology and Aging*, 19(3), 495-505. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.19.3.495>
- Hilgard, J. (2016). Comment on Yoon and Vargas (2014) : An Implausibly Large Effect From Implausibly Invariant Data. *Psychological Science*, 30(7), 1099-1102. <https://doi.org/10.1177/0956797618815434>
- Hilton, J. L., & von Hippel, W. (1996). Stereotypes. *Annual Review of Psychology*, 47(1), 237-271. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.47.1.237>
- Hohwy, J., & Paton, B. (2010). Explaining Away the Body : Experiences of Supernaturally Caused Touch and Touch on Non-Hand Objects within the Rubber Hand Illusion. *PLOS ONE*, 5(2), e9416. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0009416>
- Hoter, E., & Nagar, I. (2022). The effects of a wheelchair simulation in a virtual world. *Virtual Reality*. <https://doi.org/10.1007/s10055-022-00625-7>

- Hull, J. G., Slone, L. B., Meteyer, K. B., & Matthews, A. R. (2002). The nonconsciousness of self-consciousness. *Journal of Personality and Social Psychology*, 83, 406-424. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.83.2.406>
- Hummert, M. L. (1990). Multiple stereotypes of elderly and young adults : A comparison of structure and evaluations. *Psychology and Aging*, 5(2), 182-193. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.5.2.182>
- Hutton, D. G., & Baumeister, R. F. (1992). Self-Awareness and Attitude Change : Seeing Oneself on the Central Route to Persuasion. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 18(1), 68-75. <https://doi.org/10.1177/0146167292181010>
- Ide, M. (2013). The Effect of “Anatomical Plausibility” of Hand Angle on the Rubber-Hand Illusion. *Perception*, 42(1), 103-111. <https://doi.org/10.1068/p7322>
- Ismail, M. A. F., & Shimada, S. (2016). ‘Robot’ Hand Illusion under Delayed Visual Feedback : Relationship between the Senses of Ownership and Agency. *PLOS ONE*, 11(7), e0159619. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159619>
- James, W. (1890). *The principles of psychology, Vol I.* (p. xii, 697). Henry Holt and Co. <https://doi.org/10.1037/10538-000>
- JASP Team. (2018). *JASP* (0.9) [Logiciel]. <https://jasp-stats.org/2018/06/20/introducing-jasp-0-9/>
- Jeannerod, M. (1995). Mental imagery in the motor context. *Neuropsychologia*, 33(11), 1419-1432. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(95\)00073-C](https://doi.org/10.1016/0028-3932(95)00073-C)
- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action : A unifying mechanism for motor cognition. *NeuroImage*, 103-109.
- Jeffreys, S. H. (1998). *The Theory of Probability* (Third Edition, Third Edition). Oxford University Press.
- Joo, Y. K., & Kim, K. (2017). When You Exercise Your Avatar in a Virtual Game : The Role of Avatars’ Body Shape and Behavior in Users’ Health Behavior. *Interacting with Computers*, 29(3), 455-466. <https://doi.org/10.1093/iwc/iwx003>
- Jung, M., Sim, S., Kim, J., & Kim, K. (2022). Impact of Personalized Avatars and Motion Synchrony on Embodiment and Users’ Subjective Experience : Empirical Study. *JMIR Serious Games*, 10(4), e40119. <https://doi.org/10.2196/40119>
- Kalckert, A., & Ehrsson, H. H. (2012). Moving a Rubber Hand that Feels Like Your Own : A Dissociation of Ownership and Agency. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00040>
- Kalckert, A., & Ehrsson, H. H. (2014). The moving rubber hand illusion revisited : Comparing movements and visuotactile stimulation to induce illusory ownership. *Consciousness and Cognition*, 26, 117-132. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2014.02.003>
- Kammers, M. P. M., Longo, M. R., Tsakiris, M., Dijkerman, H. C., & Haggard, P. (2009). Specificity and coherence of body representations. *Perception*, 38(12), 1804-1820. <https://doi.org/10.1068/p6389>
- Kang, S. K., & Chasteen, A. L. (2009). The moderating role of age-group identification and perceived threat on stereotype threat among older adults. *International Journal of Aging & Human Development*, 69(3), 201-220. <https://doi.org/10.2190/AG.69.3.c>
- Kätsyri, J., Förger, K., Mäkräinen, M., & Takala, T. (2015). A review of empirical evidence on different uncanny valley hypotheses : Support for perceptual mismatch as one road to the valley of eeriness. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2015.00390>

- Kaufman, G. F., & Libby, L. K. (2012). Changing beliefs and behavior through experience-taking. *Journal of Personality and Social Psychology*, *103*, 1-19. <https://doi.org/10.1037/a0027525>
- Kawakami, K., Dovidio, J. F., & Dijksterhuis, A. (2003). Effect of Social Category Priming on Personal Attitudes. *Psychological Science*, *14*(4), 315-319. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.14451>
- Keizer, A., Elburg, A. van, Helms, R., & Dijkerman, H. C. (2016). A Virtual Reality Full Body Illusion Improves Body Image Disturbance in Anorexia Nervosa. *PLOS ONE*, *11*(10), e0163921. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163921>
- Keizer, A., Smeets, M. A. M., Dijkerman, H. C., Uzunbajakau, S. A., Elburg, A. van, & Postma, A. (2013). Too Fat to Fit through the Door : First Evidence for Disturbed Body-Scaled Action in Anorexia Nervosa during Locomotion. *PLOS ONE*, *8*(5), e64602. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064602>
- Kilteni, K., Bergstrom, I., & Slater, M. (2013). Drumming in Immersive Virtual Reality : The Body Shapes the Way We Play. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, *19*(4), 597-605. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2013.29>
- Kilteni, K., Groten, R., & Slater, M. (2012). The Sense of Embodiment in Virtual Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, *21*(4), 373-387. https://doi.org/10.1162/PRES_a_00124
- Kilteni, K., Maselli, A., Kording, K. P., & Slater, M. (2015). Over my fake body : Body ownership illusions for studying the multisensory basis of own-body perception. *Frontiers in Human Neuroscience*, *9*. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnhum.2015.00141>
- Kilteni, K., Normand, J.-M., Sanchez-Vives, M. V., & Slater, M. (2012). Extending body space in immersive virtual reality: A very long arm illusion. *PloS One*, *7*(7), e40867. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040867>
- Kim, C.-S., Jung, M., Kim, S.-Y., & Kim, K. (2020). Controlling the Sense of Embodiment for Virtual Avatar Applications : Methods and Empirical Study. *JMIR Serious Games*, *8*(3), e21879. <https://doi.org/10.2196/21879>
- Kirchner, C., Völker, I., & Bock, O. L. (2015). Priming with Age Stereotypes Influences the Performance of Elderly Workers. *Psychology*, *06*(02), 133-137. <https://doi.org/10.4236/psych.2015.62012>
- Kishore, S., Spanlang, B., Iruretagoyena, G., Halan, S., Szostak, D., & Slater, M. (2021). A Virtual Reality Embodiment Technique to Enhance Helping Behavior of Police Toward a Victim of Police Racial Aggression. *PRESENCE: Virtual and Augmented Reality*, *28*, 5-27. https://doi.org/10.1162/pres_a_00339
- Klimmt, C., Hefner, D., & Vorderer, P. (2009). The Video Game Experience as “True” Identification : A Theory of Enjoyable Alterations of Players’ Self-Perception. *Communication Theory*, *19*(4), 351-373. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2885.2009.01347.x>
- Klimmt, C., Hefner, D., Vorderer, P., Roth, C., & Blake, C. (2010). Identification With Video Game Characters as Automatic Shift of Self-Perceptions. *Media Psychology*, *13*(4), 323-338. <https://doi.org/10.1080/15213269.2010.524911>
- Kocur, M., Habler, F., Schwind, V., Woźniak, P. W., Wolff, C., & Henze, N. (2021). Physiological and Perceptual Responses to Athletic Avatars while Cycling in Virtual Reality. *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1-18. <https://doi.org/10.1145/3411764.3445160>

- Kocur, M., Kloss, M., Schwind, V., Wolff, C., & Henze, N. (2020). *Flexing Muscles in Virtual Reality: Effects of Avatars' Muscular Appearance on Physical Performance*. 193-205. <https://doi.org/10.1145/3410404.3414261>
- Kocur, M., Mayer, M., Karber, A., Witte, M., Henze, N., & Bogon, J. (2023). The Absence of Athletic Avatars' Effects on Physiological and Perceptual Responses while Cycling in Virtual Reality. *Proceedings of the 22nd International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, 366-376. <https://doi.org/10.1145/3626705.3627769>
- Kocur, M., Schauhuber, P., Schwind, V., Wolff, C., & Henze, N. (2020). *The Effects of Self- and External Perception of Avatars on Cognitive Task Performance in Virtual Reality*. 27, 1-11. <https://doi.org/10.1145/3385956.3418969>
- Kokkinara, E., Kilteni, K., Blom, K. J., & Slater, M. (2016). First Person Perspective of Seated Participants Over a Walking Virtual Body Leads to Illusory Agency Over the Walking. *Scientific Reports*, 6, 28879. <https://doi.org/10.1038/srep28879>
- Kokkinara, E., & Slater, M. (2014). Measuring the Effects through Time of the Influence of Visuomotor and Visuotactile Synchronous Stimulation on a Virtual Body Ownership Illusion. *Perception*, 43(1), 43-58. <https://doi.org/10.1068/p7545>
- Kondo, R., Sugimoto, M., Minamizawa, K., Hoshi, T., Inami, M., & Kitazaki, M. (2018). Illusory body ownership of an invisible body interpolated between virtual hands and feet via visual-motor synchronicity. *Scientific Reports*, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25951-2>
- Krautner, S., Gionfriddo, A., Bardouille, T., & Boe, S. (2014). Motor imagery-based brain activity parallels that of motor execution: Evidence from magnetic source imaging of cortical oscillations. *Brain Research*, 1588, 81-91. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2014.09.001>
- La Rocca, S., Andrea, B., Tosi, G., & Daini, R. (2020). No Country for Old Men : Reducing Age Bias through Virtual Reality Embodiment. *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine*, 2020, 127.
- Lanfranco, R., Chancel, M., & Ehrsson, H. H. (2022). *Quantifying body ownership information processing and perceptual bias in the rubber hand illusion*. PsyArXiv. <https://doi.org/10.31234/osf.io/uw8gh>
- Lang, V. A., Zbinden, J., Wessberg, J., & Ortiz-Catalan, M. (2021). Hand Temperature Is Not Consistent With Illusory Strength During the Rubber Hand Illusion. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference, 2021*, 1416-1418. <https://doi.org/10.1109/EMBC46164.2021.9630200>
- Langlois, J. H., Kalakanis, L., Rubenstein, A. J., Larson, A., Hallam, M., & Smoot, M. (2000). Maxims or myths of beauty? A meta-analytic and theoretical review. *Psychological Bulletin*, 126(3), 390-423. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.126.3.390>
- Latoschik, M. E., Roth, D., Gall, D., Achenbach, J., Waltemate, T., & Botsch, M. (2017). The effect of avatar realism in immersive social virtual realities. *Proceedings of the 23rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, 1-10. <https://doi.org/10.1145/3139131.3139156>
- Le Chapelain, L., Beis, J.-M., Martinet, N., Viehl-Ben Meridja, A., Paysant, J., & André, J.-M. (2010). Disturbances of body representations after deafferentation. *Revue de neuropsychologie*, 2(3), 212-220.
- Lee, J.-E. R., Nass, C. I., & Bailenson, J. N. (2014). Does the mask govern the mind? : Effects of arbitrary gender representation on quantitative task performance in avatar-represented virtual groups. *Cyberpsychology, Behavior and Social Networking*, 17(4), 248-254. <https://doi.org/10.1089/cyber.2013.0358>

- Lee, K. M. (2004). Presence, Explicated. *Communication Theory*, 14(1), 27-50. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2885.2004.tb00302.x>
- Lenggenhager, B., Tadi, T., Metzinger, T., & Blanke, O. (2007). Video Ergo Sum : Manipulating Bodily Self-Consciousness. *Science*, 317(5841), 1096-1099. <https://doi.org/10.1126/science.1143439>
- Lessard, D. A., Linkenauger, S. A., & Proffitt, D. R. (2009). Look before You Leap : Jumping Ability Affects Distance Perception. *Perception*, 38(12), 1863-1866. <https://doi.org/10.1068/p6509>
- Levy, B. R. (1996). *Improving Memory in Old Age Through Implicit Self-Stereotyping*. 16.
- Levy, B. R. (2000). Handwriting as a reflection of aging self-stereotypes. *Journal of Geriatric Psychiatry*, 33(1), 81-94.
- Levy, B. R. (2003). Mind Matters : Cognitive and Physical Effects of Aging Self-Stereotypes. *The Journals of Gerontology: Series B*, 58(4), P203-P211. <https://doi.org/10.1093/geronb/58.4.P203>
- Levy, B. R. (2009). Stereotype Embodiment : A Psychosocial Approach to Aging. *Current Directions in Psychological Science*, 18(6), 332-336. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2009.01662.x>
- Levy, B. R., & Banaji, M. (2002). Implicit Ageism. In *Ageism : Stereotyping and prejudice against older persons* (The MIT Press, p. 49-75).
- Levy, B. R., Dror, I. E., & Ashman, O. (1999). To be or not to be : The effects of aging stereotypes on the will to live. *Omega*, 409-420.
- Levy, B. R., Hausdorff, J. M., Hencke, R., & Wei, J. Y. (2000). Reducing Cardiovascular Stress With Positive Self-Stereotypes of Aging. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 55(4), P205-P213. <https://doi.org/10.1093/geronb/55.4.P205>
- Levy, B. R., & Langer, E. (1994). Aging free from negative stereotypes : Successful memory in China among the American deaf. *Journal of Personality and Social Psychology*, 66(6), 989-997. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.66.6.989>
- Leys, C., Delacre, M., Mora, Y. L., Lakens, D., & Ley, C. (2019). How to classify, detect, and manage univariate and multivariate outliers, with emphasis on pre-registration. *International Review of Social Psychology*, 32(1), Article 1. <https://doi.org/10.5334/irsp.289>
- Leys, C., Ley, C., Klein, O., Bernard, P., & Licata, L. (2013). Detecting outliers : Do not use standard deviation around the mean, use absolute deviation around the median. *Journal of Experimental Social Psychology*, 49(4), 764-766. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2013.03.013>
- Lhuillier, S., Gyselinck, V., Dutriaux, L., Grison, E., & Nicolas, S. (2018). “Like a ball and chain” : Altering locomotion effort perception distorts spatial representations. *Journal of Environmental Psychology*, 60, 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2018.10.008>
- Li, B. J., Lwin, M. O., & Jung, Y. (2014). Wii, Myself, and Size : The Influence of Proteus Effect and Stereotype Threat on Overweight Children’s Exercise Motivation and Behavior in Exergames. *Games for Health Journal*, 3(1), 40-48. <https://doi.org/10.1089/g4h.2013.0081>
- Lin, H., & Wang, H. (2014). Avatar creation in virtual worlds : Behaviors and motivations. *Computers in Human Behavior*, 34, 213-218. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2013.10.005>
- Lineweaver, T. T., Berger, A. K., & Hertzog, C. (2009). Expectations about memory change across the life span are impacted by aging stereotypes. *Psychology and Aging*, 24(1), 169-176. <https://doi.org/10.1037/a0013577>
- Lineweaver, T. T., & Hertzog, C. (1998). Adults’ efficacy and control beliefs regarding memory and aging : Separating general from personal beliefs. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 5(4), 264-296. <https://doi.org/10.1076/anec.5.4.264.771>

- Lineweaver, T. T., Kugler, J., Rabellino, A., & Stephan, Y. (2017). Beliefs about age-related changes in physical functioning across the adult life span and their relationship with physical activity levels of older adults. *Aging, Neuropsychology and Cognition*, 25(4), 613-631. <https://doi.org/10.1080/13825585.2017.1356903>
- Linkenauger, S. A., Bühlhoff, H. H., & Mohler, B. J. (2015). Virtual arm's reach influences perceived distances but only after experience reaching. *Neuropsychologia*, 70, 393-401. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.10.034>
- Lira, M., Egito, J. H., Dall'Agnol, P. A., Amodio, D. M., Gonçalves, Ó. F., & Boggio, P. S. (2017). The influence of skin colour on the experience of ownership in the rubber hand illusion. *Scientific Reports*, 7(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16137-3>
- Liu, J., Burkhardt, J.-M., & Lubart, T. (2023). Boosting Creativity through Users' Avatars and Contexts in Virtual Environments—A Systematic Review of Recent Research. *Journal of Intelligence*, 11(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/jintelligence11070144>
- Liu, P., Zhao, F., Zhang, B., & Dang, Q. (2017). Small Change Makes a Big Splash : The Role of Working Self-Concept in the Effects of Stereotype Threat on Memory. *The Journal of Psychology*, 151(7), 613-631. <https://doi.org/10.1080/00223980.2017.1372340>
- Liu, Y. (2023). The Proteus Effect : Overview, Reflection, and Recommendations. *Games and Culture*, 15554120231202175. <https://doi.org/10.1177/15554120231202175>
- Llobera, J., Sanchez-Vives, M. V., & Slater, M. (2013). The relationship between virtual body ownership and temperature sensitivity. *Journal of The Royal Society Interface*, 10(85), 20130300. <https://doi.org/10.1098/rsif.2013.0300>
- Loersch, C., & Payne, B. K. (2014). Situated Inferences and the What, Who, and Where of Priming. *Social Cognition*, 32(Supplement), 137-151. <https://doi.org/10.1521/soco.2014.32.suppl.137>
- Loison, B., Moussaddaq, A.-S., Cormier, J., Richard, I., Ferrapie, A.-L., Ramond, A., & Dinomais, M. (2013). Translation and validation of the French Movement Imagery Questionnaire – Revised Second version (MIQ-RS). *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 56(3), 157-173. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2013.01.001>
- Longo, M. R. (2016). Types of body representation. In *Foundations of embodied cognition : Perceptual and emotional embodiment* (p. 117-134). Routledge/Taylor & Francis Group.
- Longo, M. R., Azañón, E., & Haggard, P. (2010). More than skin deep : Body representation beyond primary somatosensory cortex. *Neuropsychologia*, 48(3), 655-668. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.08.022>
- Longo, M. R., & Haggard, P. (2012). What is it like to have a body? *Current Directions in Psychological Science*, 21(2), 140-145. <https://doi.org/10.1177/0963721411434982>
- Longo, M. R., Schüür, F., Kammers, M. P. M., Tsakiris, M., & Haggard, P. (2008). What is embodiment? A psychometric approach. *Cognition*, 107(3), 978-998. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2007.12.004>
- Longo, M. R., Schüür, F., Kammers, M. P. M., Tsakiris, M., & Haggard, P. (2009). Self awareness and the body image. *Acta Psychologica*, 132(2), 166-172. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2009.02.003>
- Loomis, J. M., Blascovich, J. J., & Beall, A. C. (1999). Immersive virtual environment technology as a basic research tool in psychology. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 31(4), 557-564. <https://doi.org/10.3758/BF03200735>

- Lopez, C., Halje, P., & Blanke, O. (2008). Body ownership and embodiment: Vestibular and multisensory mechanisms. *Neurophysiologie Clinique = Clinical Neurophysiology*, 38(3), 149-161. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2007.12.006>
- Lopez, S., Yang, Y., Beltran, K., Kim, S. J., Cruz Hernandez, J., Simran, C., Yang, B., & Yuksel, B. F. (2019). *Investigating Implicit Gender Bias and Embodiment of White Males in Virtual Reality with Full Body Visuomotor Synchrony*. 1-12. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300787>
- Lotze, M., & Halsband, U. (2006). Motor imagery. *Journal of Physiology, Paris*, 99(4-6), 386-395. <https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2006.03.012>
- Lugrin, J.-L., Latt, J., & Latoschik, M. E. (2015). Anthropomorphism and Illusion of Virtual Body Ownership. *ICAT-EGVE 2015 - International Conference on Artificial Reality and Telexistence and Eurographics Symposium on Virtual Environments*, 8 pages. <https://doi.org/10.2312/EGVE.20151303>
- Macauda, G., Bertolini, G., Palla, A., Straumann, D., Brugger, P., & Lenggenhager, B. (2015). Binding body and self in visuo-vestibular conflicts. *The European Journal of Neuroscience*, 41(6), 810-817. <https://doi.org/10.1111/ejn.12809>
- MacDorman, K. F., & Kageki, N. (2012). The Uncanny Valley [From the Field]. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 19(2), 98-100. <https://doi.org/10.1109/MRA.2012.2192811>
- Macrae, C. N., Bodenhausen, G. V., & Milne, A. B. (1998). Saying no to unwanted thoughts: Self-focus and the regulation of mental life. *Journal of Personality and Social Psychology*, 74, 578-589. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.74.3.578>
- Madary, M., & Metzinger, T. K. (2016). Real Virtuality: A Code of Ethical Conduct. Recommendations for Good Scientific Practice and the Consumers of VR-Technology. *Frontiers in Robotics and AI*, 3. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2016.00003>
- Magosso, E., De Crescenzo, F., Ricci, G., Piastra, S., & Ursino, M. (2019). EEG Alpha Power Is Modulated by Attentional Changes during Cognitive Tasks and Virtual Reality Immersion. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2019, e7051079. <https://doi.org/10.1155/2019/7051079>
- Maister, L., Sebanz, N., Knoblich, G., & Tsakiris, M. (2013). Experiencing ownership over a dark-skinned body reduces implicit racial bias. *Cognition*, 128(2), 170-178. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2013.04.002>
- Maister, L., Slater, M., Sanchez-Vives, M. V., & Tsakiris, M. (2015). Changing bodies changes minds: Owning another body affects social cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 19(1), 6-12. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2014.11.001>
- Maister, L., Tsiakkas, E., & Tsakiris, M. (2013). I feel your fear: Shared touch between faces facilitates recognition of fearful facial expressions. *Emotion (Washington, D.C.)*, 13(1), 7-13. <https://doi.org/10.1037/a0030884>
- Mal, D., Wolf, E., Döllinger, N., Wienrich, C., & Latoschik, M. E. (2023). The Impact of Avatar and Environment Congruence on Plausibility, Embodiment, Presence, and the Proteus Effect in Virtual Reality. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 1-11. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2023.3247089>
- Marini, M., & Casile, A. (2022). I can see my virtual body in a mirror: The role of visual perspective in changing implicit racial attitudes using virtual reality. *Frontiers in Psychology*, 13. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2022.989582>
- Marques, S., Lima, M. L., Abrams, D., & Swift, H. (2014). Will to live in older people's medical decisions: Immediate and delayed effects of aging stereotypes: Aging stereotypes and medical

- decisions. *Journal of Applied Social Psychology*, 44(6), 399-408. <https://doi.org/10.1111/jasp.12231>
- Marquet, M., Missotten, P., & Adam, S. (2016). Ageism and overestimation of cognitive difficulties in older people : A review. *Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie du Vieillessement*, 14(2), 177-186. <https://doi.org/10.1684/pnv.2016.0609>
- Maselli, A., & Slater, M. (2013). The building blocks of the full body ownership illusion. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2013.00083>
- Maselli, A., & Slater, M. (2014). Sliding perspectives : Dissociating ownership from self-location during full body illusions in virtual reality. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/265612387_Sliding_perspectives_Dissociating_ownership_from_self-location_during_full_body_illusions_in_virtual_reality
- McAvinue, L. P., & Robertson, I. H. (2008). Measuring motor imagery ability : A review. *European Journal of Cognitive Psychology*, 20(2), 232-251. <https://doi.org/10.1080/09541440701394624>
- McCain, J., Ahn, S. J. (Grace), & Campbell, W. K. (2018). Is Desirability of the Trait a Boundary Condition of the Proteus Effect? A Pilot Study. *Communication Research Reports*, 35(5), 445-455. <https://doi.org/10.1080/08824096.2018.1531212>
- McKenna, K. Y. A., & Bargh, J. A. (2000). Plan 9 From Cyberspace : The Implications of the Internet for Personality and Social Psychology. *Personality and Social Psychology Review*, 4(1), 57-75. https://doi.org/10.1207/S15327957PSPR0401_6
- Meisner, B. A. (2012). A Meta-Analysis of Positive and Negative Age Stereotype Priming Effects on Behavior Among Older Adults. *The Journals of Gerontology: Series B*, 67B(1), 13-17. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbr062>
- Merton, R. K. (1948). The Self-Fulfilling Prophecy. *The Antioch Review*, 8(2), 193-210. <https://doi.org/10.2307/4609267>
- Metral, M., Gonthier, C., Luyat, M., & Guerraz, M. (2017). Body Schema Illusions : A Study of the Link between the Rubber Hand and Kinesthetic Mirror Illusions through Individual Differences. *BioMed Research International*, 2017, 6937328. <https://doi.org/10.1155/2017/6937328>
- Metral, M., Guardia, D., Bauwens, I., Guerraz, M., Lafargue, G., Cottencin, O., & Luyat, M. (2014). Painfully thin but locked inside a fatter body : Abnormalities in both anticipation and execution of action in anorexia nervosa. *BMC Research Notes*, 7(1), 707. <https://doi.org/10.1186/1756-0500-7-707>
- Metral, M., & Guerraz, M. (2019). Fake hand in movement : Visual motion cues from the rubber hand are processed for kinesthesia. *Consciousness and Cognition*, 73, 102761. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2019.05.009>
- Miall, R. C., & Wolpert, D. M. (1996). Forward Models for Physiological Motor Control. *Neural Networks*, 9(8), 1265-1279. [https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(96\)00035-4](https://doi.org/10.1016/S0893-6080(96)00035-4)
- Mirelman, A., Maidan, I., & Deutsch, J. E. (2013). Virtual reality and motor imagery : Promising tools for assessment and therapy in Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 28(11), 1597-1608. <https://doi.org/10.1002/mds.25670>
- Miyazawa, N., Hayashi, M., Komiya, K., & Akiyama, I. (2004). Supernumerary phantom limbs associated with left hemispheric stroke : Case report and review of the literature. *Neurosurgery*, 54(1), 228-231; discussion 231. <https://doi.org/10.1227/01.neu.0000097558.01639.f5>
- Mohler, B. J., Creem-Regehr, S. H., Thompson, W. B., & Bühlhoff, H. H. (2010). The Effect of Viewing a Self-Avatar on Distance Judgments in an HMD-Based Virtual Environment. *Presence*, 19(3), 230-242. <https://doi.org/10.1162/pres.19.3.230>

- Molden, D. C. (2014a). Understanding Priming Effects in Social Psychology : An Overview and Integration. *Social Cognition*, 32(Supplement), 243-249. <https://doi.org/10.1521/soco.2014.32.sup.243>
- Molden, D. C. (2014b). Understanding Priming Effects in Social Psychology : What is “Social Priming” and How does it Occur? *Social Cognition*, 32(Supplement), 1-11. <https://doi.org/10.1521/soco.2014.32.sup.1>
- Mori, M. (1970). The uncanny valley. *Energy*, 7(4), 33-35.
- Morrison, K. R., Johnson, C. S., & Wheeler, S. C. (2012). Not All Selves Feel the Same Uncertainty : Assimilation to Primes Among Individualists and Collectivists. *Social Psychological and Personality Science*, 3(1), 118-126. <https://doi.org/10.1177/1948550611411310>
- Moseley, G. L., Gallace, A., & Spence, C. (2012). Bodily illusions in health and disease : Physiological and clinical perspectives and the concept of a cortical ‘body matrix’. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.03.013>
- Moseley, G. L., Olthof, N., Venema, A., Don, S., Wijers, M., Gallace, A., & Spence, C. (2008). Psychologically induced cooling of a specific body part caused by the illusory ownership of an artificial counterpart. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(35), 13169-13173. <https://doi.org/10.1073/pnas.0803768105>
- Mottelson, A., Muresan, A., Hornbæk, K., & Makransky, G. (2023). A Systematic Review and Meta-analysis of the Effectiveness of Body Ownership Illusions in Virtual Reality. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*. <https://doi.org/10.1145/3590767>
- Moussally, J. M., Rochat, L., Posada, A., & Van der Linden, M. (2017). A database of body-only computer-generated pictures of women for body-image studies : Development and preliminary validation. *Behavior Research Methods*, 49(1), 172-183. <https://doi.org/10.3758/s13428-016-0703-7>
- Moutoussamy, I., Taconnat, L., Villatte, J., Toussaint, L., & Pothier, K. (2023). Étudier le vieillissement mnésique d’un point de vue incarné : Réflexions sur l’apport des simulateurs de vieillissement. *L’Année psychologique*, 123(4), 641-671. <https://doi.org/10.3917/anpsy1.234.0641>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2008.12.024>
- Müsseler, J., von Salm-Hoogstraeten, S., & Böffel, C. (2022). Perspective Taking and Avatar-Self Merging. *Frontiers in Psychology*, 13. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2022.714464>
- New, B., & Pallier, C. (s. d.). *Lexique* [Logiciel]. Consulté 30 janvier 2024, à l’adresse <http://www.lexique.org/>
- Newport, R., Pearce, R., & Preston, C. (2010). Fake hands in action : Embodiment and control of supernumerary limbs. *Experimental Brain Research*, 204(3), 385-395. <https://doi.org/10.1007/s00221-009-2104-y>
- Newport, R., Wong, D. Y., Howard, E. M., & Silver, E. (2016). The Anne Boleyn Illusion is a Six-Fingered Salute to Sensory Remapping. *I-Perception*, 7(5), 2041669516669732. <https://doi.org/10.1177/2041669516669732>
- Neyret, S., Navarro, X., Beacco, A., Oliva, R., Bourdin, P., Valenzuela, J., Barberia, I., & Slater, M. (2020). An Embodied Perspective as a Victim of Sexual Harassment in Virtual Reality Reduces Action Conformity in a Later Milgram Obedience Scenario. *Scientific Reports*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62932-w>

- Ng, R. (2021). Societal Age Stereotypes in the U.S. and U.K. from a Media Database of 1.1 Billion Words. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(16), 8822. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168822>
- Nguyen, A., Draggoo, B., Tobias, B., DuBose, P., & Polasek, K. (2023). Electrically-evoked referred sensations induce embodiment of rubber limb. *Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering*, 10, 20556683231183633. <https://doi.org/10.1177/20556683231183633>
- Normand, J.-M., Giannopoulos, E., Spanlang, B., & Slater, M. (2011). Multisensory Stimulation Can Induce an Illusion of Larger Belly Size in Immersive Virtual Reality. *PLOS ONE*, 6(1), e16128. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0016128>
- Nosek, B. A., Banaji, M., & Greenwald, A. G. (2002). Harvesting implicit group attitudes and beliefs from a demonstration web site. *Group Dynamics: Theory, Research, and Practice*, 6(1), 101-115. <https://doi.org/10.1037//1089-2699.6.1.101>
- Nowak, K. L., & Fox, J. (2018). Avatars and computer-mediated communication : A review of the definitions, uses, and effects of digital representations. *Review of Communication Research*, 6, 30-53. <https://doi.org/10.12840/issn.2255-4165.2018.06.01.015>
- O'Brien, L. T., & Hummert, M. L. (2006). Memory Performance of Late Middle–Aged Adults : Contrasting Self–Stereotyping and Stereotype Threat Accounts of Assimilation to Age Stereotypes. *Social Cognition*, 24(3), 338-358. <https://doi.org/10.1521/soco.2006.24.3.338>
- Otono, R., Shikanai, Y., Nakano, K., Isoyama, N., Uchiyama, H., & Kiyokawa, K. (2021). *The Proteus Effect in Augmented Reality : Impact of Avatar Age and User Perspective on Walking Behaviors* (p. 4). The Virtual Reality Society of Japan.
- Overgaard, M., Preston, C., & Aspell, J. (2023). The self, its body and its brain. *Scientific Reports*, 13(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-39959-w>
- Oyanagi, A., & Ohmura, R. (2019). Transformation to a bird : Overcoming the height of fear by inducing the proteus effect of the bird avatar. *Proceedings of the 2nd International Conference on Image and Graphics Processing - ICIGP '19*, 145-149. <https://doi.org/10.1145/3313950.3313976>
- Palomares, N. A., & Lee, E.-J. (2010). Virtual Gender Identity : The Linguistic Assimilation to Gendered Avatars in Computer-Mediated Communication. *Journal of Language and Social Psychology*, 29(1), 5-23. <https://doi.org/10.1177/0261927X09351675>
- Pan, X., & Hamilton, A. F. de C. (2018). Why and how to use virtual reality to study human social interaction : The challenges of exploring a new research landscape. *British Journal of Psychology*, 109(3), 395-417. <https://doi.org/10.1111/bjop.12290>
- Papadelis, C., Kourtidou-Papadeli, C., Bamidis, P., & Albani, M. (2007). Effects of imagery training on cognitive performance and use of physiological measures as an assessment tool of mental effort. *Brain and Cognition*, 64(1), 74-85. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2007.01.001>
- Papaxanthis, C., Pozzo, T., Skoura, X., & Schieppati, M. (2002). Does order and timing in performance of imagined and actual movements affect the motor imagery process? The duration of walking and writing task. *Behavioural Brain Research*, 134(1), 209-215. [https://doi.org/10.1016/S0166-4328\(02\)00030-X](https://doi.org/10.1016/S0166-4328(02)00030-X)
- Parsons, T. D. (2021). Ethical Challenges of Using Virtual Environments in the Assessment and Treatment of Psychopathological Disorders. *Journal of Clinical Medicine*, 10(3), 378. <https://doi.org/10.3390/jcm10030378>
- Parsons, T. D., Gaggioli, A., & Riva, G. (2017). Virtual Reality for Research in Social Neuroscience. *Brain Sciences*, 7(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/brainsci7040042>

- Peck, T. C., Doan, M., Bourne, K. A., & Good, J. J. (2018). The Effect of Gender Body-Swap Illusions on Working Memory and Stereotype Threat. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 24(4), 1604-1612. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2793598>
- Peck, T. C., & Gonzalez-Franco, M. (2021). Avatar Embodiment. A Standardized Questionnaire. *Frontiers in Virtual Reality*, 1. <https://doi.org/10.3389/frvir.2020.575943>
- Peck, T. C., Seinfeld, S., Aglioti, S. M., & Slater, M. (2013). Putting yourself in the skin of a black avatar reduces implicit racial bias. *Consciousness and Cognition*, 22(3), 779-787. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2013.04.016>
- Peña, J. (2011). Integrating the influence of perceiving and operating avatars under the automaticity model of priming effects. *Communication Theory*, 21(2), 150-168. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2885.2011.01380.x>
- Peña, J., Aridi Barake, M., & Falin, J. M. (2022). Virtual leaders : Can customizing authoritarian and democratic business leader avatars influence altruistic behavior and leadership empowerment perceptions? *Computers in Human Behavior*, 141, 107616. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107616>
- Peña, J., & Blackburn, K. (2013). The Priming Effects of Virtual Environments on Interpersonal Perceptions and Behaviors. *Journal of Communication*, 63(4), 703-720. <https://doi.org/10.1111/jcom.12043>
- Peña, J., Craig, M., & Baumhardt, H. (2022). The effects of avatar customization and virtual human mind perception: A test using Milgram's paradigm. *New Media & Society*, 14614448221127258. <https://doi.org/10.1177/14614448221127258>
- Peña, J., Hancock, J. T., & Merola, N. A. (2009). The Priming Effects of Avatars in Virtual Settings. *Communication Research*, 36(6), 838-856. <https://doi.org/10.1177/0093650209346802>
- Peña, J., Khan, S., & Alexopoulos, C. (2016). I Am What I See : How Avatar and Opponent Agent Body Size Affects Physical Activity Among Men Playing Exergames. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 21(3). <https://doi.org/10.1111/jcc4.2016.21.issue-3>
- Peña, J., & Kim, E. (2014). Increasing exergame physical activity through self and opponent avatar appearance. *Computers in Human Behavior*, 41, 262-267. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.09.038>
- Pennington, C. R., Heim, D., Levy, A. R., & Larkin, D. T. (2016). Twenty Years of Stereotype Threat Research: A Review of Psychological Mediators. *PLOS ONE*, 11(1), e0146487. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146487>
- Perdue, C. W., & Gurtman, M. B. (1990). Evidence for the automaticity of ageism. *Journal of Experimental Social Psychology*, 26(3), 199-216. [https://doi.org/10.1016/0022-1031\(90\)90035-K](https://doi.org/10.1016/0022-1031(90)90035-K)
- Perez-Marcos, D., Slater, M., & Sanchez-Vives, M. V. (2009). Inducing a virtual hand ownership illusion through a brain-computer interface. *NeuroReport*, 20(6), 589. <https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e32832a0a2a>
- Petkova, V., & Ehrsson, H. H. (2008). If I Were You : Perceptual Illusion of Body Swapping. *PLOS ONE*, 3(12), e3832. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003832>
- Petkova, V., Khoshnevis, M., & Ehrsson, H. H. (2011). The Perspective Matters ! Multisensory Integration in Ego-Centric Reference Frames Determines Full-Body Ownership. *Frontiers in Psychology*, 2, 35. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00035>

- Pia, L., Garbarini, F., Kalckert, A., & Wong, H. Y. (2019). Editorial : Owning a Body + Moving a Body = Me? *Frontiers in Human Neuroscience*, 13. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2019.00088>
- Piryankova, I. V., Wong, H. Y., Linkenauger, S. A., Stinson, C., Longo, M. R., Bühlhoff, H. H., & Mohler, B. J. (2014). Owning an Overweight or Underweight Body : Distinguishing the Physical, Experienced and Virtual Body. *PLOS ONE*, 9(8), e103428. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103428>
- Pitron, V., Alsmith, A., & de Vignemont, F. (2018). How do the body schema and the body image interact? *Consciousness and Cognition*, 65, 352-358. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2018.08.007>
- Podsiadlo, D., & Richardson, S. (1991). The timed « Up & Go » : A test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American Geriatrics Society*, 39(2), 142-148. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1991.tb01616.x>
- Poleac, G. (2023). Rethinking The Proteus Effect – Can our digital personas influence our offline selves? *Technium Social Sciences Journal*, 51, 150-162. <https://doi.org/10.47577/tssj.v50i1.9767>
- Porras Garcia, B., Ferrer Garcia, M., Olszewska, A., Yilmaz, L., González Ibañez, C., Gracia Blanes, M., Gültekin, G., Serrano Troncoso, E., & Gutiérrez Maldonado, J. (2019). Is This My Own Body? Changing the Perceptual and Affective Body Image Experience among College Students Using a New Virtual Reality Embodiment-Based Technique. *Journal of Clinical Medicine*, 8(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/jcm8070925>
- Postmes, T., Spears, R., & Lea, M. (1998). Breaching or Building Social Boundaries? : SIDE-Effects of Computer-Mediated Communication. *Communication Research*, 25(6), 689-715. <https://doi.org/10.1177/009365098025006006>
- Postmes, T., Spears, R., Sakhel, K., & De Groot, D. (2001). Social Influence in Computer-Mediated Communication : The Effects of Anonymity on Group Behavior. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 27(10), 1243-1254. <https://doi.org/10.1177/01461672012710001>
- Praetorius, A. S., & Görlich, D. (2020). How Avatars Influence User Behavior : A Review on the Proteus Effect in Virtual Environments and Video Games. *International Conference on the Foundations of Digital Games*, 1-9. <https://doi.org/10.1145/3402942.3403019>
- Preston, C., & Ehrsson, H. H. (2014). Illusory Changes in Body Size Modulate Body Satisfaction in a Way That Is Related to Non-Clinical Eating Disorder Psychopathology. *PLOS ONE*, 9(1), e85773. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085773>
- Preston, C., Kuper-Smith, B. J., & Ehrsson, H. H. (2015). Owning the body in the mirror : The effect of visual perspective and mirror view on the full-body illusion. *Scientific Reports*, 5, 18345. <https://doi.org/10.1038/srep18345>
- Preston, C., & Newport, R. (2012). How Long is Your Arm? Using Multisensory Illusions to Modify Body Image from the Third Person Perspective. *Perception*, 41(2), 247-249. <https://doi.org/10.1068/p7103>
- Proffitt, D. R., Bhalla, M., Gossweiler, R., & Midgett, J. (1995). Perceiving geographical slant. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2(4), 409-428. <https://doi.org/10.3758/BF03210980>
- Proffitt, D. R., Stefanucci, J., Banton, T., & Epstein, W. (2003). The role of effort in perceiving distance. *Psychological Science*, 14(2), 106-112. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.t01-1-01427>
- Provenzano, L., Porciello, G., Ciccarone, S., Lenggenhager, B., Tieri, G., Marucci, M., Dazzi, F., Loriedo, C., & Bufalari, I. (2020). Characterizing Body Image Distortion and Bodily Self-

- Plasticity in Anorexia Nervosa via Visuo-Tactile Stimulation in Virtual Reality. *Journal of Clinical Medicine*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/jcm9010098>
- Pyasik, M., Burin, D., & Pia, L. (2018). On the relation between body ownership and sense of agency : A link at the level of sensory-related signals. *Acta Psychologica*, 185, 219-228. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2018.03.001>
- Pyasik, M., Ciorli, T., & Pia, L. (2022). Full body illusion and cognition : A systematic review of the literature. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 104926. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.104926>
- Ramachandran, V. S., & Hirstein, W. (1998). The perception of phantom limbs. The D. O. Hebb lecture. *Brain: A Journal of Neurology*, 121 (Pt 9), 1603-1630. <https://doi.org/10.1093/brain/121.9.1603>
- Raoul, L., Goulon, C., Sarlegna, F., & Grosbras, M.-H. (2024). *Developmental Changes of Bodily Self-Consciousness in Adolescents Girls*.
- Raoul, L., & Grosbras, M.-H. (2023). Relating different Dimensions of Bodily Experiences : Review and proposition of an integrative model relying on phenomenology, predictive brain and neuroscience of the self. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 105141. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2023.105141>
- Ratan, R. (2012). Self-presence, explicated : Body, emotion, and identity extension into the virtual self. In *Handbook of Research on Technoself: Identity in a Technological Society: Vol. I* (p. 322-336). IGI Global. <http://doi:10.4018/978-1-4666-2211-1.ch018>
- Ratan, R., Beyea, D., Li, B. J., & Graciano, L. (2019). Avatar characteristics induce users' behavioral conformity with small-to-medium effect sizes : A meta-analysis of the proteus effect. *Media Psychology*, 0(0), 1-25. <https://doi.org/10.1080/15213269.2019.1623698>
- Ratan, R., & Dawson, M. (2016). When Mii Is Me : A Psychophysiological Examination of Avatar Self-Relevance. *Communication Research*, 43(8), 1065-1093. <https://doi.org/10.1177/0093650215570652>
- Ratan, R., & Pandita, S. (2023). *Avatar, a Lasting Definition : A mediated self-representation that an intelligent user controls during dynamic interactions* [Preprint]. PsyArXiv. <https://doi.org/10.31234/osf.io/q5e4u>
- Ratan, R., & Sah, Y. J. (2015). Leveling up on stereotype threat : The role of avatar customization and avatar embodiment. *Computers in Human Behavior*, 50, 367-374. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.04.010>
- Reicher, S. D., Spears, R., & Postmes, T. (1995). A Social Identity Model of Deindividuation Phenomena. *European Review of Social Psychology*, 6(1), 161-198. <https://doi.org/10.1080/14792779443000049>
- Reinhard, R., Shah, K. G., Faust-Christmann, C. A., & Lachmann, T. (2019). Acting your avatar's age : Effects of virtual reality avatar embodiment on real life walking speed. *Media Psychology*, 1-23. <https://doi.org/10.1080/15213269.2019.1598435>
- Repetto, C., & Riva, G. (2023). The neuroscience of body memory : Recent findings and conceptual advances. *EXCLI Journal*, 22, 191-206. <https://doi.org/10.17179/excli2023-5877>
- Rheu, M. M., Jang, Y., & Peng, W. (2020). Enhancing Healthy Behaviors Through Virtual Self: A Systematic Review of Health Interventions Using Avatars. *Games for Health Journal*, 9(2), 85-94. <https://doi.org/10.1089/g4h.2018.0134>
- Riva, G. (2018). The neuroscience of body memory : From the self through the space to the others. *Cortex*, 104, 241-260. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.07.013>

- Roberts, D., Gebhardt, D. L., Gaskill, S. E., Roy, T. C., & Sharp, M. A. (2016). Current considerations related to physiological differences between the sexes and physical employment standards. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquée, Nutrition Et Metabolisme*, 41(6 Suppl 2), S108-120. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0540>
- Robertson, D. A., King-Kallimanis, B. L., & Kenny, R. A. (2016). Negative perceptions of aging predict longitudinal decline in cognitive function. *Psychology and Aging*, 31(1), 71-81. <https://doi.org/10.1037/pag0000061>
- Rohde, M., Luca, M. D., & Ernst, M. O. (2011). The Rubber Hand Illusion : Feeling of Ownership and Proprioceptive Drift Do Not Go Hand in Hand. *PLOS ONE*, 6(6), e21659. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0021659>
- Rohde, M., Wold, A., Karnath, H.-O., & Ernst, M. O. (2013). The Human Touch : Skin Temperature during the Rubber Hand Illusion in Manual and Automated Stroking Procedures. *PLOS ONE*, 8(11), e80688. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080688>
- Romano, D., & Maravita, A. (2019). The dynamic nature of the sense of ownership after brain injury. Clues from asomatognosia and somatoparaphrenia. *Neuropsychologia*, 132, 107119. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.107119>
- Rosa, N., van Bommel, J.-P., Hürst, W., Nijboer, T., Veltkamp, R. C., & Werkhoven, P. (2019). Embodying an Extra Virtual Body in Augmented Reality. *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 1138-1139. <https://doi.org/10.1109/VR.2019.8798055>
- Rosenthal, R. (2002). The Pygmalion effect and its mediating mechanisms. In *Improving academic achievement : Impact of psychological factors on education* (p. 25-36). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012064455-1/50005-1>
- Roth, D., & Latoschik, M. E. (2020). Construction of the Virtual Embodiment Questionnaire (VEQ). *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 26(12), 3546-3556. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2020.3023603>
- Rubo, M., & Gamer, M. (2019). Visuo-tactile congruency influences the body schema during full body ownership illusion. *Consciousness and Cognition*, 73, 102758. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2019.05.006>
- Sadek, N., Elagroudy, P., Khalil, A., & Abdennadher, S. (2022). The Superhero Pose : Enhancing Physical Performance in Exergames by Embodying Celebrity Avatars in Virtual Reality. *Nordic Human-Computer Interaction Conference*, 1-11. <https://doi.org/10.1145/3546155.3546707>
- Sah, Y. J., Ratan, R., Tsai, H.-Y. S., Peng, W., & Sarinopoulos, I. (2016). Are you what your avatar eats? Health-behavior effects of avatar-manifested self-concept. *Media Psychology*, 20(4), 632-657. <https://doi.org/10.1080/15213269.2016.1234397>
- Saimpont, A., Malouin, F., Tousignant, B., & Jackson, P. L. (2012). The influence of body configuration on motor imagery of walking in younger and older adults. *Neuroscience*, 222, 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2012.06.066>
- Salagean, A., Crellin, E., Parsons, M., Cosker, D., & Stanton Fraser, D. (2023). Meeting Your Virtual Twin : Effects of Photorealism and Personalization on Embodiment, Self-Identification and Perception of Self-Avatars in Virtual Reality. *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1-16. <https://doi.org/10.1145/3544548.3581182>
- Salomon, R., Lim, M., Pfeiffer, C., Gassert, R., & Blanke, O. (2013). Full body illusion is associated with widespread skin temperature reduction. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 7. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnbeh.2013.00065>

- Sanchez-Vives, M. V., Spanlang, B., Frisoli, A., Bergamasco, M., & Slater, M. (2010). Virtual Hand Illusion Induced by Visuomotor Correlations. *PLOS ONE*, 5(4), e10381. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010381>
- Sato, A., & Yasuda, A. (2005). Illusion of sense of self-agency : Discrepancy between the predicted and actual sensory consequences of actions modulates the sense of self-agency, but not the sense of self-ownership. *Cognition*, 94(3), 241-255. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2004.04.003>
- Sato, W., Kochiyama, T., & Yoshikawa, S. (2020). Physiological correlates of subjective emotional valence and arousal dynamics while viewing films. *Biological Psychology*, 157, 107974. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2020.107974>
- Sattin, D., Parma, C., Lunetta, C., Zulueta, A., Lanzone, J., Giani, L., Vassallo, M., Picozzi, M., & Parati, E. A. (2023). An Overview of the Body Schema and Body Image : Theoretical Models, Methodological Settings and Pitfalls for Rehabilitation of Persons with Neurological Disorders. *Brain Sciences*, 13(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/brainsci13101410>
- Schaefer, M., Flor, H., Heinze, H.-J., & Rotte, M. (2007). Morphing the body : Illusory feeling of an elongated arm affects somatosensory homunculus. *NeuroImage*, 36(3), 700-705. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.03.046>
- Schmider, E., Ziegler, M., Danay, E., Beyer, L., & Bühner, M. (2010). Is It Really Robust? *Methodology*, 6(4), 147-151. <https://doi.org/10.1027/1614-2241/a000016>
- Schmidt, D. F., & Boland, S. M. (1986). Structure of perceptions of older adults : Evidence for multiple stereotypes. *Psychology and Aging*, 1(3), 255-260. <https://doi.org/10.1037//0882-7974.1.3.255>
- Schnall, S., Zadra, J. R., & Proffitt, D. R. (2010). Direct Evidence for the Economy of Action : Glucose and the Perception of Geographical Slant. *Perception*, 39(4), 464-482. <https://doi.org/10.1068/p6445>
- Schott, N. (2012). Age-Related Differences in Motor Imagery : Working Memory as a Mediator. *Experimental Aging Research*, 38(5), 559-583. <https://doi.org/10.1080/0361073X.2012.726045>
- Schütz-Bosbach, S., Tausche, P., & Weiss, C. (2009). Roughness perception during the rubber hand illusion. *Brain and Cognition*, 70(1), 136-144. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2009.01.006>
- Schwoebel, J., & Coslett, H. B. (2005). Evidence for multiple, distinct representations of the human body. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(4), 543-553. <https://doi.org/10.1162/0898929053467587>
- Seinfeld, S., Arroyo-Palacios, J., Iruretagoyena, G., Hortensius, R., Zapata, L. E., Borland, D., de Gelder, B., Slater, M., & Sanchez-Vives, M. V. (2018). Offenders become the victim in virtual reality : Impact of changing perspective in domestic violence. *Scientific Reports*, 8(1), 2692. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19987-7>
- Sequeira, H., Hot, P., Silvert, L., & Delplanque, S. (2009). Electrical autonomic correlates of emotion. *International Journal of Psychophysiology*, 71(1), 50-56. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2008.07.009>
- Serino, S., Pedroli, E., Keizer, A., Triberti, S., Dakanalis, A., Pallavicini, F., Chirico, A., & Riva, G. (2016). Virtual Reality Body Swapping : A Tool for Modifying the Allocentric Memory of the Body. *Cyberpsychology, Behavior and Social Networking*, 19(2), 127-133. <https://doi.org/10.1089/cyber.2015.0229>
- Serino, S., Scarpina, F., Chirico, A., Dakanalis, A., Di Lernia, D., Colombo, D., Catallo, V., Pedroli, E., & Riva, G. (2020). Gulliver's virtual travels : Active embodiment in extreme body sizes for modulating our body representations. *Cognitive Processing*, 21(4), 509-520. <https://doi.org/10.1007/s10339-020-00977-5>

- Seyama, J., & Nagayama, R. S. (2007). The Uncanny Valley : Effect of Realism on the Impression of Artificial Human Faces. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 16(4), 337-351. <https://doi.org/10.1162/pres.16.4.337>
- Sforza, A., Bufalari, I., Haggard, P., & Aglioti, S. M. (2010). My face in yours : Visuo-tactile facial stimulation influences sense of identity. *Social Neuroscience*, 5(2), 148-162. <https://doi.org/10.1080/17470910903205503>
- Sherrick, B., Hoewe, J., & Waddell, T. F. (2014). The role of stereotypical beliefs in gender-based activation of the Proteus effect. *Computers in Human Behavior*, 38, 17-24. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.05.010>
- Shih, M., Ambady, N., Richeson, J. A., Fujita, K., & Gray, H. M. (2002). Stereotype performance boosts : The impact of self-relevance and the manner of stereotype activation. *Journal of Personality and Social Psychology*, 83(3), 638-647. <https://doi.org/10.1037//0022-3514.83.3.638>
- Shimada, S., Fukuda, K., & Hiraki, K. (2009). Rubber Hand Illusion under Delayed Visual Feedback. *PLOS ONE*, 4(7), e6185. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006185>
- Shimada, S., Suzuki, T., Yoda, N., & Hayashi, T. (2014). Relationship between sensitivity to visuotactile temporal discrepancy and the rubber hand illusion. *Neuroscience Research*, 85, 33-38. <https://doi.org/10.1016/j.neures.2014.04.009>
- Shin, M., Kim, S. J., & Biocca, F. (2019). The uncanny valley : No need for any further judgments when an avatar looks eerie. *Computers in Human Behavior*, 94, 100-109. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.01.016>
- Skowronski, M., Busching, R., & Krahe, B. (2021). The effects of sexualized video game characters and character personalization on women's self-objectification and body satisfaction. *Journal of Experimental Social Psychology*, 92, 104051. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2020.104051>
- Slater, M. (2003). A Note on Presence Terminology. *Presence Connect*, 3.
- Slater, M. (2009). Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1535), 3549-3557. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0138>
- Slater, M., Gonzalez-Lienres, C., Haggard, P., Vinkers, C., Gregory-Clarke, R., Jelley, S., Watson, Z., Breen, G., Schwarz, R., Steptoe, W., Szostak, D., Halan, S., Fox, D., & Silver, J. (2020). The Ethics of Realism in Virtual and Augmented Reality. *Frontiers in Virtual Reality*, 1. <https://doi.org/10.3389/frvir.2020.00001>
- Slater, M., Perez-Marcos, D., Ehrsson, H. H., & Sanchez-Vives, M. V. (2008). Towards a Digital Body : The Virtual Arm Illusion. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2. <https://doi.org/10.3389/neuro.09.006.2008>
- Slater, M., Perez-Marcos, D., Ehrsson, H. H., & Sanchez-Vives, M. V. (2009). Inducing illusory ownership of a virtual body. *Frontiers in Neuroscience*, 3(2), 214-220. <https://doi.org/10.3389/neuro.01.029.2009>
- Slater, M., Spanlang, B., Sanchez-Vives, M. V., & Blanke, O. (2010). First Person Experience of Body Transfer in Virtual Reality. *PLoS ONE*, 5(5), e10564. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010564>
- Slater, M., & Usoh, M. (1993). Representations Systems, Perceptual Position, and Presence in Immersive Virtual Environments. *Presence*, 2, 221-233. <https://doi.org/10.1162/pres.1993.2.3.221>

- Smeesters, D., Wheeler, S. C., & Kay, A. C. (2010). Chapter 5 - Indirect Prime-to-Behavior Effects : The Role of Perceptions of the Self, Others, and Situations in Connecting Primed Constructs to Social Behavior. In *Advances in Experimental Social Psychology* (Vol. 42, p. 259-317). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0065-2601\(10\)42005-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2601(10)42005-5)
- Snyder, M., & Swann, W. B. (1978). Behavioral confirmation in social interaction : From social perception to social reality. *Journal of Experimental Social Psychology, 14*(2), 148-162. [https://doi.org/10.1016/0022-1031\(78\)90021-5](https://doi.org/10.1016/0022-1031(78)90021-5)
- Snyder, M., Tanke, E. D., & Berscheid, E. (1977). Social perception and interpersonal behavior : On the self-fulfilling nature of social stereotypes. *Journal of Personality and Social Psychology, 35*(9), 656-666. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.35.9.656>
- Sohn, S., Chung, H. C., & Park, N. (2019). Private Self-Awareness and Aggression in Computer-Mediated Communication : Abusive User Comments on Online News Articles. *International Journal of Human-Computer Interaction, 35*(13), 1160-1169. <https://doi.org/10.1080/10447318.2018.1514822>
- Solodkin, A., Hlustik, P., Chen, E. E., & Small, S. L. (2004). Fine modulation in network activation during motor execution and motor imagery. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991), 14*(11), 1246-1255. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhh086>
- Souza, A. L. L., de Souza, P. M., Mota, B. E. F., Xavier, C. L. F., Santiago, F. G., Oliveira, J. S., Borges, S. A., Bearzoti, E., Gama, E. F., & Souza, G. G. L. (2022). Ghost Fat : Altered Female Body Perception After Bariatric Surgery. *Perceptual and Motor Skills, 00315125221133868*. <https://doi.org/10.1177/00315125221133868>
- Spanlang, B., Normand, J.-M., Borland, D., Kilteni, K., Giannopoulos, E., Pomés, A., González-Franco, M., Perez-Marcos, D., Arroyo-Palacios, J., Muncunill, X. N., & Slater, M. (2014). How to Build an Embodiment Lab : Achieving Body Representation Illusions in Virtual Reality. *Frontiers in Robotics and AI, 1*. <https://doi.org/10.3389/frobt.2014.00009>
- Spencer, S. J., Steele, C. M., & Quinn, D. M. (1999). Stereotype Threat and Women's Math Performance. *Journal of Experimental Social Psychology, 35*(1), 4-28. <https://doi.org/10.1006/jesp.1998.1373>
- Steele, C. M. (1997). A threat in the air. How Stereotypes Shape Intellectual Identity and Performance. *American Psychologist, 52*(6), 613-629. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.52.6.613>
- Steele, C. M., & Aronson, J. (1995). Stereotype threat and the intellectual test performance of African Americans. *Journal of Personality and Social Psychology, 69*(5), 797-811. <https://doi.org/10.1037//0022-3514.69.5.797>
- Stephoe, W., Steed, A., & Slater, M. (2013). Human tails : Ownership and control of extended humanoid avatars. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 19*(4), 583-590. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2013.32>
- Sugovic, M., Turk, P., & Witt, J. K. (2016). Perceived distance and obesity : It's what you weigh, not what you think. *Acta Psychologica, 165*, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2016.01.012>
- Suk, H., & Laine, T. H. (2023). Influence of Avatar Facial Appearance on Users' Perceived Embodiment and Presence in Immersive Virtual Reality. *Electronics, 12*(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/electronics12030583>
- Szolin, K., Kuss, D. J., Nuyens, F. M., & Griffiths, M. D. (2022). Exploring the user-avatar relationship in videogames : A systematic review of the Proteus effect. *Human-Computer Interaction, 0*(0), 1-26. <https://doi.org/10.1080/07370024.2022.2103419>
- Tacikowski, P., Fust, J., & Ehrsson, H. H. (2020). Fluidity of gender identity induced by illusory body-sex change. *Scientific Reports, 10*(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71467-z>

- Tajadura-Jiménez, A., Banakou, D., Bianchi-Berthouze, N., & Slater, M. (2017). Embodiment in a Child-Like Talking Virtual Body Influences Object Size Perception, Self-Identification, and Subsequent Real Speaking. *Scientific Reports*, 7(1), 9637. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09497-3>
- Tajadura-Jiménez, A., Grehl, S., & Tsakiris, M. (2012). The Other in Me : Interpersonal Multisensory Stimulation Changes the Mental Representation of the Self. *PLOS ONE*, 7(7), e40682. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040682>
- Tajfel, H., & Turner, J. C. (2004). The Social Identity Theory of Intergroup Behavior. In *Political Psychology*. Psychology Press.
- Tambone, R., Poggio, G., Pyasik, M., Burin, D., Monte, O. D., Schintu, S., Ciorli, T., Lucà, L., Semino, M. V., Doricchi, F., & Pia, L. (2021). Changing your body changes your eating attitudes : Embodiment of a slim virtual avatar induces avoidance of high-calorie food. *Heliyon*, 7(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07515>
- Tammy Lin, J.-H., & Wu, D.-Y. (2021). Exercising With Embodied Young Avatars : How Young vs. Older Avatars in Virtual Reality Affect Perceived Exertion and Physical Activity Among Male and Female Elderly Individuals. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2021.693545>
- Tammy Lin, J.-H., Wu, D.-Y., & Yang, J.-W. (2021). Exercising With a Six Pack in Virtual Reality : Examining the Proteus Effect of Avatar Body Shape and Sex on Self-Efficacy for Core-Muscle Exercise, Self-Concept of Body Shape, and Actual Physical Activity. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2021.693543>
- Tao, Y., Wang, C. Y., Wilson, A. D., Ofek, E., & Gonzalez-Franco, M. (2023). *Embodying Physics-Aware Avatars in Virtual Reality*. Conference on Human Factors in Computing Systems, Hamburg, Germany.
- Taylor-Covill, G. A. H., & Eves, F. (2013). Slant Perception for Stairs and Screens : Effects of Sex and Fatigue in a Laboratory Environment. *Perception*, 42(4), 459-469. <https://doi.org/10.1068/p7425>
- Taylor-Covill, G. A. H., & Eves, F. (2016). Carrying a biological « backpack » : Quasi-experimental effects of weight status and body fat change on perceived steepness. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 42(3), 331-338. <https://doi.org/10.1037/xhp0000137>
- Themelis, K., Ratcliffe, N., Nishigami, T., Wand, B. M., Newport, R., & Stanton, T. R. (2022). The effect of visually manipulating back size and morphology on back perception, body ownership, and attitudes towards self-capacity during a lifting task. *Psychological Research*, 86(6), 1816-1829. <https://doi.org/10.1007/s00426-021-01609-z>
- Tieri, G., Gioia, A., Scandola, M., Pavone, E. F., & Aglioti, S. M. (2017). Visual appearance of a virtual upper limb modulates the temperature of the real hand : A thermal imaging study in Immersive Virtual Reality. *European Journal of Neuroscience*, 45(9), 1141-1151. <https://doi.org/10.1111/ejn.13545>
- Tosi, G., Maravita, A., & Romano, D. (2022). I am the metre : The representation of one's body size affects the perception of tactile distances on the body. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 75(4), 583-597. <https://doi.org/10.1177/17470218211044488>
- Tosi, G., Montesana, B., & Romano, D. (2023). The correlation between proprioceptive drift and subjective embodiment during the rubber hand illusion : A meta-analytic approach. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 17470218231156849. <https://doi.org/10.1177/17470218231156849>

- Tosi, G., Parmar, J., Dhillon, I., Maravita, A., & Iaria, G. (2020). Body illusion and affordances : The influence of body representation on a walking imagery task in virtual reality. *Experimental Brain Research*, 238(10), 2125-2136. <https://doi.org/10.1007/s00221-020-05874-z>
- Tsakiris, M. (2008). Looking for Myself : Current Multisensory Input Alters Self-Face Recognition. *PLOS ONE*, 3(12), e4040. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004040>
- Tsakiris, M., Carpenter, L., James, D., & Fotopoulou, A. (2010). Hands only illusion : Multisensory integration elicits sense of ownership for body parts but not for non-corporeal objects. *Experimental Brain Research*, 204(3), 343-352. <https://doi.org/10.1007/s00221-009-2039-3>
- Tsakiris, M., & Haggard, P. (2005a). Experimenting with the acting self. *Cognitive Neuropsychology*, 22(3-4), 387-407. <https://doi.org/10.1080/02643290442000158>
- Tsakiris, M., & Haggard, P. (2005b). The Rubber Hand Illusion Revisited : Visuotactile Integration and Self-Attribution. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(1), 80-91. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.31.1.80>
- Tsakiris, M., Haggard, P., Franck, N., Mainy, N., & Sirigu, A. (2005). A specific role for efferent information in self-recognition. *Cognition*, 96(3), 215-231. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2004.08.002>
- Tsakiris, M., Hesse, M. D., Boy, C., Haggard, P., & Fink, G. R. (2007). Neural signatures of body ownership : A sensory network for bodily self-consciousness. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 17(10), 2235-2244. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhl131>
- Tsakiris, M., Prabhu, G., & Haggard, P. (2006). Having a body versus moving your body : How agency structures body-ownership. *Consciousness and Cognition*, 15(2), 423-432. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2005.09.004>
- Tsakiris, M., Schütz-Bosbach, S., & Gallagher, S. (2007). On agency and body-ownership : Phenomenological and neurocognitive reflections. *Consciousness and Cognition*, 16(3), 645-660. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2007.05.012>
- Tsakiris, M., Tajadura-Jiménez, A., & Costantini, M. (2011). Just a heartbeat away from one's body : Interoceptive sensitivity predicts malleability of body-representations. *Proceedings. Biological Sciences*, 278(1717), 2470-2476. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.2547>
- Uhlmann, E. L., Leavitt, K., Menges, J. I., Koopman, J., Howe, M., & Johnson, R. E. (2012). Getting explicit about the implicit : A taxonomy of implicit measures and guide for their use in organizational research. *Organizational Research Methods*, 15(4), 553-601. <https://doi.org/10.1177/1094428112442750>
- Vagaja, K., Linkenkaer-Hansen, K., & Vourvopoulos, A. (2024). Avatar embodiment prior to motor imagery training in VR does not affect the induced event-related desynchronization : A pilot study. *Frontiers in Virtual Reality*, 4. <https://doi.org/10.3389/frvir.2023.1265010>
- Vahle, N. M., & Tomasik, M. J. (2022). Younger and Older Adults' Cognitive and Physical Functioning in a Virtual Reality Age Manipulation. *Frontiers in Aging*, 3. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fragi.2022.851687>
- Valins, S. (1966). Cognitive effects of false heart-rate feedback. *Journal of Personality and Social Psychology*, 4(4), 400-408. <https://doi.org/10.1037/h0023791>
- Vallar, G., & Ronchi, R. (2009). Somatoparaphrenia : A body delusion. A review of the neuropsychological literature. *Experimental Brain Research*, 192(3), 533-551. <https://doi.org/10.1007/s00221-008-1562-y>
- Van Der Heide, B., Schumaker, E. M., Peterson, A. M., & Jones, E. B. (2013). The Proteus Effect in Dyadic Communication : Examining the Effect of Avatar Appearance in Computer-Mediated

- Dyadic Interaction. *Communication Research*, 40(6), 838-860. <https://doi.org/10.1177/0093650212438097>
- van der Hoort, B., & Ehrsson, H. H. (2014). Body ownership affects visual perception of object size by rescaling the visual representation of external space. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 76(5), 1414-1428. <https://doi.org/10.3758/s13414-014-0664-9>
- van der Hoort, B., & Ehrsson, H. H. (2016). Illusions of having small or large invisible bodies influence visual perception of object size. *Scientific Reports*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/srep34530>
- van der Hoort, B., Guterstam, A., & Ehrsson, H. H. (2011). Being Barbie : The Size of One's Own Body Determines the Perceived Size of the World. *PLOS ONE*, 6(5), e20195. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020195>
- van der Waal, N., Janssen, L., Antheunis, M., & van der Laan, N. (2021). *Effects of avatar appearance on healthy eating intentions : European Health Psychology Society Conference (EHPS)*.
- Van Looy, J., Courtois, C., De Vocht, M., & De Marez, L. (2012). Player identification in online games : Validation of a scale for measuring identification in MMOGs. *Media Psychology*, 15, 197-221. <https://doi.org/10.1080/15213269.2012.674917>
- Verhulst, A., Normand, J.-M., Lombart, C., Sugimoto, M., & Moreau, G. (2018). Influence of Being Embodied in an Obese Virtual Body on Shopping Behavior and Products Perception in VR. *Frontiers in Robotics and AI*, 5. <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00113>
- Via, C. M. (2016). *The Proteus Effect and Gaming : The Impact of Digital Actors and Race in a Virtual Environment*. Embry-Riddle Aeronautical University.
- Vogel, F., Vahle, N. M., Gertheiss, J., & Tomasik, M. J. (2022). Supervised learning for analysing movement patterns in a virtual reality experiment. *Royal Society Open Science*, 9(4), 211594. <https://doi.org/10.1098/rsos.211594>
- Wagenmakers, E.-J., Love, J., Marsman, M., Jamil, T., Ly, A., Verhagen, J., Selker, R., Gronau, Q. F., Dropmann, D., Boutin, B., Meerhoff, F., Knight, P., Raj, A., van Kesteren, E.-J., van Doorn, J., Šmíra, M., Epskamp, S., Etz, A., Matzke, D., ... Morey, R. D. (2018). Bayesian inference for psychology. Part II : Example applications with JASP. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(1), 58-76. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1323-7>
- Walsh, L. D., Moseley, G. L., Taylor, J. L., & Gandevia, S. C. (2011). Proprioceptive signals contribute to the sense of body ownership. *The Journal of Physiology*, 589(Pt 12), 3009-3021. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.204941>
- Waltemate, T., Senna, I., Hülsmann, F., Rohde, M., Kopp, S., Ernst, M., & Botsch, M. (2016). The impact of latency on perceptual judgments and motor performance in closed-loop interaction in virtual reality. *Proceedings of the 22nd ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology*, 27-35. <https://doi.org/10.1145/2993369.2993381>
- Walther, J. B., & Lew, Z. (2022). Self-transformation online through alternative presentations of self : A review, critique, and call for research. *Annals of the International Communication Association*, 0(0), 1-24. <https://doi.org/10.1080/23808985.2022.2096662>
- Ward, J., Mensah, A., & Jünemann, K. (2015). The Rubber Hand Illusion Depends on the Tactile Congruency of the Observed and Felt Touch. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 41. <https://doi.org/10.1037/xhp0000088>
- Weidner, F., Boettcher, G., Arboleda, S. A., Diao, C., Sinani, L., Kunert, C., Gerhardt, C., Broll, W., & Raake, A. (2023). A Systematic Review on the Visualization of Avatars and Agents in AR & VR displayed using Head-Mounted Displays. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 1-11. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2023.3247072>

- Weingarten, E., Chen, Q., McAdams, M., Yi, J., Hepler, J., & Albarracín, D. (2016). From primed concepts to action : A meta-analysis of the behavioral effects of incidentally presented words. *Psychological Bulletin*, *142*(5), 472-497. <https://doi.org/10.1037/bul0000030>
- Wheeler, S. C., & DeMarree, K. G. (2009). Multiple Mechanisms of Prime-to-Behavior Effects. *Social and Personality Psychology Compass*, *3*(4), 566-581. <https://doi.org/10.1111/j.1751-9004.2009.00187.x>
- Wheeler, S. C., DeMarree, K. G., Morrison, K. R., & Petty, R. (2010). Self-Concept Consistency Fosters Resistance to Prime-Induced Attitude Shifts. *Advances in Consumer Research*, *37*, 170-173.
- Wheeler, S. C., DeMarree, K. G., & Petty, R. E. (2007). Understanding the Role of the Self in Prime-to-Behavior Effects : The Active-Self Account. *Personality and Social Psychology Review*, *11*(3), 234-261. <https://doi.org/10.1177/1088868307302223>
- Wheeler, S. C., Demarree, K., & Petty, R. (2014). Understanding Prime-to-Behavior Effects : Insights from the Active-Self Account. *Social Cognition*, *32*, 109-123. <https://doi.org/10.1521/soco.2014.32.sup.109>
- Wheeler, S. C., Morrison, K. R., DeMarree, K. G., & Petty, R. E. (2008). Does self-consciousness increase or decrease priming effects? It depends. *Journal of Experimental Social Psychology*, *44*(3), 882-889. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2007.09.002>
- Wheeler, S. C., & Petty, R. E. (2001). The effects of stereotype activation on behavior : A review of possible mechanisms. *Psychological Bulletin*, *127*(6), 797-826. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.127.6.797>
- Wiekens, C. J., & Stapel, D. A. (2008). The Mirror and I : When private opinions are in conflict with public norms. *Journal of Experimental Social Psychology*, *44*(4), 1160-1166. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2008.02.005>
- Witt, J. K., Linkenauger, S. A., Bakdash, J. Z., Augustyn, J. S., Cook, A. J., & Proffitt, D. R. (2009). The Long Road of Pain : Chronic Pain Increases Perceived Distance. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Experimentation cerebrale*, *192*(1), 145-148. <https://doi.org/10.1007/s00221-008-1594-3>
- Wu, H.-P., Nakul, E., Betka, S., Lance, F., Herbelin, B., & Blanke, O. (2023). Out-of-body illusion induced by visual-vestibular stimulation. *iScience*, 108547. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.108547>
- Wu, L., & Chen, K. B. (2022). Examining the Effects of Gender Transfer in Virtual Reality on Implicit Gender Bias. *Human Factors*, 00187208221145264. <https://doi.org/10.1177/00187208221145264>
- Wyer, N. A., Neilens, H., Perfect, T. J., & Mazzoni, G. (2011). Automatic and ironic behavior are both mediated by changes in the self-concept. *Journal of Experimental Social Psychology*, *47*(6), 1300-1303. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2011.05.008>
- Yadav, N., & Kang, J. (2022). The effects of partial proxy embodiment on the awareness of linear distance in omnidirectional treadmill enabled immersive virtual environment. *Computers in Human Behavior Reports*, *6*, 100203. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2022.100203>
- Yang, G. S., Gibson, B., Lueke, A. K., Huesmann, L. R., & Bushman, B. J. (2014). Effects of avatar race in violent video games on racial attitudes and aggression. *Social Psychological and Personality Science*, *5*(6), 698-704. <https://doi.org/10.1177/1948550614528008>
- Yee, N., & Bailenson, J. (2006). *Walk A Mile in Digital Shoes : The Impact of Embodied Perspective-Taking on The Reduction of Negative Stereotyping in Immersive Virtual Environments*.

- Yee, N., & Bailenson, J. (2007). The Proteus Effect : The Effect of Transformed Self-Representation on Behavior. *Human Communication Research*, 33(3), 271-290. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2958.2007.00299.x>
- Yee, N., & Bailenson, J. N. (2009). The Difference Between Being and Seeing : The Relative Contribution of Self-Perception and Priming to Behavioral Changes via Digital Self-Representation. *Media Psychology*, 12(2), 195-209. <https://doi.org/10.1080/15213260902849943>
- Yee, N., Bailenson, J. N., & Ducheneaut, N. (2009). The Proteus Effect : Implications of Transformed Digital Self-Representation on Online and Offline Behavior. *Communication Research*, 36(2), 285-312. <https://doi.org/10.1177/0093650208330254>
- Yoo, S.-C., Peña, J., & Drumwright, M. E. (2015). Virtual shopping and unconscious persuasion : The priming effects of avatar age and consumers' age discrimination on purchasing and prosocial behaviors. *Computers in Human Behavior*, 48, 62-71. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.01.042>
- Yoon, G., & Vargas, P. T. (2014). Know Thy Avatar : The Unintended Effect of Virtual-Self Representation on Behavior. *Psychological Science*, 25(4), 1043-1045. <https://doi.org/10.1177/0956797613519271>
- You, C., Peck, T. C., Stuart, J., Gomes De Siqueira, A., & Lok, B. (2024). *What My Bias Meant for My Embodiment : An Investigation on Virtual Embodiment in Desktop VR*.
- You, S. H., Jang, S. H., Kim, Y.-H., Hallett, M., Ahn, S. H., Kwon, Y.-H., Kim, J. H., & Lee, M. Y. (2005). Virtual reality-induced cortical reorganization and associated locomotor recovery in chronic stroke : An experimenter-blind randomized study. *Stroke*, 36(6), 1166-1171. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000162715.43417.91>
- Yuan, L. (2023). Regarding the Immersion of VR, What do We Need to do to Make it Better? *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 39.
- Yun, H., Ponton, J. L., Andujar, C., & Pelechano, N. (2023). *Animation Fidelity in Self-Avatars : Impact on User Performance and Sense of Agency*. <https://doi.org/10.1109/VR55154.2023.00044>
- Zbinden, J., Lendaro, E., & Ortiz-Catalan, M. (2022). Prosthetic embodiment : Systematic review on definitions, measures, and experimental paradigms. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 19(1), 37. <https://doi.org/10.1186/s12984-022-01006-6>
- Zhang, J., Li, S., Zhang, J.-Y., Du, F., Qi, Y., & Liu, X. (2020). A Literature Review of the Research on the Uncanny Valley. In P.-L. P. Rau (Éd.), *Cross-Cultural Design. User Experience of Products, Services, and Intelligent Environments* (p. 255-268). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49788-0_19
- Zhou, S., & Won, A. S. (2023). Actor–Observer Asymmetry in Virtual Reality. *Journal of Media Psychology*. <https://doi.org/10.1027/1864-1105/a000380>

<i>Annexe I : Tableau récapitulatif de l'utilisation des questionnaires</i>	278
<i>Annexe II : Questionnaire d'imagerie motrice (Loison et al., 2013)</i>	279
<i>Annexe III : Questionnaire d'incorporation – Version 1 (adapté de Gonzalez-Franco & Peck, 2018)</i>	281
<i>Annexe IV : Questionnaire d'incorporation – Version 2 (adapté de Gonzalez-Franco & Peck, 2018)</i>	283
<i>Annexe V : Questionnaire d'incorporation – Version 3 (adapté de Roth & Latoschik, 2020)</i>	286
<i>Annexe VI : Questionnaire d'identification à l'avatar – Version française (adapté de Van Looy et al., 2012)</i>	288
<i>Annexe VII : Questionnaire d'identification à l'avatar - Version anglaise (adapté de Van Looy et al., 2012)</i>	289
<i>Annexe VIII : Questionnaire de perception de soi relative à l'âge – Version 1</i>	290
<i>Annexe IX : Questionnaire de perception de soi relative à l'âge – Version 2</i>	295
<i>Annexe X : Inventaire des croyances générales concernant le fonctionnement physique selon l'âge – Version 1 (adapté de Lineweaver et al., 2017)</i>	297
<i>Annexe XI : Inventaire des croyances générales concernant le fonctionnement physique selon l'âge - Version 2 – Version française (adapté de Lineweaver et al., 2017)</i>	302
<i>Annexe XII : Inventaire des croyances générales concernant le fonctionnement physique selon l'âge - Version 2 - Version anglaise (adapté de Lineweaver et al., 2017)</i>	310
<i>Annexe XIII : Inventaire des croyances générales concernant le fonctionnement physique selon la morphologie (adapté de Lineweaver et al., 2017)</i>	318
<i>Annexe XIV : Inventaire des croyances générales concernant le fonctionnement mnésique selon l'âge (adapté de Lineweaver & Hertzog, 1998)</i>	324

<i>Annexe XV : Exemple de notice d'information et de formulaire de consentement – Etude 4bis</i>	<i>328</i>
<i>Annexe XVI : Compte-rendu de l'expérience à destination des participantes – Etudes 4 et 4 bis</i>	<i>331</i>
<i>Annexe XVII : Compte-rendu des objectifs de l'expérience à destination des participantes - Etude 5 – Exemple version française</i>	<i>333</i>
<i>Annexe XIX : Matériel supplémentaire – Etude 2</i>	<i>334</i>
<i>Annexe XVIII : Matériel supplémentaire – Etude 3</i>	<i>335</i>
<i>Annexe XX : Matériel supplémentaire – Etudes 4 et 4bis</i>	<i>338</i>
<i>Annexe XXI : Matériel supplémentaire – Etude 5</i>	<i>344</i>

Note. L'ensemble des questionnaires utilisés dans les six études de ce travail de thèse est présenté dans les Annexes II à XIV. Le tableau en Annexe I présente le récapitulatif des questionnaires utilisés dans les études. Afin de ne présenter qu'une fois chaque questionnaire, ces derniers ont été retirés du matériel supplémentaire des études publiées. Ce matériel supplémentaire, présenté dans les Annexes XIX à XXI, n'inclut donc que les éléments spécifiques de chaque étude (e.g., qualités psychométriques, statistiques descriptives).

Annexe I : Tableau récapitulatif de l'utilisation des questionnaires

	Etude 1	Etude 2	Etude 3	Etude 4	Etude 4bis	Etude 5
<i>Questionnaire d'imagerie motrice (Loison et al., 2013)</i>	X	X	X	X	X	
<i>Questionnaire d'incorporation – Version 1 (adapté de Gonzalez-Franco & Peck, 2018)</i>	X					
<i>Questionnaire d'incorporation – Version 2 (adapté de Gonzalez-Franco & Peck, 2018)</i>		X				
<i>Questionnaire d'incorporation – Version 3 (adapté de Roth & Latoschik, 2020)</i>			X	X	X	
<i>Questionnaire d'identification à l'avatar – Version française (adapté de Van Looy et al., 2012)</i>						X
<i>Questionnaire d'identification à l'avatar – Version anglaise (adapté de Van Looy et al., 2012)</i>						X
<i>Questionnaire de perception de soi relative à l'âge – Version 1</i>				X		
<i>Questionnaire de perception de soi relative à l'âge – Version 2</i>			X		X	
<i>Inventaire des croyances générales concernant le fonctionnement physique selon l'âge – Version 1 (adapté de Lineweaver et al., 2017)</i>	X					
<i>Inventaire des croyances générales concernant le fonctionnement physique selon l'âge - Version 2 – Version française (adapté de Lineweaver et al., 2017)</i>				X	X	X
<i>Inventaire des croyances générales concernant le fonctionnement physique selon l'âge - Version 2 – Version anglaise (adapté de Lineweaver et al., 2017)</i>						X
<i>Inventaire des croyances générales concernant le fonctionnement physique selon la morphologie (adapté de Lineweaver et al., 2017)</i>		X				
<i>Inventaire des croyances générales concernant le fonctionnement mnésique selon l'âge (adapté de Lineweaver & Hertzog, 1998)</i>			X			

Annexe II : Questionnaire d'imagerie motrice (Loison et al., 2013)

Questionnaire d'imagerie motrice

Ce questionnaire envisage une certaine façon de se représenter mentalement les mouvements, qui est utilisée par certaines personnes plus que d'autres et qui est plus applicable à certains types de mouvements qu'à d'autres. Cette méthode consiste à **sentir** la représentation d'un mouvement sans réellement l'effectuer. Il ne s'agit pas de se voir réaliser le mouvement, mais bien de se **sentir faire le mouvement**, de le vivre pleinement, de ressentir les mouvements, les forces, les poids etc. comme si vous les faisiez réellement.

Dans ce questionnaire, il vous est demandé de réaliser cette tâche mentalement pour une variété de mouvements et ensuite d'apprécier combien vous trouverez cette tâche facile ou difficile. Les estimations que vous donnez ne sont pas conçues pour évaluer la bonne ou mauvaise qualité de la façon dont vous exécutez ces tâches mentales. Elles visent à mettre en évidence la capacité que les participants manifestent pour se représenter la tâche dans des mouvements différents. Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises estimations ou d'estimations meilleures que d'autres.

Chacun des énoncés suivants décrit une action ou un mouvement particulier. Pour chaque énoncé :

- Lisez l'énoncé attentivement
- Mettez-vous dans la position de départ.
- Exécutez ce mouvement tel qu'il est décrit. Exécutez ce mouvement une seule fois.
- Revenez à la position de départ du mouvement comme si vous alliez exécuter l'action une deuxième fois.
- Ensuite, essayez de vous sentir en train de réaliser le mouvement que vous venez d'exécuter, mais sans réellement le faire.

Après avoir accompli la tâche mentale exigée, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous avez été capable de l'effectuer. Portez votre estimation sur l'échelle en inscrivant une croix dans la case correspondante. Soyez aussi exact que possible et prenez le temps qu'il vous est nécessaire pour arriver à l'estimation adéquate pour chaque mouvement.

1. Position de départ : Debout, pieds joints, bras le long du corps.

Action : Montez votre genou aussi haut que possible en vous tenant sur une jambe. Le genou de la jambe levée doit être maintenu fléchi. Maintenant abaissez votre jambe jusqu'à ce que vous vous retrouviez en position pieds joints. Exécutez ces actions lentement.

Tâche Mentale : Prenez la position de départ. Essayez de vous sentir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter sans le faire réellement. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

Très difficile à sentir	Difficile à sentir	Assez difficile à sentir	Neutre (ni facile ni difficile)	Assez facile à sentir	Facile à sentir	Très facile à sentir

2. Position de départ : Debout, élevez latéralement (sur le côté) votre bras afin qu'il soit parallèle au sol, la paume vers le bas. Gardez celui-ci tendu, main ouverte.

Action : Déplacez votre bras parallèlement au sol jusqu'à ce qu'il soit directement devant vous. Gardez votre bras tendu pendant le mouvement et faites le mouvement lentement.

Tâche Mentale : Prenez la position de départ. Essayez de vous sentir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter sans le faire réellement. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

Très difficile à sentir	Difficile à sentir	Assez difficile à sentir	Neutre (ni facile ni difficile)	Assez facile à sentir	Facile à sentir	Très facile à sentir

3. Position de départ : Assis, mettez votre main sur votre genou. Imaginez que vous voyez un verre d'eau sur une table juste devant vous.

Action : Inclinez-vous vers l'avant, saisissez le verre et soulevez-le légèrement au-dessus de la table. Maintenant reposez-le sur la table et remettez votre main sur le genou.

Tâche Mentale : Prenez la position de départ. Essayez de vous sentir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter sans le faire réellement. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

Très difficile à sentir	Difficile à sentir	Assez difficile à sentir	Neutre (ni facile ni difficile)	Assez facile à sentir	Facile à sentir	Très facile à sentir

4. Position de départ : Debout, votre main est le long du corps. Imaginez qu'il y a devant vous une porte fermée.

Action : Inclinez-vous vers l'avant et tendez le bras en avant, saisissez la poignée. Tirez celle-ci pour ouvrir la porte. Fermez maintenant doucement la porte, lâchez la poignée et ramenez votre main le long du corps.

Tâche Mentale : Prenez la position de départ. Essayez de vous sentir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter sans le faire réellement. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

Très difficile à sentir	Difficile à sentir	Assez difficile à sentir	Neutre (ni facile ni difficile)	Assez facile à sentir	Facile à sentir	Très facile à sentir

5. Position de départ : Assis, mettez votre poing fermé sur votre genou.

Action : Déplacez votre bras au-dessus de votre tête. Gardez votre bras tendu pendant le mouvement et le poing fermé. Ensuite baissez votre bras jusqu'à votre genou en maintenant le bras tendu et le poing fermé.

Tâche Mentale : Prenez la position de départ. Essayez de vous sentir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter sans le faire réellement. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

Très difficile à sentir	Difficile à sentir	Assez difficile à sentir	Neutre (ni facile ni difficile)	Assez facile à sentir	Facile à sentir	Très facile à sentir

6. Position de départ : Debout, pieds légèrement écartés, et vos bras complètement étendus au-dessus de votre tête.

Action : Lentement, fléchissez le haut du corps vers l'avant au niveau de la taille et essayez de toucher vos orteils avec le bout de vos doigts (ou si possible, touchez le sol avec le bout de vos doigts ou vos mains). Maintenant revenez à la position de départ en vous redressant avec les bras tendus au-dessus de votre tête.

Tâche Mentale : Prenez la position de départ. Essayez de vous sentir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter sans le faire réellement. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

Très difficile à sentir	Difficile à sentir	Assez difficile à sentir	Neutre (ni facile ni difficile)	Assez facile à sentir	Facile à sentir	Très facile à sentir

7. Position de départ : Debout, mettez votre main devant vous à hauteur d'épaule comme si vous alliez pousser pour ouvrir une porte battante. Paume dirigée vers l'avant et vos doigts doivent être dirigés vers le haut.

Action : Étendez votre bras complètement comme si vous alliez pousser pour ouvrir la porte. Gardez vos doigts pointés vers le haut. Maintenant laissez la porte battante se refermer en ramenant votre bras et votre main vers vous en position de départ.

Tâche Mentale : Prenez la position de départ. Essayez de vous sentir en train de faire le mouvement que vous venez d'exécuter sans le faire réellement. Maintenant, estimez la facilité ou la difficulté avec laquelle vous étiez capable de faire cette tâche mentale.

Très difficile à sentir	Difficile à sentir	Assez difficile à sentir	Neutre (ni facile ni difficile)	Assez facile à sentir	Facile à sentir	Très facile à sentir

Annexe III : Questionnaire d'incorporation – Version 1 (adapté de Gonzalez-Franco & Peck, 2018)

Questionnaire d'appropriation corporelle

CONSIGNES. Durant l'expérience, vous perceviez un avatar dans le miroir juste en face de vous, et un autre qui était assis à côté. Nous vous demandons de remplir ce questionnaire en pensant à l'avatar qui était dans le miroir juste en face de vous, et dont les bras pouvaient bouger.

Durant l'expérience il y avait des moments dans lesquels...

Q1 : C'était comme si je pouvais contrôler le corps de l'avatar comme si c'était le mien.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Q2 : C'était comme si j'avais plus d'un corps.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Q3 : C'était comme si le corps de l'avatar que je voyais en me regardant dans le miroir était celui d'une autre personne.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Q4 : C'était comme si mon corps commençait à prendre la posture ou la forme du corps de l'avatar que je voyais.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Q5 : C'était comme si corps de l'avatar bougeait par lui-même.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Q6 : C'était comme si le corps de l'avatar commençait à ressembler à mon propre corps, en termes de formes ou d'autres caractéristiques visuelles.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Q7 : Les mouvements du corps de l'avatar semblaient être causés par mes propres mouvements.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Q8 : C'était comme si les mouvements du corps de l'avatar influençaient mes propres mouvements.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Q9 : C'était comme si le corps de l'avatar que je voyais dans le miroir était mon propre corps.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Q10 : C'était comme si je portais des vêtements différents de ceux que je portais quand je suis entrée dans le box.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Q11 : C'était comme si mon corps se transformait en celui de l'avatar.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Q12 : C'était comme si le corps de l'avatar que je voyais était celui de quelqu'un d'autre.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Q13 : C'était comme si le corps de l'avatar que je voyais était mon propre corps.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Annexe IV : Questionnaire d'incorporation – Version 2 (adapté de Gonzalez-Franco & Peck, 2018)

Questionnaire d'appropriation corporelle

Consignes: durant l'expérience, vous perceviez un avatar dans le miroir juste en face de vous, et un autre qui était assis à côté. Nous vous demandons de remplir ce questionnaire en pensant à l'avatar qui était dans le miroir juste en face de vous, et dont les bras pouvaient bouger.

Durant l'expérience il y avait des moments dans lesquels...

Q1 : C'était comme si je pouvais contrôler le corps de l'avatar comme si c'était le mien.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Q2 : C'était comme si j'avais plus d'un corps.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Q3 : C'était comme si le corps virtuel que je voyais en me regardant dans le miroir était celui d'une autre personne.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Q4 : C'était comme si mon corps commençait à prendre la posture ou la forme du corps virtuel que je vois.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Q5 : C'était comme si corps de l'avatar bougeait par lui-même.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Q6 : C'était comme si le corps de l'avatar commençait à ressembler à mon propre corps, en termes de formes ou d'autres caractéristiques visuelles.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Q7 : Les mouvements du corps de l'avatar semblaient être causés par mes propres mouvements.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Q8 : C'était comme si les mouvements du corps de l'avatar influençaient mes propres mouvements.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Q9 : C'était comme si le corps virtuel que je voyais dans le miroir était mon propre corps.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Q10 : C'était comme si je portais des vêtements différents de ceux que je portais quand je suis entrée dans le box.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Q11 : C'était comme si mon corps se transformait en celui d'un avatar.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Q12 : C'était comme si le corps virtuel que je voyais était celui de quelqu'un d'autre.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Q13 : C'était comme si le corps virtuel que je voyais était mon propre corps.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Q14 : C'était comme si mon corps se trouvait là où je voyais le corps virtuel.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Q15 : C'était comme si j'étais hors de mon corps.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Pas vraiment d'accord	Ni d'accord ni en désaccord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Annexe V : Questionnaire d'incorporation – Version 3 (adapté de Roth & Latoschik, 2020)

Questionnaire d'incorporation

Consignes : Veuillez lire chaque affirmation et répondre sur une échelle de 1 à 7 en indiquant dans quelle mesure chaque affirmation s'est appliquée à vous pendant l'expérience. Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses. Veuillez répondre de manière spontanée et intuitive.

1 : J'avais l'impression de contrôler les mouvements du corps virtuel.

1	2	3	4	5	6	7
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Plutôt pas d'accord	Ni d'accord ni pas d'accord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

2 : J'avais l'impression d'être à l'intérieur du corps virtuel.

1	2	3	4	5	6	7
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Plutôt pas d'accord	Ni d'accord ni pas d'accord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

3 : J'avais l'impression que les membres du corps virtuel étaient mes membres corporels.

1	2	3	4	5	6	7
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Plutôt pas d'accord	Ni d'accord ni pas d'accord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

4 : J'avais l'impression que le corps virtuel était mon corps.

1	2	3	4	5	6	7
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Plutôt pas d'accord	Ni d'accord ni pas d'accord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

5 : J'avais l'impression que le corps virtuel m'appartenait.

1	2	3	4	5	6	7
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Plutôt pas d'accord	Ni d'accord ni pas d'accord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

6 : J'avais l'impression de provoquer les mouvements du corps virtuel.

1	2	3	4	5	6	7
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Plutôt pas d'accord	Ni d'accord ni pas d'accord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

7 : J'avais l'impression d'être assise au même endroit que le corps virtuel.

1	2	3	4	5	6	7
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Plutôt pas d'accord	Ni d'accord ni pas d'accord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

8 : Le corps virtuel donnait l'impression d'être un corps humain.

1	2	3	4	5	6	7
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Plutôt pas d'accord	Ni d'accord ni pas d'accord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

9 : Les mouvements du corps virtuels étaient synchronisés avec mes propres mouvements.

1	2	3	4	5	6	7
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Plutôt pas d'accord	Ni d'accord ni pas d'accord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

10 : Les mouvements du corps virtuel donnaient l'impression d'être mes mouvements.

1	2	3	4	5	6	7
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Plutôt pas d'accord	Ni d'accord ni pas d'accord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

11 : J'avais l'impression que mon corps se trouvait là où je voyais le corps virtuel.

1	2	3	4	5	6	7
Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Plutôt pas d'accord	Ni d'accord ni pas d'accord	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord

Annexe VI : Questionnaire d'identification à l'avatar – Version française (adapté de Van Looy et al., 2012)

Questionnaire d'identification à l'avatar

- Quand j'explorais la pièce virtuelle, j'avais l'impression d'être l'avatar.
- J'avais l'impression d'être à l'intérieur de l'avatar quand j'explorais la pièce virtuelle.
- Pendant l'exploration, j'avais l'impression de ne faire qu'un avec l'avatar.
- Quand j'explorais la pièce virtuelle, j'étais transportée dans mon avatar.
- Quand j'explorais la pièce virtuelle, j'avais l'impression que le corps de l'avatar devenait le mien.
- Pendant l'exploration, c'est comme si j'agissais directement à travers l'avatar.

Echelle de Likert en 5 points :

Pas du tout d'accord, Pas d'accord, Ni d'accord ni pas d'accord, D'accord, Tout à fait d'accord

Annexe VII : Questionnaire d'identification à l'avatar - Version anglaise (adapté de Van Looy et al., 2012)

Identification with the avatar scale

- When I explored, it felt as if I was my avatar.
- I felt like I was inside my avatar when exploring.
- During exploration, it was as if I became one with my avatar.
- When I explored, I was transported into my avatar.
- When I explored, it felt as if my avatar's body became my own.
- During exploration, it was as if I acted directly through my avatar.

5-point Likert scale :

Strongly disagree, Disagree, Neither agree nor disagree, Agree, Strongly agree

Annexe VIII : Questionnaire de perception de soi relative à l'âge – Version 1

Questionnaire d'auto-perception

Consignes : Veuillez lire chaque affirmation et indiquer dans quelle mesure elle correspond à la manière dont vous vous percevez ; 0 indique que l'affirmation ne correspond pas du tout à ce que vous pensez de vous et 6 indique que l'affirmation correspond tout à fait à ce que vous pensez de vous. Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses. Veuillez répondre de manière spontanée et **la plus honnête possible**.

1 : Je suis une personne **gourmande**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

2 : Je suis une personne **peu séduisante**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

3 : Je suis une personne **qui s'ennuie**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

4 : Je suis une personne **sensible**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

5 : Je suis une personne **romantique**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

6 : Je suis une personne **affectueuse**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

7 : Je suis une personne **seule, isolée**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

8 : Je suis une personne **bienveillante**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

9 : Je suis une personne *rieuse*.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

10 : Je suis une personne *vieux-jeu*.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

11 : Je suis une personne *qui trouve difficile de changer*.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

12 : Je suis une personne *grande*.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

13 : Je suis une personne *drôle*.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

14 : Je suis une personne *qui connaît beaucoup de choses*.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

15 : Je suis une personne *chanceuse*.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

16 : Je suis une personne *amusante*.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

17 : Je suis une personne *qui a des préjugés*.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

18 : Je suis une personne *figée dans ses habitudes*.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

19 : Je suis une personne honnête.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

20 : Je suis une personne sexuellement inactive.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

21 : Je suis une personne contente.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

22 : Je suis une personne étourdie, qui oublie facilement.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

23 : Je suis une personne farceuse.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

24 : Je suis une personne qui raconte des histoires du passé.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

25 : Je suis une personne malade.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

26 : Je suis une personne lente à se déplacer.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

27 : Je suis mauvaise conductrice.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

28 : Je suis une personne qui accepte et qui fait face à la vie.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

29 : Je suis une personne **malchanceuse**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

30 : Je suis une personne **méfiante vis-à-vis des étrangers**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

31 : Je suis une personne **astucieuse**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

32 : Je suis une personne **chaleureuse**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

33 : Je suis une personne **caractérielle**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

34 : Je suis une personne **sage**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

35 : Je suis une personne **persévérante**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

36 : Je suis une personne **ordinaire**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

37 : Je suis une personne **perspicace**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

38 : Je suis une personne **méchante**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

39 : Je suis une personne intéressante.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

40 : Je suis une personne qui a une mauvaise posture.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

41 : Je suis une personne qui vit dans le passé.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

42 : Je suis une personne respectueuse.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

Annexe IX : Questionnaire de perception de soi relative à l'âge – Version 2

Questionnaire d'auto-perception

Consignes : Veuillez lire chaque affirmation et indiquer dans quelle mesure elle correspond à la manière dont vous vous percevez ; 0 indique que l'affirmation ne correspond pas du tout à ce que vous pensez de vous et 6 indique que l'affirmation correspond tout à fait à ce que vous pensez de vous. Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses. Veuillez répondre de manière spontanée et **la plus honnête possible**.

1 : Je suis une personne **malade**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

2 : Je suis une personne **farceuse**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

3 : Je suis une personne **étourdie, qui oublie facilement**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

4 : Je suis une personne **bienveillante**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

5 : Je suis une personne **lente à se déplacer**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

6 : Je suis une personne **vieux-jeu**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

7 : Je suis une personne **contente**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

8 : Je suis une personne **figée dans ses habitudes**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

9 : Je suis une personne **amusante**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

10 : Je suis une personne **qui vit dans le passé**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

11 : Je suis une personne **peu séduisante**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

12 : Je suis une personne **gourmande**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

13 : Je suis une personne **ordinaire**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

14 : Je suis une personne **respectueuse**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

15 : Je suis une personne **seule, isolée**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

16 : Je suis une personne **astucieuse**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

17 : Je suis une personne **perspicace**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

18 : Je suis une personne **qui raconte des histoires du passé**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

19 : Je suis une personne **romantique**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

20 : Je suis une personne **méfiant vis-à-vis des étrangers**.

0	1	2	3	4	5	6
Pas du tout moi						Tout à fait moi

Annexe X : Inventaire des croyances générales concernant le fonctionnement physique selon l'âge – Version 1 (adapté de Lineweaver et al., 2017)

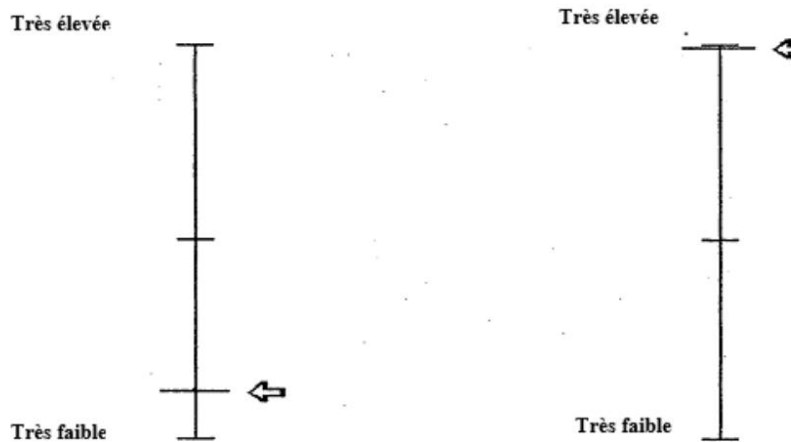
Inventaire des croyances générales sur le fonctionnement physique

Ce questionnaire porte sur votre opinion de la qualité des capacités physiques à différents âges. Pour chacune des propositions, nous vous demandons d'imaginer un individu typique de la population générale. Vous n'avez qu'à mettre un trait sur l'échelle de réponse (présentée dans l'exemple ci-dessous), qui correspond à votre propre opinion sur la qualité des capacités physiques de cet individu à différents âges.

Cet exemple vise juste à vous indiquer comment répondre, et non où vous devez répondre. Vous êtes libre de mettre votre marque n'importe où sur l'échelle en fonction de votre sentiment.

EXEMPLE

Votre opinion sur l'endurance d'un individu typique de la population générale



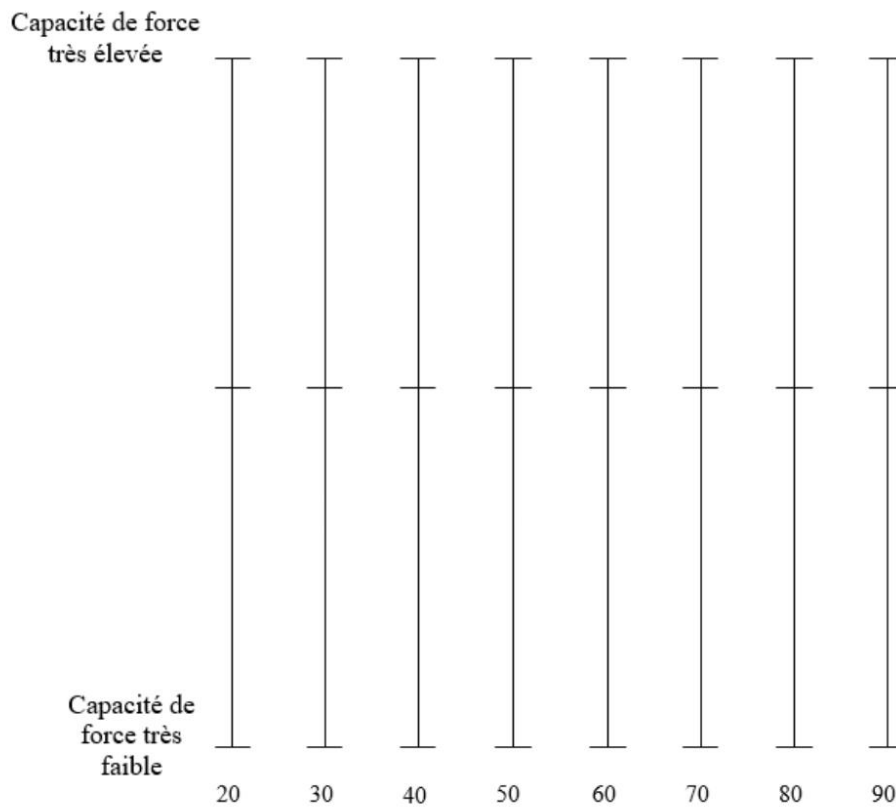
Sur l'échelle de droite, si quelqu'un place la marque à l'endroit indiqué comme exemple par la flèche, cela signifie qu'il pense que la capacité d'endurance de l'individu est très élevée.

Sur l'échelle de gauche, si quelqu'un place une marque à l'endroit indiqué, cela signifie qu'il pense que cette capacité est plutôt faible, sans être très faible.

Imaginez un adulte typique de la population générale

Indiquez comment est, d'après vous, la force physique d'un adulte typique à 20 ans, 30 ans, 40 ans, 50 ans, 60 ans, 70 ans, 80 ans, et 90 ans.

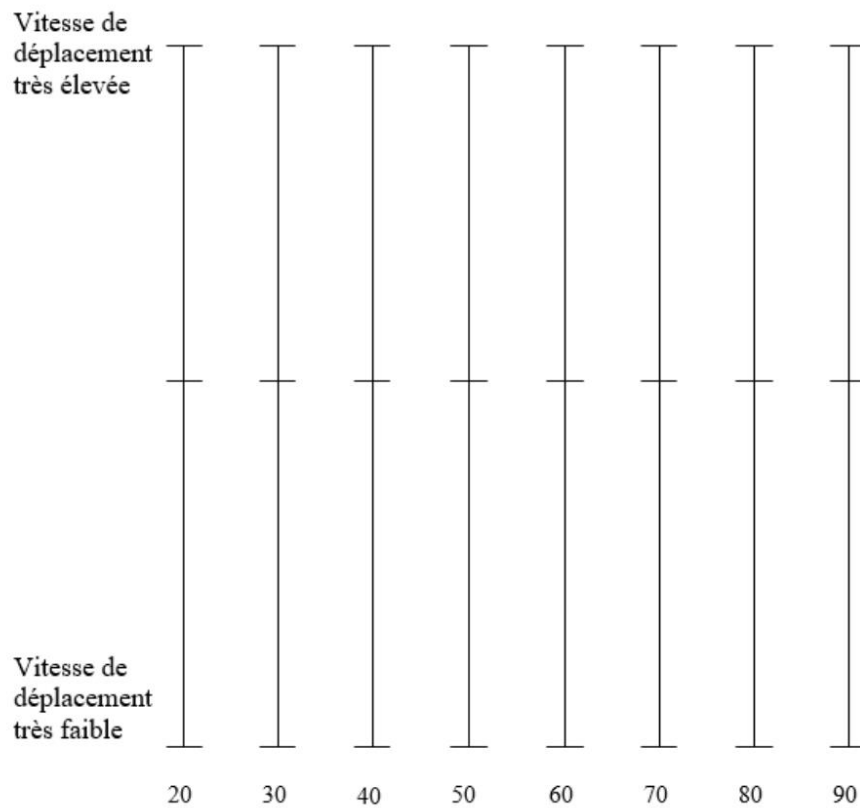
Répondez en mettant une marque sur la ligne verticale à l'endroit qui représente le mieux, selon vous, la capacité de force de cet adulte pour chacun des âges ci-dessous, entre « très faible » et « très élevée ».



Imaginez un adulte typique de la population générale

Indiquez comment est, d'après vous, la vitesse de déplacement d'un adulte typique à 20 ans, 30 ans, 40 ans, 50 ans, 60 ans, 70 ans, 80 ans, et 90 ans.

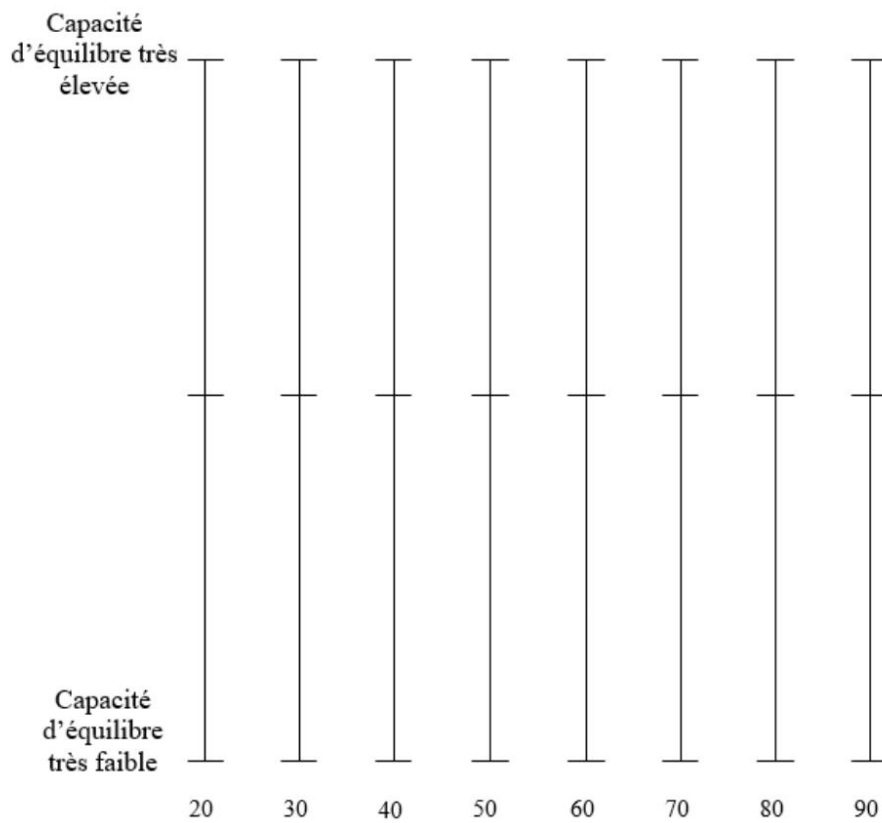
Répondez en mettant une marque sur la ligne verticale à l'endroit qui représente le mieux, selon vous, la vitesse de déplacement de cet adulte pour chacun des âges ci-dessous, entre « très faible » et « très élevée ».



Imaginez un adulte typique de la population générale

Indiquez comment est, d'après vous, l'équilibre d'un adulte typique à 20 ans, 30 ans, 40 ans, 50 ans, 60 ans, 70 ans, 80 ans, et 90 ans.

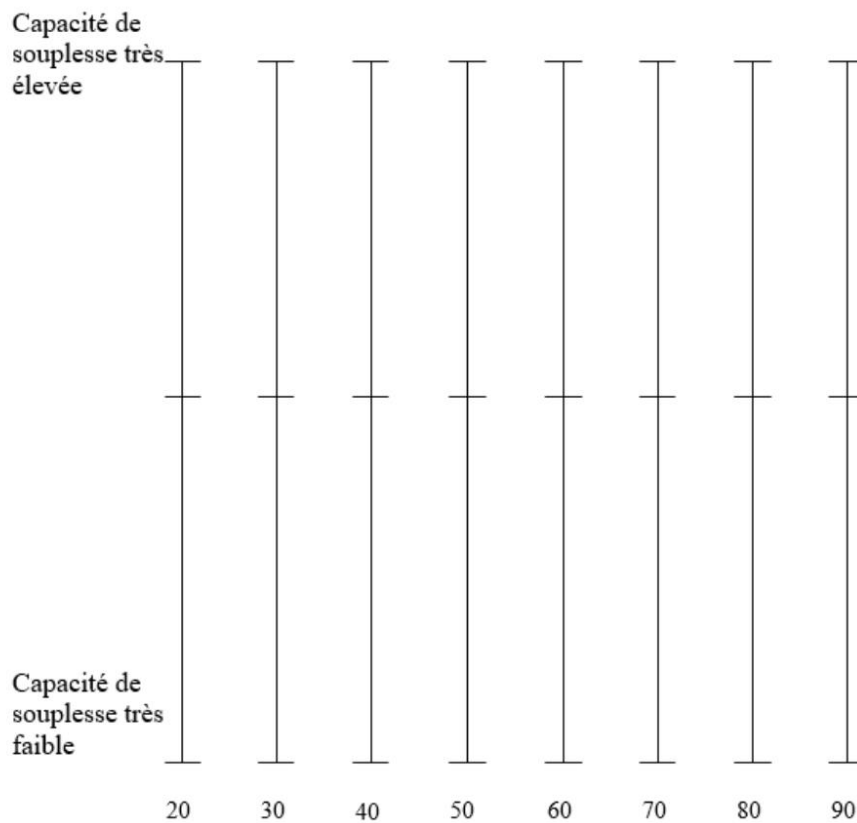
Répondez en mettant une marque sur la ligne verticale à l'endroit qui représente le mieux, selon vous, la capacité d'équilibre de cet adulte pour chacun des âges ci-dessous, entre « très faible » et « très élevée ».



Imaginez un adulte typique de la population générale

Indiquez comment est, d'après vous, la souplesse d'un adulte typique à 20 ans, 30 ans, 40 ans, 50 ans, 60 ans, 70 ans, 80 ans, et 90 ans.

Répondez en mettant une marque sur la ligne verticale à l'endroit qui représente le mieux, selon vous, la capacité de souplesse de cet adulte pour chacun des âges ci-dessous, entre « très faible » et « très élevée ».



Annexe XI : Inventaire des croyances générales concernant le fonctionnement physique selon l'âge - Version 2 – Version française (adapté de Lineweaver et al., 2017)

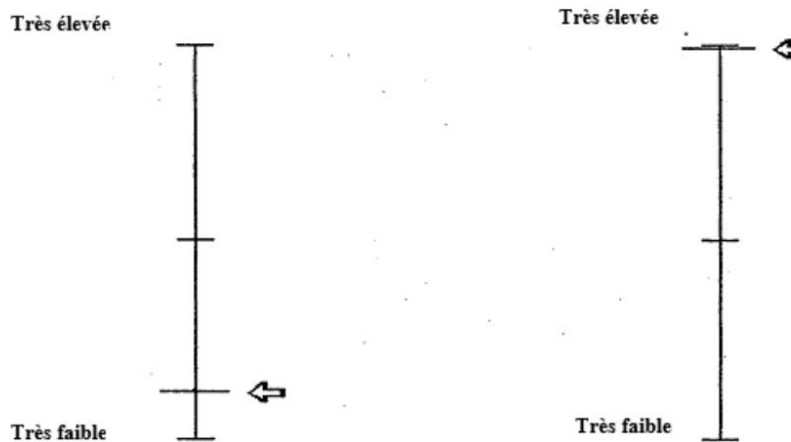
Inventaire des croyances générales sur le fonctionnement physique

Ce questionnaire porte sur votre opinion de la qualité des capacités physiques à différents âges. Pour chacune des propositions, nous vous demandons d'imaginer un individu typique de la population générale. Vous n'avez qu'à mettre un trait sur l'échelle de réponse (présentée dans l'exemple ci-dessous), qui correspond à votre propre opinion sur la qualité des capacités physiques de cet individu à différents âges.

Cet exemple vise juste à vous indiquer comment répondre, et non où vous devez répondre. Vous êtes libre de mettre votre marque n'importe où sur l'échelle en fonction de votre sentiment.

EXEMPLE

Votre opinion sur l'endurance d'un individu typique de la population générale



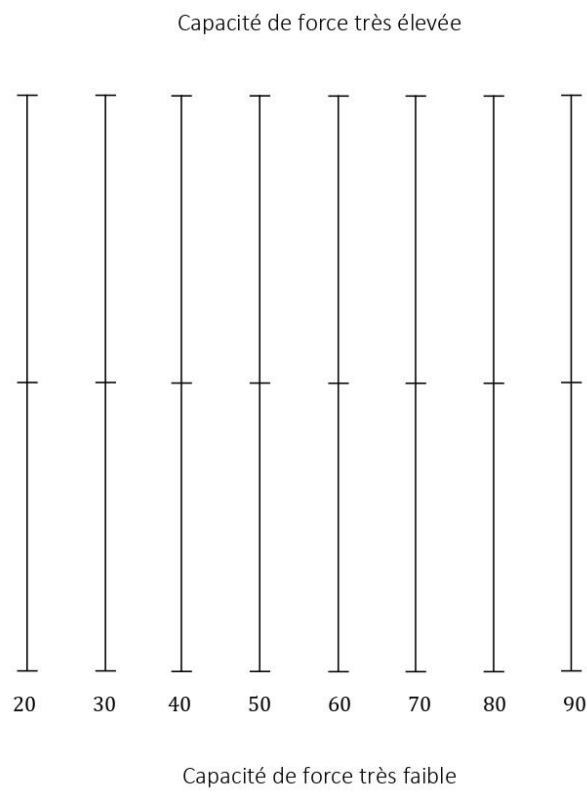
Sur l'échelle de gauche, si quelqu'un place une marque à l'endroit indiqué, cela signifie qu'il pense que cette capacité est plutôt faible, sans être très faible.

Sur l'échelle de droite, si quelqu'un place la marque à l'endroit indiqué comme exemple par la flèche, cela signifie qu'il pense que la capacité d'endurance de l'individu est très élevée.

Imaginez un adulte typique de la population générale

Indiquez comment est, d'après vous, la force physique d'un adulte typique à 20 ans, 30 ans, 40 ans, 50 ans, 60 ans, 70 ans, 80 ans, et 90 ans.

Répondez en mettant une marque sur la ligne verticale à l'endroit qui représente le mieux, selon vous, la capacité de force de cet adulte pour chacun des âges ci-dessous, entre « très faible » et « très élevée ».

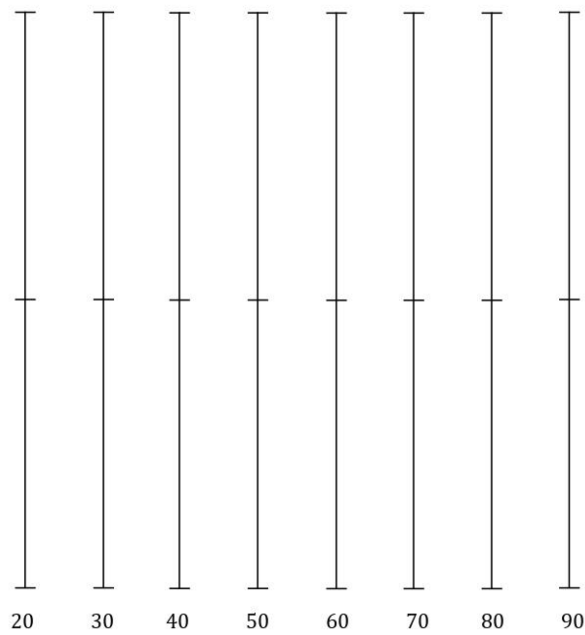


Imaginez un adulte typique de la population générale

Indiquez comment est, d'après vous, la vitesse de déplacement d'un adulte typique à 20 ans, 30 ans, 40 ans, 50 ans, 60 ans, 70 ans, 80 ans, et 90 ans.

Répondez en mettant une marque sur la ligne verticale à l'endroit qui représente le mieux, selon vous, la vitesse de déplacement de cet adulte pour chacun des âges ci-dessous, entre « très faible » et « très élevée ».

Vitesse de déplacement très élevée

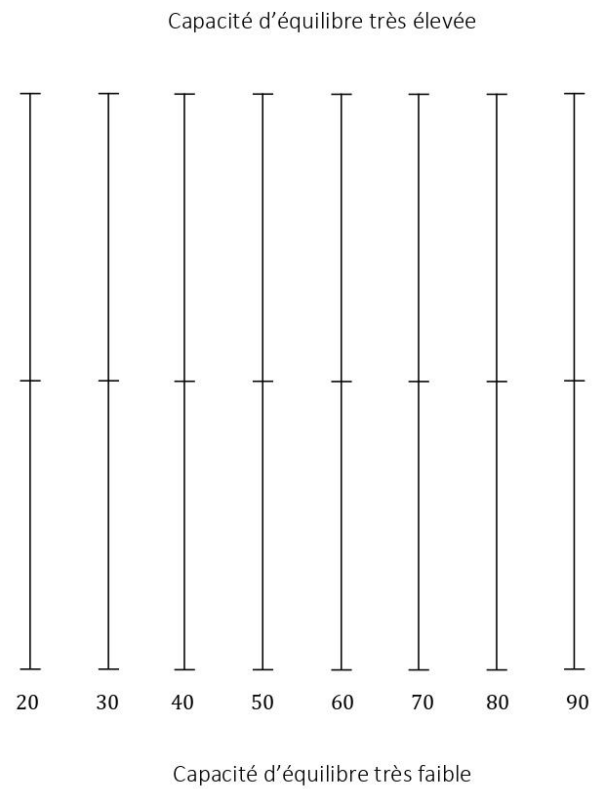


Vitesse de déplacement très faible

Imaginez un adulte typique de la population générale

Indiquez comment est, d'après vous, l'équilibre d'un adulte typique à 20 ans, 30 ans, 40 ans, 50 ans, 60 ans, 70 ans, 80 ans, et 90 ans.

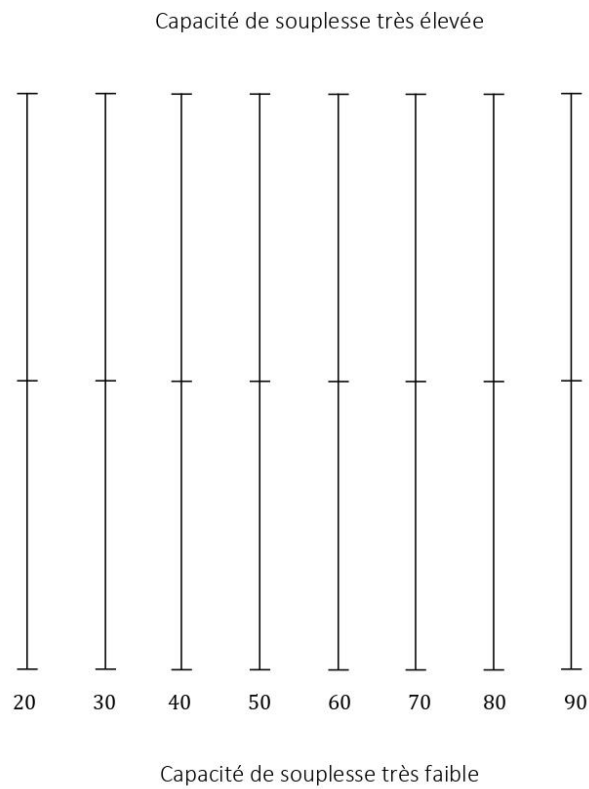
Répondez en mettant une marque sur la ligne verticale à l'endroit qui représente le mieux, selon vous, la capacité d'équilibre de cet adulte pour chacun des âges ci-dessous, entre « très faible » et « très élevée ».



Imaginez un adulte typique de la population générale

Indiquez comment est, d'après vous, la souplesse d'un adulte typique à 20 ans, 30 ans, 40 ans, 50 ans, 60 ans, 70 ans, 80 ans, et 90 ans.

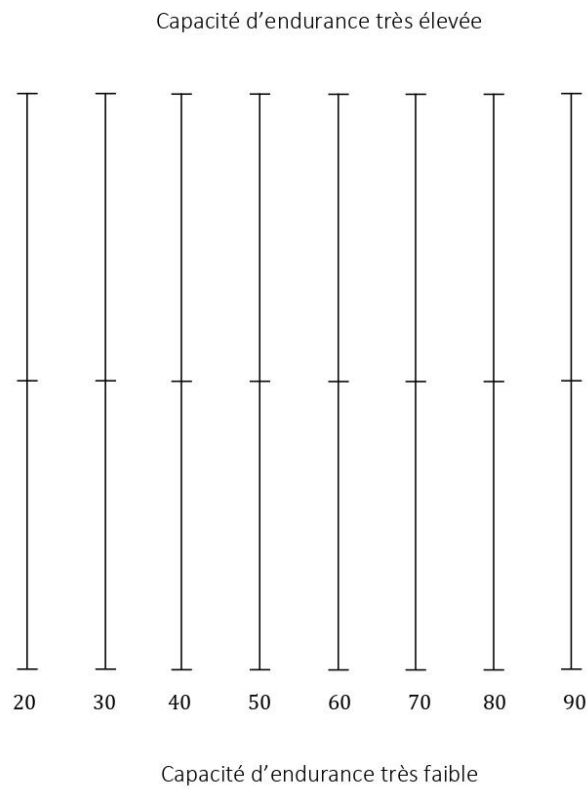
Répondez en mettant une marque sur la ligne verticale à l'endroit qui représente le mieux, selon vous, la capacité de souplesse de cet adulte pour chacun des âges ci-dessous, entre « très faible » et « très élevée ».



Imaginez un adulte typique de la population générale

Indiquez comment est, d'après vous, l'endurance d'un adulte typique à 20 ans, 30 ans, 40 ans, 50 ans, 60 ans, 70 ans, 80 ans, et 90 ans.

Répondez en mettant une marque sur la ligne verticale à l'endroit qui représente le mieux, selon vous, la capacité d'endurance de cet adulte pour chacun des âges ci-dessous, entre « très faible » et « très élevée ».

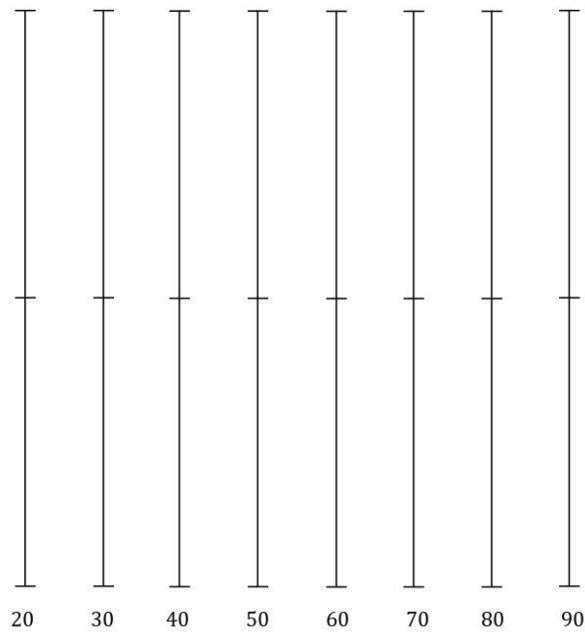


Imaginez un adulte typique de la population générale

Indiquez comment est, d'après vous, la coordination motrice globale d'un adulte typique à 20 ans, 30 ans, 40 ans, 50 ans, 60 ans, 70 ans, 80 ans, et 90 ans.

Répondez en mettant une marque sur la ligne verticale à l'endroit qui représente le mieux, selon vous, la capacité de coordination motrice globale de cet adulte pour chacun des âges ci-dessous, entre « très faible » et « très élevée ».

Capacité de coordination motrice globale très élevée



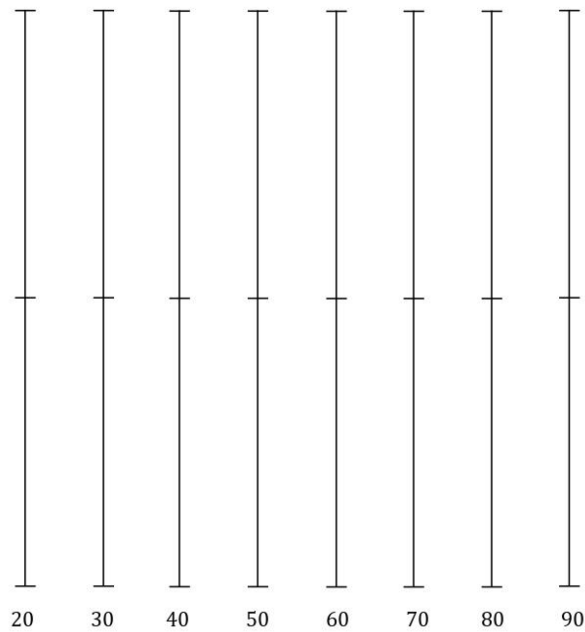
Capacité de coordination motrice globale très faible

Imaginez un adulte typique de la population générale

Indiquez comment est, d'après vous, la coordination visuo-motrice d'un adulte typique à 20 ans, 30 ans, 40 ans, 50 ans, 60 ans, 70 ans, 80 ans, et 90 ans.

Répondez en mettant une marque sur la ligne verticale à l'endroit qui représente le mieux, selon vous, la capacité de coordination visuo-motrice de cet adulte pour chacun des âges ci-dessous, entre « très faible » et « très élevée ».

Capacité de coordination visuo-motrice très élevée



Capacité de coordination visuo-motrice très faible

Annexe XII : Inventaire des croyances générales concernant le fonctionnement physique selon l'âge - Version 2 - Version anglaise (adapté de Lineweaver et al., 2017)

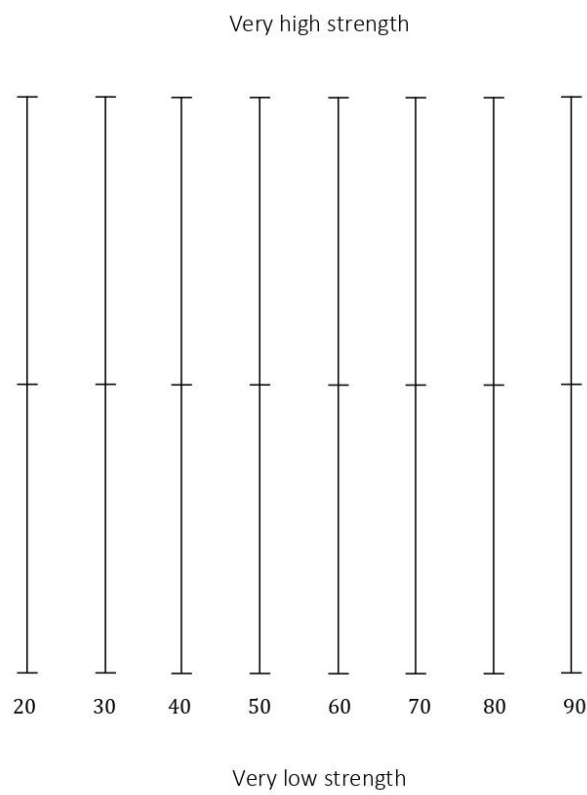
Beliefs about age-related changes in physical
functioning across the adult life span

This questionnaire is about your opinion on the quality of physical ability at different ages. For each ability, please imagine a typical adult from the general population. Then, indicate on the rating lines the point that best represents, according to your opinion, this adult's level of physical ability at different ages.

Imagine a typical adult from the general population

In your opinion, what is this adult's strength level at age 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 and 90?

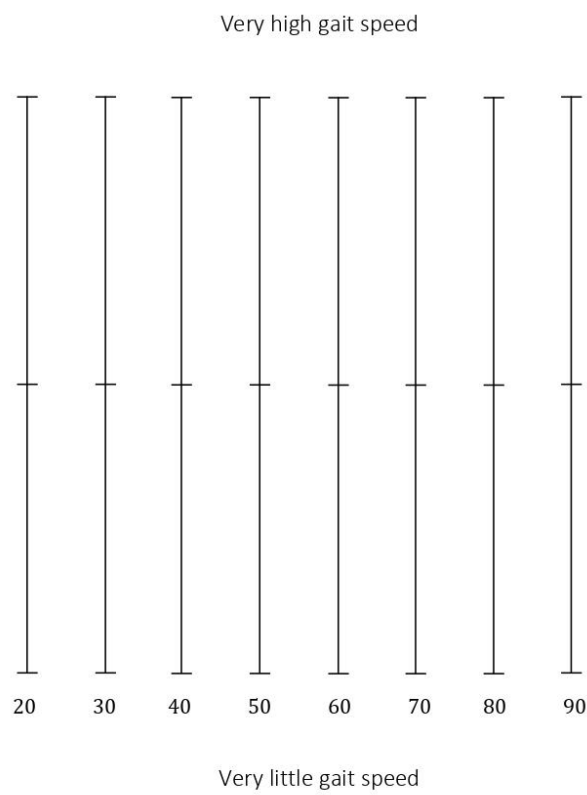
Answer by putting a mark on rating lines below at the point that you think best represents this adult's strength level, between "very low" and "very high".



Imagine a typical adult from the general population

In your opinion, what is this adult's gait speed at age 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 and 90?

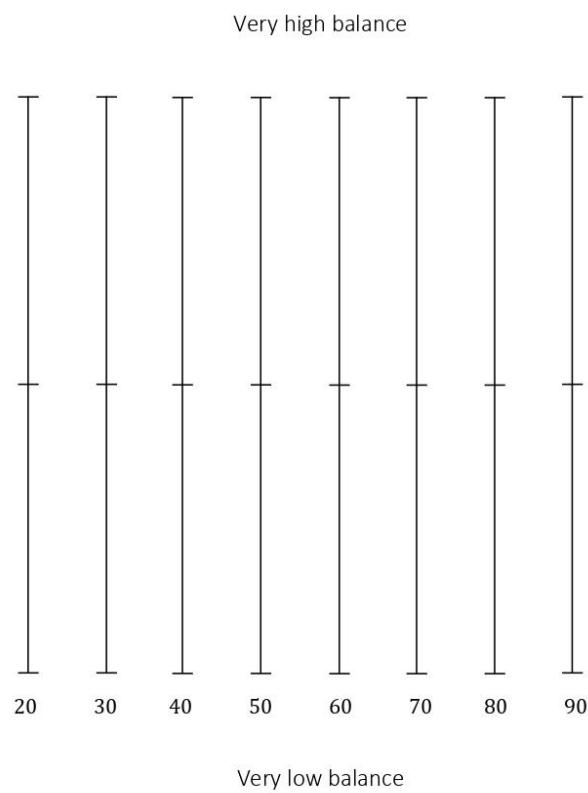
Answer by putting a mark on rating lines below at the point that you think best represents this adult's gait speed, between "very low" and "very high".



Imagine a typical adult from the general population

In your opinion, what is this adult's balance level at age 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 and 90?

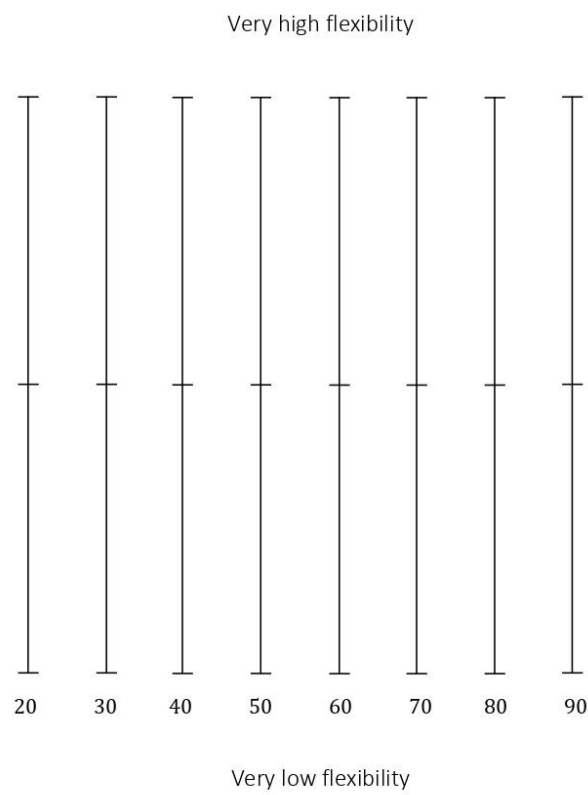
Answer by putting a mark on rating lines below at the point that you think best represents this adult's balance level, between "very low" and "very high".



Imagine a typical adult from the general population

In your opinion, what is this adult's flexibility level at age 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 and 90?

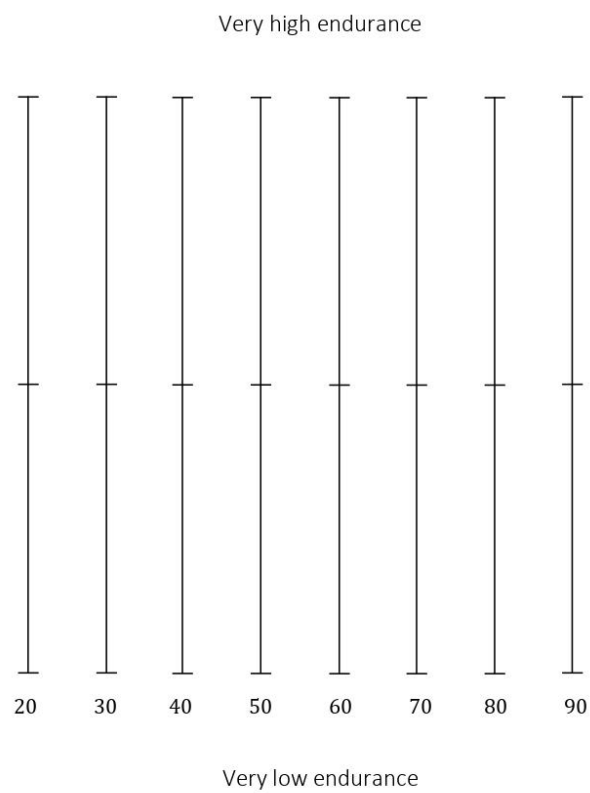
Answer by putting a mark on rating lines below at the point that you think best represents this adult's flexibility level, between "very low" and "very high".



Imagine a typical adult from the general population

In your opinion, what is this adult's endurance level at age 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 and 90?

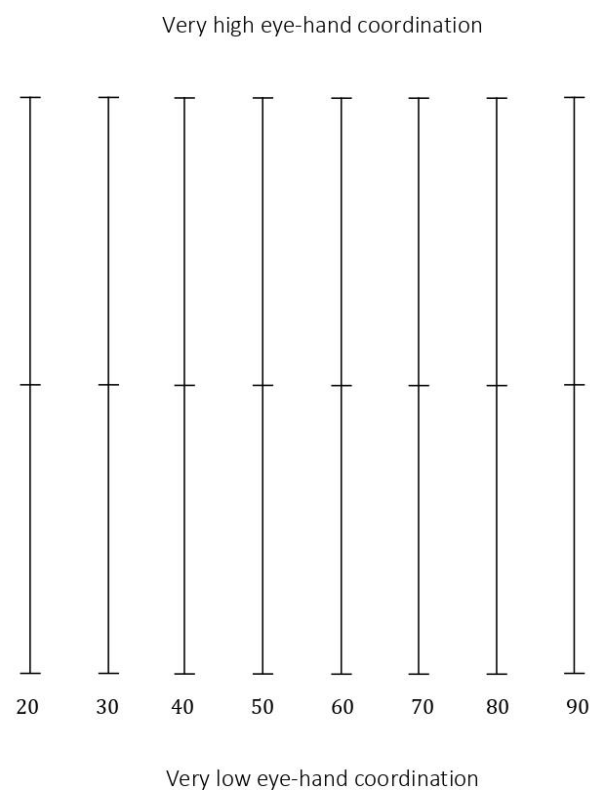
Answer by putting a mark on rating lines below at the point that you think best represents this adult's endurance level, between "very low" and "very high".



Imagine a typical adult from the general population

In your opinion, what is this adult's eye-hand coordination level at age 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 and 90?

Answer by putting a mark on rating lines below at the point that you think best represents this adult's eye-hand coordination level, between "very low" and "very high".

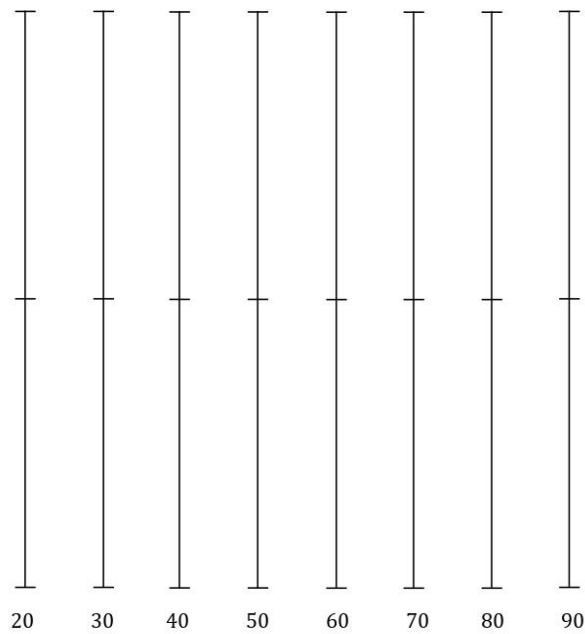


Imagine a typical adult from the general population

In your opinion, what is this adult's gross motor coordination level at age 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 and 90?

Answer by putting a mark on rating lines below at the point that you think best represents this adult's gross motor coordination level, between "very low" and "very high".

Very high gross motor coordination



Very low gross motor coordination

Annexe XIII : Inventaire des croyances générales concernant le fonctionnement physique selon la morphologie (adapté de Lineweaver et al., 2017)

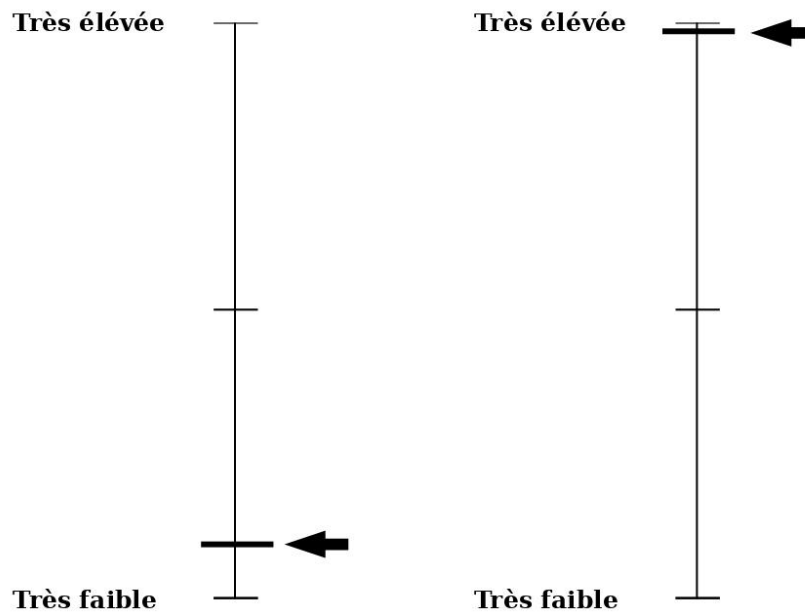
Inventaire des croyances générales sur les habiletés motrices

Ce questionnaire porte sur votre opinion concernant les habiletés motrices en fonction du poids. Pour chacune des propositions, nous vous demandons d'imaginer une jeune femme adulte typique de la population générale. Il vous suffit de tracer un trait sur l'échelle de réponse (présentée dans l'exemple ci-dessous), qui correspond à votre propre opinion sur la qualité des capacités physiques d'une jeune femme adulte typique de la population générale

Cet exemple vise juste à vous indiquer comment répondre, et non où vous devez répondre. Vous êtes libre de mettre votre marque n'importe où sur l'échelle en fonction de votre sentiment.

EXEMPLE

Votre opinion sur l'endurance d'une jeune femme adulte typique de la population générale



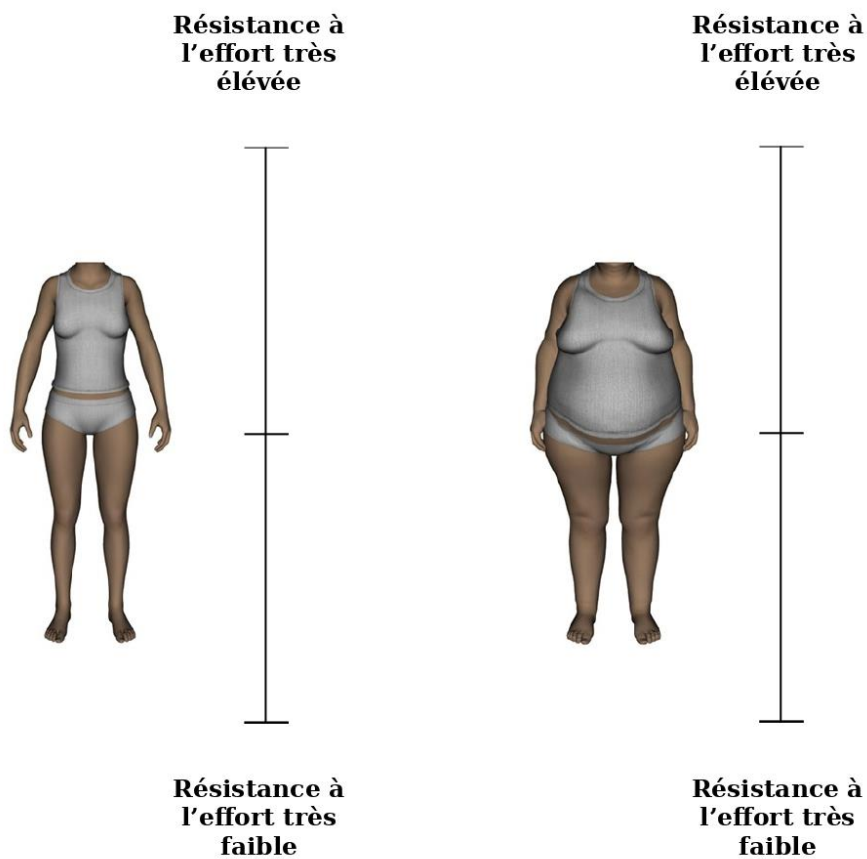
Sur l'échelle de droite, si une personne place une marque à l'endroit indiqué par la flèche de droite, cela signifie qu'elle pense que la capacité d'endurance de l'individu est très élevée.

Sur l'échelle de gauche, si une personne place une marque à l'endroit indiqué par la flèche de gauche, cela signifie qu'elle pense que cette capacité est plutôt faible, sans être très faible.

Imaginez une jeune femme adulte typique de la population générale

Indiquez comment est, d'après vous, la résistance à l'effort d'une jeune femme adulte typique selon les deux silhouettes présentées.

Répondez en mettant une marque sur la ligne verticale à l'endroit qui représente le mieux, selon vous, la capacité de résistance à l'effort de cette personne pour chacune des silhouettes entre « très faible » et « très élevée ».

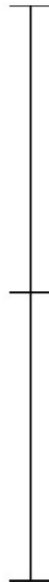


Imaginez une jeune femme adulte typique de la population générale

Indiquez comment est, d'après vous, la vitesse de déplacement d'une jeune femme adulte typique selon les deux silhouettes présentées.

Répondez en mettant une marque sur la ligne verticale à l'endroit qui représente le mieux, selon vous, la vitesse de déplacement de cette personne pour chacune des silhouettes entre « très faible » et « très élevée ».

Vitesse de déplacement très élevée



Vitesse de déplacement très faible

Vitesse de déplacement très élevée



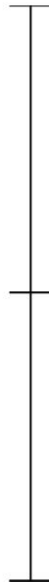
Vitesse de déplacement très faible

Imaginez une jeune femme adulte typique de la population générale

Indiquez comment est, d'après vous, l'agilité d'une jeune femme adulte typique selon les deux silhouettes présentées.

Répondez en mettant une marque sur la ligne verticale à l'endroit qui représente le mieux, selon vous, l'agilité de cette personne pour chacune des silhouettes entre « très faible » et « très élevée ».

Agilité très élevée



Agilité très faible

Agilité très élevée



Agilité très faible

Imaginez une jeune femme adulte typique de la population générale

Indiquez comment est, d'après vous, l'équilibre statique (capacité à maintenir son équilibre en restant immobile) d'une jeune femme adulte typique selon les deux silhouettes présentées.

Répondez en mettant une marque sur la ligne verticale à l'endroit qui représente le mieux, selon vous, la capacité d'équilibre statique de cette personne pour chacune des silhouettes entre « très faible » et « très élevée ».

**Capacité
d'équilibre statique
très élevée**



**Capacité
d'équilibre statique
très faible**

**Capacité
d'équilibre statique
très élevée**







**Capacité
d'équilibre statique
très faible**

Imaginez une jeune femme adulte typique de la population générale

Indiquez comment est, d'après vous, l'équilibre dynamique (capacité à maintenir son équilibre tout en étant en mouvement) d'une jeune femme adulte typique selon les deux silhouettes présentées.

Répondez en mettant une marque sur la ligne verticale à l'endroit qui représente le mieux, selon vous, la capacité d'équilibre dynamique de cette personne pour chacune des silhouettes entre « très faible » et « très élevée ».

	Capacité d'équilibre dynamique très élevée		Capacité d'équilibre dynamique très élevée		
					
	Capacité d'équilibre dynamique très faible		Capacité d'équilibre dynamique très faible		

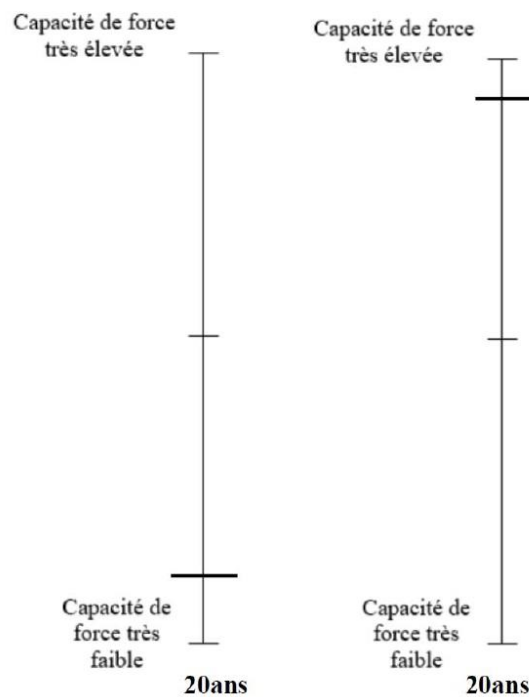
Annexe XIV : Inventaire des croyances générales concernant le fonctionnement mnésique selon l'âge (adapté de Lineweaver & Hertzog, 1998)

Inventaire des croyances générales sur la mémoire

Ce questionnaire porte sur vos croyances concernant les capacités de mémoire en fonction de l'âge des individus. Sur les pages suivantes, nous vous demandons d'estimer les capacités de mémoire d'un adulte en bonne santé en fonction de son âge et de la tâche de mémoire indiquée. Pour donner votre réponse, il vous suffit de faire un trait sur l'*échelle de réponse* à l'endroit correspondant à votre estimation.

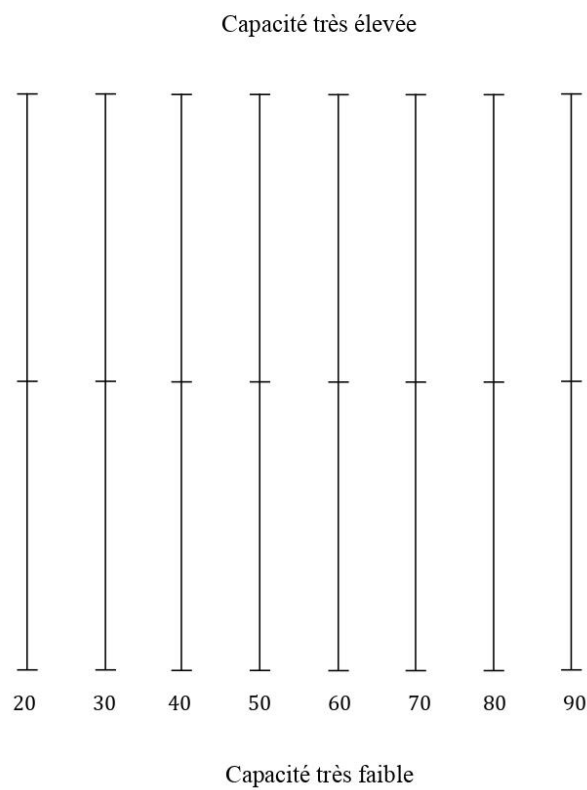
Voici un exemple :

- Le sujet de gauche : estime qu'à 20 ans, un adulte en bonne santé a une force très faible
- Le sujet de droite : estime qu'à 20 ans, un adulte en bonne santé a une force très élevée



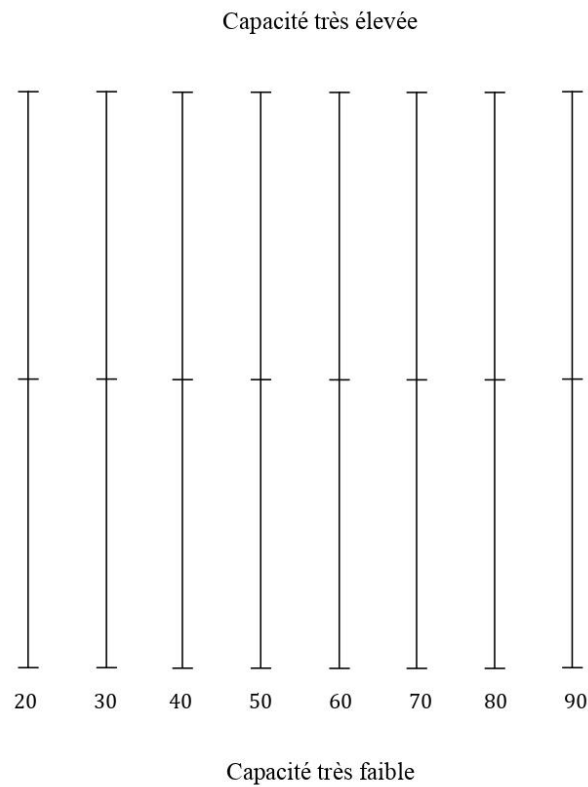
Indiquez comment est, d'après vous, la capacité à se souvenir en général à 20 ans, 30 ans, 40 ans, 50 ans, 60 ans, 70 ans, 80 ans, et 90 ans.

Répondez en mettant une marque sur la ligne verticale à l'endroit qui représente le mieux, selon vous, la capacité en question pour chacun des âges ci-contre, entre « très faible » et « très élevée ».



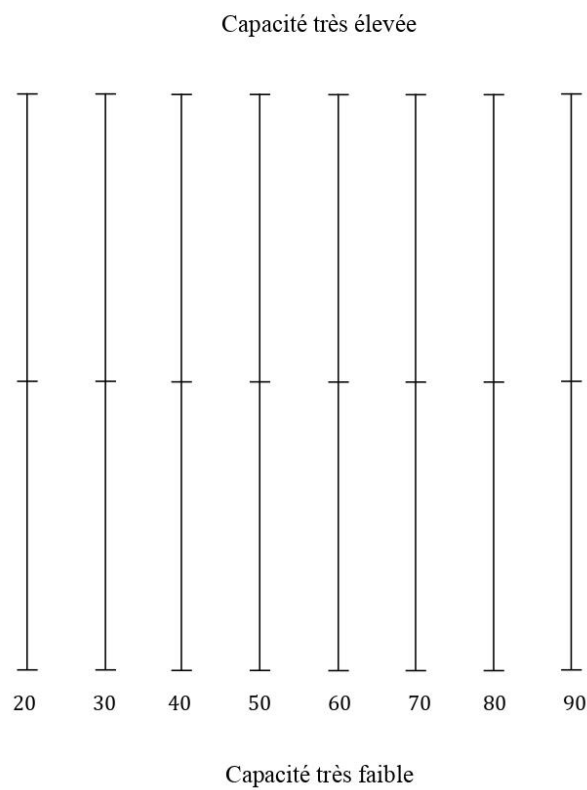
Indiquez comment est, d'après vous, la capacité à se rappeler de choses qui sont survenues récemment à 20 ans, 30 ans, 40 ans, 50 ans, 60 ans, 70 ans, 80 ans, et 90 ans.

Répondez en mettant une marque sur la ligne verticale à l'endroit qui représente le mieux, selon vous, la capacité en question pour chacun des âges ci-contre, entre « très faible » et « très élevée ».



Indiquez comment est, d'après vous, la capacité à se rappeler d'une liste de courses à 20 ans, 30 ans, 40 ans, 50 ans, 60 ans, 70 ans, 80 ans, et 90 ans.

Répondez en mettant une marque sur la ligne verticale à l'endroit qui représente le mieux, selon vous, la capacité en question pour chacun des âges ci-contre, entre « très faible » et « très élevée ».



Annexe XV : Exemple de notice d'information et de formulaire de consentement – Etude 4bis⁶



Notice d'information Participation à une étude en psychologie

Titre de la recherche : Réalité virtuelle et imagerie motrice 3 – suite

Responsables de la recherche :

- Julien BARRA, maître de conférences en psychologie, USMB
- Michel GUERRAZ, professeur de psychologie, USMB
- Marine BEAUDOIN, maître de conférences en psychologie, USMB

Expérimentateurs :

- Louise DUPRAZ, doctorante en psychologie, USMB
- Kelly ODE, étudiant en master de psychologie, USMB

BUT ET DEROULEMENT DE L'ETUDE

Cette étude a pour objectif d'examiner le comportement en imagerie motrice (se représenter en train de faire une action sans la faire véritablement) en réalité virtuelle. L'expérience se déroule en trois sessions d'une durée de 45 minutes à une heure chacune, espacées de 24 heures au minimum et qui se dérouleront de manière similaire.

Dans cette expérience, nous vous demanderons de réaliser une tâche d'imagerie motrice en étant immergée dans une pièce en réalité virtuelle. L'immersion sera permise grâce à un casque positionné sur votre tête. Vous porterez également des capteurs sur les mains afin d'enregistrer les mouvements de vos bras. Un avatar sera présent dans la scène virtuelle.

Le reste de l'expérience consistera à remplir plusieurs questionnaires, hors de la réalité virtuelle.

RISQUES ET CRITERES D'INCLUSION DANS L'ETUDE

L'immersion en réalité virtuelle est déconseillée aux personnes présentant des troubles psychotiques. De plus, l'immersion dans un environnement virtuel est susceptible de générer chez certaines personnes un cyber-malaise (inconfort, nausée, maux de tête...).

⁶ Dans la mesure où les notices d'information et les formulaires de consentement des différentes études de ce travail de thèse étaient proches, seul le matériel en question relatif à l'Etude 4bis est présenté pour exemple.



Pour ces raisons, il est important que vous nous signaliez toute pathologie actuelle ou antécédent de troubles psychotiques, migraine, épilepsie, troubles de l'équilibre, vertige, troubles visuels, troubles proprioceptifs ou troubles neuromusculaires qui constituent des critères de non-inclusion à l'étude.

Si vous ne présentez pas ces antécédents et que vous décidez de participer à cette étude, nous vous demandons de signaler à l'expérimentateur toute survenue de malaise ou inconfort. En cas de malaise, la session sera immédiatement interrompue, le casque de réalité virtuelle retiré, et vous serez surveillée pendant le temps nécessaire à la disparition du malaise.

LEGISLATION - CONFIDENTIALITE

Vous êtes totalement libre d'accepter ou de refuser de participer à cette étude. Vous pouvez également décider, en cours d'étude, d'arrêter votre participation sur simple demande et sans avoir à vous justifier.

Toutes les informations recueillies pendant cette étude resteront strictement anonymes et seront utilisées uniquement à des fins de recherches. L'anonymat sera garanti par l'utilisation d'un code personnel qui permettra l'appariement des données collectées lors des différentes sessions d'expérimentation.

Si vous êtes d'accord pour participer à cette étude, nous vous invitons à remplir le formulaire de consentement.



Consentement du participant Participation à une étude en psychologie

Titre de la recherche : Réalité virtuelle et imagerie motrice 3
 Responsables de la recherche : Julien BARRA, Michel GUERRAZ, Marine BEAUDOIN
 Expérimentateurs : Louise DUPRAZ, Kelly ODE

CONDITIONS GENERALES DE PARTICIPATION A L'ETUDE

J'accepte de participer à cette étude après avoir pris connaissance des informations suivantes :

- Ma participation aux trois sessions expérimentales est volontaire, je suis libre d'arrêter l'étude à tout moment, sur simple demande de ma part et sans avoir à me justifier.
- Toutes les informations recueillies pendant cette étude resteront strictement anonymes et seront utilisées uniquement à des fins de recherches.
- Les buts généraux et modalités de l'expérience m'ont été expliqués au début de l'étude et les hypothèses seront discutées à la fin.
- Il s'agit d'une étude de groupe et, dans ce cadre, seuls les résultats moyens sont traités.

En signant ci-dessous, je reconnais avoir lu et accepté les conditions générales de participation à cette étude.

Nom et prénom de la participante : _____

Age de la participante : _____

Lieu et date de la passation : Fait à _____, le _____, le _____

Signature de la participante : _____ Signature de l'expérimentateur : _____

Exemplaire du participant



Consentement du participant Participation à une étude en psychologie

Titre de la recherche : Réalité virtuelle et imagerie motrice 3
 Responsables de la recherche : Julien BARRA, Michel GUERRAZ, Marine BEAUDOIN
 Expérimentateurs : Louise DUPRAZ, Kelly ODE

CONDITIONS GENERALES DE PARTICIPATION A L'ETUDE

J'accepte de participer à cette étude après avoir pris connaissance des informations suivantes :

- Ma participation aux trois sessions expérimentales est volontaire, je suis libre d'arrêter l'étude à tout moment, sur simple demande de ma part et sans avoir à me justifier.
- Toutes les informations recueillies pendant cette étude resteront strictement anonymes et seront utilisées uniquement à des fins de recherches.
- Les buts généraux et modalités de l'expérience m'ont été expliqués au début de l'étude et les hypothèses seront discutées à la fin.
- Il s'agit d'une étude de groupe et, dans ce cadre, seuls les résultats moyens sont traités.

En signant ci-dessous, je reconnais avoir lu et accepté les conditions générales de participation à cette étude.

Nom et prénom de la participante : _____

Age de la participante : _____

Lieu et date de la passation : Fait à _____, le _____, le _____

Signature de la participante : _____ Signature de l'expérimentateur : _____

Exemplaire de l'expérimentateur

Annexe XVI : Compte-rendu de l'expérience à destination des participantes – Etudes 4 et 4 bis

Compte-rendu des expériences « Réalité virtuelle et imagerie motrice 3 » et « Réalité virtuelle et imagerie motrice 3 – suite »

Rappel du déroulement de l'expérience

Cette expérience s'est déroulée sur trois sessions au cours desquelles vous avez réalisé des phases d'immersion en réalité virtuelle suivies de phases de complétion de questionnaires. Au cours de l'immersion virtuelle, il vous a été demandé de réaliser successivement des phases « d'incorporation », pendant lesquelles vous réalisiez des mouvements de bras et exploriez la pièce virtuelle, et des phases d'imagerie motrice, pendant lesquelles vous vous représentiez mentalement un déplacement jusqu'à une cible placée à différents endroits dans la pièce virtuelle. Parallèlement, il vous a été demandé de remplir différents questionnaires :

- Un questionnaire d'imagerie motrice
- Un questionnaire d'incorporation de l'avatar
- Un questionnaire de perception de soi
- Un questionnaire de croyances sur les compétences motrices des adultes lors de l'avancée en âge

Contexte de l'étude

Cette étude fait suite à deux précédentes expériences menées entre 2019 et 2021 au cours desquelles nous avons étudié l'impact du type d'avatar utilisé en réalité virtuelle sur le temps de marche en imagerie motrice. De manière plus précise, nous avons étudié la mesure dans laquelle notre temps de déplacement en imagerie motrice est impacté par l'apparence de l'avatar que l'on utilise en réalité virtuelle, et plus précisément par les stéréotypes (c'est-à-dire les croyances) qui ciblent cette apparence. Nous avons observé dans ces deux précédentes expériences que les participantes mettent plus de temps pour se représenter un déplacement en imagerie motrice lorsqu'elles utilisent un avatar âgé¹ ou obèse² que lorsqu'elles utilisent un avatar jeune ou normo-pondéré. Ces résultats sont à mettre en lien avec les stéréotypes négatifs qui ciblent les performances motrices des adultes âgés³, et qui ciblent également les performances motrices des personnes en surpoids⁴. Autrement dit, les participantes ont eu tendance à se comporter, en imagerie motrice, de manière cohérente aux croyances qu'elles possèdent sur l'avatar qu'elles utilisaient.

L'objectif de l'étude à laquelle vous avez participé était de tenter de mieux comprendre ce phénomène.

Présentation de l'étude

Nous avons fait l'hypothèse théorique que ce phénomène pouvait être expliqué par le sentiment de proximité que les participants ont avec leur avatar, c'est-à-dire, dans quelle mesure est-ce qu'ils ont l'illusion, lors de l'immersion, que le corps de l'avatar a « remplacé » leur propre corps. Ainsi, nous avons mis en place différentes conditions expérimentales visant à manipuler ce sentiment de proximité

¹ Beaudoin, M., Barra, J., Dupraz, L., Mollier-Sabet, P., & Guerraz, M. (2020). The impact of embodying an "elderly" body avatar on motor imagery. *Experimental Brain Research*, 238(6), 1467-1478. <https://doi.org/10.1007/s00221-020-05828-5>

² Dupraz, L., Barra, J., Beaudoin, M., & Guerraz, M. (2022). Impact of an overweight body representation in virtual reality on locomotion in a motor imagery task. *Psychological Research*. <https://doi.org/10.1007/s00426-022-01675-x>

³ Lineweaver, T. T., Kugler, J., Rabellino, A., & Stephan, Y. (2017). Beliefs about age-related changes in physical functioning across the adult life span and their relationship with physical activity levels of older adults. *Aging, Neuropsychology and Cognition*, 25(4), 613-631. <https://doi.org/10.1080/13825585.2017.1356903>

⁴ Greenleaf, C., & Weiller, K. (2005). Perceptions of Youth Obesity among Physical Educators. *Social Psychology of Education*, 8(4), 407-423. <https://doi.org/10.1007/s11218-005-0662-9>

avec l'avatar. Pour cela, nous avons joué sur la perspective visuelle des participantes, c'est-à-dire l'endroit dans l'environnement virtuel où celles-ci étaient immergées, ainsi que le contrôle que les participantes avaient sur l'avatar, c'est-à-dire la correspondance ou non des mouvements de l'avatar avec ceux des participantes.

Nous faisons l'hypothèse que les participantes auraient davantage tendance à se comporter de manière cohérente aux stéréotypes ciblant l'avatar âgé (c'est-à-dire qu'elles mettraient plus de temps en imagerie motrice) lorsqu'elles se sentiraient proches, connectées à cet avatar âgé, comparativement à des conditions où elles se sentiraient moins proches de l'avatar âgé ou à des conditions où il n'y aurait pas d'avatar âgé (aucun avatar ou un avatar neutre, sans caractéristiques visuelles associées au vieillissement).

Présentation des principaux résultats

L'analyse statistique des données récoltées (temps en imagerie motrice pour les différentes conditions expérimentales) a mis en évidence des résultats en désaccord avec cette hypothèse. En effet, les participantes ont mis en moyenne un temps équivalent quelle que soit la condition de proximité avec l'avatar âgé. Autrement dit, les analyses statistiques n'ont pas montré de différences entre les conditions où la proximité entre la participante et l'avatar âgé était favorisée et les conditions où cette proximité était altérée. En revanche, les analyses ont montré que les participantes mettaient en moyenne plus de temps lorsqu'elles utilisaient un avatar âgé que lorsqu'elles utilisaient un avatar neutre (ou pas d'avatar).

De plus, l'analyse statistique des données récoltées avec les questionnaires ont montré que :

- Questionnaire d'imagerie : le phénomène de conformisme aux caractéristiques de l'avatar utilisé n'était pas corrélé au niveau de capacité des participantes à faire de l'imagerie motrice.
- Questionnaire d'incorporation de l'avatar : le phénomène de conformisme aux caractéristiques de l'avatar utilisé n'était pas corrélé au sentiment de posséder le corps de l'avatar.
- Questionnaire de perception de soi : la proximité avec l'avatar âgé n'influait pas la perception de soi des participantes relative à des attributs typiques du vieillissement.
- Questionnaire de croyances : le phénomène de conformisme aux caractéristiques de l'avatar utilisé n'était pas corrélé à la force des stéréotypes négatifs que les participantes avaient sur les performances motrices des adultes âgés.

Conclusion et perspectives

Les résultats de cette étude montrent que les participantes ont eu tendance à se comporter de manière cohérente aux stéréotypes ciblant l'avatar âgé, et cela quel que soit le degré de proximité avec cet avatar.

Le fait que ces résultats soient en désaccord avec nos hypothèses de départ ne clôture pas l'étude de l'effet du type d'avatar utilisé sur l'imagerie motrice, mais au contraire ouvre vers de nouvelles questions et réflexions autour de cette thématique.

Il reste pertinent de réfléchir sur les mécanismes psychologiques et cognitifs qui interviennent dans le sentiment de proximité à l'avatar, qui expliquent l'impact des stéréotypes sur le comportement des individus, ou encore qui ciblent l'effet de l'utilisation d'un avatar sur les pensées et comportements.

*Annexe XVII : Compte-rendu des objectifs de l'expérience à destination des participantes -
Etude 5 – Exemple version française*

Compte-rendu

Cette étude fait suite à de précédentes expériences au cours desquelles nous avons étudié l'impact du type d'avatar utilisé en réalité virtuelle sur le temps de marche en imagerie motrice. De manière plus précise, nous avons étudié la mesure dans laquelle le temps de déplacement en imagerie motrice est impacté par l'apparence de l'avatar que l'on utilise en réalité virtuelle, et plus précisément par les stéréotypes (c'est-à-dire les croyances) qui ciblent cette apparence. Nous avons observé dans ces expériences que les participantes mettent plus de temps pour se représenter un déplacement en imagerie motrice lorsqu'elles utilisent un avatar âgé ou obèse que lorsqu'elles utilisent un avatar jeune ou normo-pondéré. Ces résultats sont à mettre en lien avec les stéréotypes négatifs qui ciblent les performances motrices des adultes âgés, et qui ciblent également les performances motrices des personnes en surpoids. Autrement dit, les participantes ont eu tendance à se comporter de manière cohérente aux croyances qu'elles possèdent sur l'avatar qu'elles utilisaient, on parle d'effet Proteus.

L'objectif de l'étude à laquelle vous avez participé vise à essayer de mieux comprendre ce phénomène.

En se basant sur la littérature, ainsi que sur les précédents expériences mises en place, nous avons fait l'hypothèse que l'effet Proteus pourrait être lié à une modification inconsciente de la perception de soi lors de l'utilisation de l'avatar. Autrement dit, lors de l'utilisation de l'avatar, la façon dont l'individu se perçoit changerait pour se rapprocher des caractéristiques de l'avatar. Par exemple, et de manière un peu exagérée, l'effet Proteus lors de l'utilisation d'un avatar âgé serait lié au fait que les participants se perçoivent inconsciemment plus âgés, plus ralentis, plus ridés, plus tête en l'air...

L'expérience que nous proposons vise donc à créer deux conditions lors de l'utilisation d'un avatar : une condition qui entraîne une modification de la perception de soi et une condition qui n'entraîne pas de modification. Si l'effet Proteus est en effet dû à une modification de la perception de soi en direction des caractéristiques de l'avatar, alors ce phénomène ne devrait s'observer que dans la condition qui a permis une modification de la perception de soi, et pas dans la condition où la perception de soi des participants était intacte.

Ainsi, nous avons mis en place différentes conditions expérimentales visant à manipuler la modification de la perception de soi. Pour cela, nous vous avons exposé ou non à votre propre image grâce à votre webcam. En effet, vous avez réalisé une session d'identification à l'avatar en présence d'une vidéo de vous extraite de votre webcam, et une session en présence d'une vidéo d'une autre personne. Nous avons choisi ces conditions car la présence de sa propre image (par exemple au travers d'un miroir dans une pièce ou d'une vidéo de soi) accentue inconsciemment l'activation des informations personnelles (par exemple votre nom, vos qualités, vos préférences, ce qui vous définit...). Ainsi, puisque les informations personnelles sont plus activées, la perception de soi est moins susceptible d'être modifiée. Autrement dit, le retour vidéo de la webcam a pour objectif de réduire la modification de la perception de soi des participantes lors de l'utilisation d'un avatar.

Nous faisons l'hypothèse que l'effet Proteus sera plus fort lorsque la perception de soi des participantes est modifiée, c'est-à-dire dans la condition où les participantes ne sont pas exposées à leur image. En effet, l'exposition à l'image de soi devrait empêcher l'effet Proteus d'apparaître. Autrement dit, nous faisons l'hypothèse que les participantes utilisant un avatar âgé seront plus lentes en imagerie motrice que les participantes utilisant un avatar neutre (orange), mais uniquement lorsque les participantes ne sont pas exposées à leur image.

Si vous souhaitez davantage d'information ou si vous avez des questions, vous pouvez vous adresser à louise.dupraz@univ-smb.fr

Annexe XVIII : Matériel supplémentaire – Etude 2

SUPPLEMENTARY DATA

	Body ownership	Agency	Self-location	External appearance	Total embodiment
Overweight avatar	0.62	-0.19	-0.25	0.60	0.60
Health-weight avatar	0.68	0.45	-0.43	0.74	0.53

Table A: Cronbach's alphas of the subcomponent's scores Body ownership, Agency, Self-location, External appearance and of the Total embodiment scores for Overweight avatar embodiment and Healthy-weight avatar embodiment.

		Overweight self-avatar	Healthy-weight self-avatar
Distance 1	Horizontal	3.09 (1.51)	2.78 (1.22)
	Slope	3.11 (1.64)	2.71 (1.20)
Distance 2	Horizontal	5.32 (2.06)	4.75 (1.53)
	Slope	5.33 (2.29)	4.68 (1.52)
Distance 3	Horizontal	6.99 (2.51)	6.11 (2.01)
	Slope	7.73 (3.27)	6.57 (2.24)
Distance 4	Horizontal	9.25 (3.33)	8.09 (2.49)
	Slope	10.28 (4.31)	8.85 (2.73)

Table B: Mean time (Standard deviation) in seconds of the motor imagery task, as a function of the distance walked (distances 1 to 4), the floor (horizontal and sloping) and the self-avatar (Overweight and Healthy-weight).

Annexe XIX : Matériel supplémentaire – Etude 3

Supplementary material

Embodiment of an elderly avatar and impact on explicit recall performance

Explicit memory task: word lists

Liste 1	Liste 2	Liste 3	Liste 4	Liste 5	Liste 6
LAPIN	VACHE	CHAT	LOUP	POULE	GIRAFE
VÉLO	FUSÉE	MOTO	CAMION	RADEAU	PÉNICHE
NAVET	SALADE	CHOU	RADIS	TOMATE	OIGNON
CANAPÉ	CHAISE	COMMODE	LAMPE	TIROIR	FAUTEUIL
PANTALON	CAPE	ESCARPIN	BOTTE	GANT	BLOUSE
CHÊNE	PALMIER	SAPIN	POIRIER	POMMIER	PEUPLIER
POMPIER	ÉBOUEUR	PLOMBIER	BANQUIER	FACTEUR	MAÇON
BASKET	GOLF	FOOTBALL	ESCALADE	TENNIS	BOXE
TORNADE	OURAGAN	GIVRE	NUAGE	ORAGE	LUNE
SABLE	MUSÉE	COLLINE	MAIRIE	FALAISE	PARC
TALON	SOURCIL	ONGLE	REIN	SCIE	TIBIA
MARTEAU	CLOU	RASOIR	RÂTEAU	DENT	ÉCHELLE
MELON	CERISE	FRAISE	RAISIN	CASSIS	PASTÈQUE
ÉVENTAIL	RUBAN	POUBELLE	TIRELIRE	BAGUE	VASE
MIEL	FARINE	BEURRE	JAMBON	SOUPE	OEUF

Liste 7	Liste 8	Liste 9	Liste 10	Liste 11	Liste 12
MOUTON	PIGEON	CHOUETTE	LION	ZÈBRE	COCHON
PAQUEBOT	TRACTEUR	AVION	VOILIER	LANDAU	CARROSSE
ASPERGE	CAROTTE	PATATE	HARICOT	POIREAU	MAÏS
HORLOGE	PARAVENT	BANC	SOMMIER	PUPITRE	MALLE
PYJAMA	ÉCHARPE	GILET	CHEMISE	CALEÇON	MANTEAU
ÉRABLE	PLATANE	BAMBOU	BANANIER	FIGUIER	CERISIER
PRÊTRE	ECRIVAIN	BOUCHER	FERMIER	PEINTRE	MÉDECIN
DANSE	PLONGÉE	RUGBY	COURSE	LUTTE	BILLARD
NEIGE	PLUIE	TONNERRE	FOUDRE	ÉCLAIR	GRÊLE
FORÊT	CABANE	RIVIÈRE	VOLCAN	OCÉAN	CHÂTEAU
PUPILLE	POIGNET	ESTOMAC	COUDE	VEINE	INTESTIN
FOURCHE	AIGUILLE	PINCEAU	HACHE	BALAI	PELLE
ANANAS	CITRON	PRUNE	ORANGE	PÊCHE	NOIX
BRIQUET	DISQUE	TABLEAU	BOUGIE	MONTRE	RADIO
BRIOCHE	YAOURT	CRÊPE	CRÈME	PAIN	HUILE

Average occurrence frequency of the words in the French language and, average number of letters composing the words (Lexique software; New & Pallier, s. d.)

Liste 1

Mot	Fréquence	Nombre lettres
Lapin	32,43	5
Vélo	28,45	4
Navet	2,77	5
Canapé	20,27	6
Pantalon	71,76	8
Chêne	23,51	5
Pompier	10,07	7
Basket	3,45	6
Tornade	4,12	7
Sable	96,55	5
Talon	49,26	5
Marteau	15,61	7
Melon	6,96	5
Eventail	13,99	8
Miel	15,54	4

Moyenne 26,316 5,92857142857143
Ecart-type 26,0793025980374 1,27540843131393

Liste 2

Mot	Fréquence	Nombre lettres
Vache	53,45	5
Fusée	9,26	5
Salade	24,26	6
Chaise	118,31	6
Cape	11,69	4
Palmier	14,26	7
Eboueur	2,70	7
Golf	7,3	4
Ouragan	4,19	7
Musée	28,38	5
Sourcil	47,64	7
Clou	27,5	4
Cerise	10,07	6
Ruban	23,18	5
Farine	13,72	6

Moyenne 26,394 5,6
Ecart-type 28,4665239184555 1,08320512061813

Liste 3

Mot	Fréquence	Nombre lettres
Chat	130,74	4
Moto	19,26	4
Chou	21,96	4
Commode	12,09	7
Escarpin	5,14	8
Sapin	26,28	5
Plombier	3,99	8
Football	6,28	8
Givre	5,14	5
Colline	55,61	7
Ongle	45,47	5
Rasoir	16,82	6
Fraise	10,07	6
Poubelle	22,91	8
Beurre	27,97	6

Moyenne 27,3153333333333 6,06666666666667
Ecart-type 31,1456029784124 1,48174071805952

Liste 4

Mot	Fréquence	Nombre lettres
Loup	44,39	4
Camion	50,74	6
Radis	3,11	5
Lampe	93,11	5
Botte	44,93	5
Poirier	3,65	7
Banquier	12,7	8
Escalade	4,12	8
Nuage	76,82	5
Mairie	15,95	6
Rein	34,05	4
Râteau	2,5	6
Raisin	9,53	6
Tirelire	2,16	8
Jambon	13,24	6

Moyenne 27,4 5,93333333333333
Ecart-type 28,0061983615532 1,28927197372091

Liste 5

Mot	Fréquence	Nombre lettres
Poule	31,82	5
Radeau	5,2	6
Tomate	13,31	6
Tiroir	37,09	6
Gant	36,01	4
Pommier	8,78	7
Facteur	14,32	7
Tennis	13,24	6
Orage	35,41	5
Falaise	20,68	7
Scie	10,07	4
Dent	125,68	4
Cassis	3,18	6
Bague	22,36	5
Soupe	38,04	5

Moyenne 27,6793333333333 5,53333333333333
Ecart-type 28,7400812957947 1,02415276638248

Liste 6

Mot	Fréquence	Nombre lettres
Girafe	3,18	6
Péniche	7,97	7
Oignon	15,54	6
Fauteuil	102,03	8
Blouse	32,64	6
Peuplier	9,93	8
Maçon	6,76	5
Boxe	8,58	4
Lune	66,69	4
Parc	43,99	4
Tibia	3,04	5
Echelle	31,76	7
Pastèque	2,5	8
Vase	32,97	4
Oeuf	50,14	4

Moyenne 27,848 5,73333333333333
Ecart-type 27,5484707863552 1,52060975230128

Liste 7

Mot	Fréquence	Nombre lettres
Mouton	30,47	6
Paquebot	7,43	8
Asperge	8,65	7
Horloge	16,49	7
Pyjama	17,57	6
Erable	3,58	6
Prêtre	45,27	6
Danse	35,27	5
Neige	80,88	5
Forêt	113,31	5
Pupille	5,54	7
Fourche	8,18	7
Ananas	3,51	6
Briquet	13,65	7
Brioche	7,09	7

Moyenne 26,4593333333333 6,33333333333333
Ecart-type 30,7365535840019 0,869226987360353

Liste 8

Mot	Fréquence	Nombre lettres
Pigeon	19,26	6
Tracteur	6,82	8
Carotte	8,31	7
Paravent	4,32	8
Echarpe	13,92	7
Pistane	13,99	7
Ecrivain	48,99	8
Plongée	6,55	7
Pluie	122,57	5
Cabane	29,46	6
Poignet	42,84	7
Aiguille	34,19	8
Citron	10,81	6
Disque	42,16	6
Yaourt	4,73	6

Moyenne 27,2613333333333 6,8
Ecart-type 29,4415760145788 0,90921211313239

Liste 9

Mot	Fréquence	Nombre lettres
Chouette	6,01	8
Avion	78,04	5
Patate	10,74	6
Banc	66,42	4
Gilet	15,14	5
Bambou	6,15	6
Boucher	11,55	7
Rugby	3,11	5
Tonnerre	19,39	8
Rivière	43,72	7
Estomac	30,95	7
Pinceau	17,91	7
Prune	5,68	5
Tableau	90	7
Crêpe	9,05	5

Moyenne 27,5906666666667 6,13333333333333
Ecart-type 27,5983273567238 1,20369800568452

Liste 10			Liste 11			Liste 12		
Mot	Fréquence	Nombre lettres	Mot	Fréquence	Nombre lettres	Mot	Fréquence	Nombre lettres
Lion	33,04	4	Zèbre	5,14	5	Cochon	21,49	6
Voilier	4,86	7	Landau	4,59	6	Carrosse	4,05	8
Haricot	13,45	7	Poireau	2,84	7	Mais	6,42	4
Sommier	7,97	7	Pupitre	6,89	7	Malle	15,14	5
Chemise	91,42	7	Caleçon	6,69	7	Manteau	68,11	7
Banancier	3,85	8	Figuier	3,58	7	Cerisier	3,51	8
Fermier	12,36	7	Peintre	45,07	7	Médecin	75,61	7
Course	81,22	6	Lutte	41,82	5	Billard	12,23	7
Foudre	14,46	6	Eclair	35	6	Grêle	6,15	5
Volcan	5,34	6	Océan	28,78	5	Château	74,12	7
Coude	54,19	5	Veine	35,41	5	Intestin	3,92	8
Hache	13,65	5	Balai	17,7	5	Pelle	15,61	5
Orange	19,59	6	Pêche	30,41	5	Noix	12,23	4
Bougie	29,86	6	Montre	47,84	6	Radio	55	5
Crème	24,46	5	Pain	105,41	4	Huile	38,18	5

Moyenne	27,3146666666667	6,13333333333333	Moyenne	27,8113333333333	5,8	Moyenne	27,4513333333333	6,0666666666667
Ecart-type	26,4882129425314	1,02415276638248	Ecart-type	26,183849441126	0,979795897113271	Ecart-type	26,3130904979927	1,38884444373331

Reliability analyses: Cronbach's alpha

Avatar embodiment questionnaire

	Young avatar condition	Elderly avatar condition
Global embodiment score	$\alpha = .89$	$\alpha = .88$
Body ownership score	$\alpha = .76$	$\alpha = .72$
Agency score	$\alpha = .87$	$\alpha = .90$
Self-location score	$\alpha = .75$	$\alpha = .76$

Annexe XX : Matériel supplémentaire – Etudes 4 et 4bis

Title

Does the avatar embodiment moderate the Proteus effect?

Supplementary material – Study 1 and Study 2**Reliability analyses: Cronbach's alpha.***Motor Imagery Questionnaire – Revised Second Version (MIQ-RS; Loison et al., 2013)*

Study 1			Study 2
Experiment 1a	Experiment 1b	Experiment 1c	
$\alpha = .86$	$\alpha = .88$	$\alpha = .83$	$\alpha = .75$

Avatar embodiment questionnaire

Condition	Score	Study 1			Study 2
		Experiment 1a	Experiment 1b	Experiment 1c	
Full-embodiment	Global embodiment	$\alpha = .89$	$\alpha = .86$	$\alpha = .87$	$\alpha = .82 (.84)$
	Body ownership	$\alpha = .71$	$\alpha = .81$	$\alpha = .78$	$\alpha = .74 (.65)$
	Agency	$\alpha = .85$	$\alpha = .82$	$\alpha = .75$	$\alpha = .81$
	Self-location	$\alpha = .80$	$\alpha = .63$	$\alpha = .73$	$\alpha = .69$
Impaired-embodiment	Global embodiment	$\alpha = .86$	$\alpha = .90$	$\alpha = .86$	$\alpha = .89 (.86)$
	Body ownership	$\alpha = .58$	$\alpha = .76$	$\alpha = .83$	$\alpha = .88 (.62)$
	Agency	$\alpha = .84$	$\alpha = .90$	$\alpha = .61$	$\alpha = .80$
	Self-location	$\alpha = .70$	$\alpha = .69$	$\alpha = .87$	$\alpha = .63$
Control	Global embodiment				$\alpha = .85 (.84)$
	Body ownership				$\alpha = .83 (.77)$
	Agency				$\alpha = .77$
	Self-location				$\alpha = .65$

Note. In Study 2, for the global embodiment and the body ownership component, cronbach's alphas are presented when the item "The virtual body felt like a human body" is dropped from the reliability analyses (and when it is included).

Self-perception questionnaire: items related to aging attributes.

Condition	Study 1 (21 items)			Study 2 (10 items)
	Experiment 1a	Experiment 1b	Experiment 1c	
Full-embodiment	$\alpha = .56$	$\alpha = .55$	$\alpha = .66$	$\alpha = .71$
Impaired-embodiment	$\alpha = .59$	$\alpha = .54$	$\alpha = .65$	$\alpha = .65$
Control	$\alpha = .46$	$\alpha = .58$	$\alpha = .74$	$\alpha = .57$

Motor imagery time.*Descriptive statistics*

	Study 1
	Experiment 1a

		Full-embodiment	Impaired-embodiment	Control
Distance 1	Horizontal	3.93 (1.58)	3.76 (1.33)	3.70 (1.55)
	Sloping	3.50 (1.29)	3.50 (1.40)	3.47 (1.43)
Distance 2	Horizontal	6.24 (2.41)	6.52 (2.22)	6.09 (1.88)
	Sloping	6.16 (2.23)	6.08 (2.01)	5.96 (1.94)
Distance 3	Horizontal	8.06 (3.00)	8.31 (2.88)	7.92 (2.37)
	Sloping	8.29 (2.87)	8.62 (2.73)	8.41 (2.80)
Distance 4	Horizontal	10.56 (3.49)	10.78 (3.58)	10.39 (3.32)
	Sloping	11.06 (4.15)	10.85 (3.50)	10.96 (3.90)
		Experiment 1b		
		Full-embodiment	Impaired-embodiment	Control
Distance 1	Horizontal	3.90 (2.29)	3.80 (2.08)	3.63 (2.16)
	Sloping	3.95 (2.55)	3.66 (2.36)	3.54 (2.03)
Distance 2	Horizontal	6.79 (3.45)	6.87 (3.31)	6.35 (3.06)
	Sloping	7.20 (3.87)	6.83 (3.41)	6.54 (3.35)
Distance 3	Horizontal	9.07 (3.90)	9.26 (4.52)	8.37 (3.71)
	Sloping	10.02 (5.08)	9.94 (4.45)	9.03 (4.23)
Distance 4	Horizontal	12.01 (5.74)	12.15 (6.25)	10.90 (4.86)
	Sloping	14.02 (7.81)	13.58 (6.00)	11.69 (5.16)
		Experiment 1c		
		Full-embodiment	Impaired-embodiment	Control
Distance 1	Horizontal	3.91 (1.24)	4.16 (1.38)	3.81 (1.70)
	Sloping	4.12 (1.32)	4.02 (1.45)	3.67 (1.46)
Distance 2	Horizontal	6.72 (2.39)	7.09 (2.47)	6.41 (2.53)
	Sloping	6.78 (1.89)	6.75 (2.07)	6.38 (2.00)
Distance 3	Horizontal	8.41 (2.71)	8.53 (2.51)	8.28 (2.83)
	Sloping	8.95 (2.76)	8.85 (2.59)	8.59 (3.24)
Distance 4	Horizontal	10.81 (3.78)	11.35 (3.52)	10.45 (3.72)
	Sloping	11.81 (3.68)	11.83 (3.39)	11.05 (3.77)
		Study 2		
		Full-embodiment	Impaired-embodiment	Control
Distance 1		3.45 (1.60)	3.39 (1.40)	2.94 (1.19)
Distance 2		6.22 (2.46)	6.15 (2.51)	5.59 (2.13)
Distance 3		8.28 (2.99)	8.16 (3.22)	7.63 (2.88)
Distance 4		10.97 (4.16)	11.02 (3.94)	10.11 (4.07)

Note. Mean (Standard deviation), in seconds.

Inferential statistics

	Study 1		
	Experiment 1a	Experiment 1b	Experiment 1c
Embodiment	$F(2, 52) = 0.15, p = .861, \eta^2_G < .001$	$F(1.45, 37.78) = 2.83, p = .087, \eta^2_G = .008$	$F(2, 52) = 1.06, p = .355, \eta^2_G = .006$
Slope	$F(1, 26) = 0.14, p = .707, \eta^2_G < .001$	$F(1, 26) = 9.27, p = .005, \eta^2_G = .005$	$F(1, 26) = 2.93, p = .099, \eta^2_G = .002$
Distance	$F(1.17, 30.33) = 222.59, p < .001, \eta^2_G = .508$	$F(1.08, 28.01) = 137.25, p < .001, \eta^2_G = .369$	$F(1.25, 32.37) = 212.33, p < .001, \eta^2_G = .511$
Embodiment * Slope	$F(1.50, 39.03) = 0.42, p = .602, \eta^2_G < .001$	$F(2, 52) = 0.92, p = .405, \eta^2_G = .001$	$F(2, 52) = 0.67, p = .515, \eta^2_G = .001$

Embodiment * Distance	$F(3.06, 79.52) = 0.32, p = .813, \eta^2_G < .001$	$F(2.07, 53.90) = 3.26, p = .044, \eta^2_G = .004$	$F(3.18, 82.72) = 0.79, p = .507, \eta^2_G = .001$
Slope * Distance	$F(2.06, 53.53) = 6.36, p = .003, \eta^2_G = .004$	$F(1.54, 40.10) = 17.34, p < .001, \eta^2_G = .005$	$F(2.10, 54.58) = 5.49, p = .006, \eta^2_G = .004$
Embodiment * Slope * Distance	$F(3.44, 89.50) = 0.77, p = .530, \eta^2_G < .001$	$F(3.34, 86.85) = 1.42, p = .240, \eta^2_G = .001$	$F(6, 156) = 0.20, p = .977, \eta^2_G < .001$
Study 2			
Embodiment	$F(2, 78) = 5.35, p = .007, \eta^2_G = .010$		
Distance	$F(1.11, 43.14) = 198.27, p < .001, \eta^2_G = .457$		
Embodiment * Distance	$F(2.91, 113.57) = 0.81, p = .487, \eta^2_G < .001$		

Distance and slope estimations.

Descriptive statistics

	Study 1		
	Experiment 1a		
	Full-embodiment	Impaired-embodiment	Control
Distance 1	1.74 (0.73)	1.93 (0.83)	1.93 (0.78)
Distance 2	4.41 (1.48)	4.41 (1.57)	4.64 (1.73)
Distance 3	6.72 (2.46)	6.57 (2.34)	7.01 (2.81)
Distance 4	9.37 (3.40)	9.43 (3.81)	9.80 (3.96)
Slope	28.73 (8.55)	28.38 (8.73)	28.23 (8.49)
	Experiment 1b		
	Full-embodiment	Impaired-embodiment	Control
	Distance 1	1.62 (0.63)	1.77 (0.76)
Distance 2	4.37 (1.61)	4.46 (1.59)	4.32 (1.38)
Distance 3	6.77 (2.18)	6.81 (2.09)	6.58 (1.98)
Distance 4	9.39 (3.43)	9.58 (3.12)	9.16 (2.75)
Slope	27.32 (7.82)	27.04 (8.25)	26.37 (6.88)
	Experiment 1c		
	Full-embodiment	Impaired-embodiment	Control
	Distance 1	2.05 (0.85)	2.29 (1.41)
Distance 2	4.48 (1.58)	4.74 (2.27)	4.55 (1.55)
Distance 3	6.70 (2.28)	6.92 (3.17)	6.75 (2.22)
Distance 4	9.46 (3.57)	9.95 (4.97)	9.34 (3.26)
Slope	28.39 (9.84)	26.82 (6.27)	30.82 (12.01)
	Study 2		
	Full-embodiment	Impaired-embodiment	Control
	Distance 1	2.00 (1.22)	2.14 (1.02)
Distance 2	5.05 (2.28)	5.26 (2.16)	4.83 (1.88)
Distance 3	7.87 (3.81)	8.00 (3.67)	7.69 (3.62)
Distance 4	10.89 (5.06)	11.45 (5.15)	11.16 (5.83)

Notes. Mean (Standard deviation), in meters for the distance, in degrees for the slope. Slope and horizontal floors pooled for the distance estimation in Study 1. $N = 26$ for slope estimation in Experiment 1a, and for distance estimation in Experiment 1b and 1c.

Inferential statistics: Distance estimation

	Study 1		
	Experiment 1a	Experiment 1b	Experiment 1c

Embodiment	$F(2, 52) = 1.19, p = .313, \eta^2_G = .003$	$F(2, 50) = 0.92, p = .405, \eta^2_G = .002$	$F(1.53, 38.31) = 0.64, p = .495, \eta^2_G = .003$
Distance	$F(1.07, 27.75) = 163.71, p < .001, \eta^2_G = .585$	$F(1.08, 27.00) = 243.96, p < .001, \eta^2_G = .664$	$F(1.14, 28.49) = 170.53, p < .001, \eta^2_G = .534$
Embodiment * Distance	$F(2.75, 71.42) = 0.72, p = .534, \eta^2_G = .001$	$F(2.58, 64.57) = 1.05, p = .370, \eta^2_G = .001$	$F(2.36, 59.05) = 0.55, p = .608, \eta^2_G = .001$
Study 2			
Embodiment	$F(2, 78) = 0.59, p = .560, \eta^2_G = .010$		
Distance	$F(1.07, 41.78) = 161.56, p < .001, \eta^2_G = .489$		
Embodiment * Distance	$F(2.62, 102.31) = 0.62, p = .584, \eta^2_G = .001$		

Inferential statistics: Slope estimation

		Study 1		
		Experiment 1a	Experiment 1b	Experiment 1c
ANOVA	Embodiment	$F(2, 50) = 0.30, p = .739, \eta^2_G = .003$	$F(2, 50) = 0.31, p = .737, \eta^2_G = .003$	$F(2, 52) = 2.40, p = .101, \eta^2_G = .029$
Comparison vs. 15°	Full-embodiment	$t(25) = 8.18, p < .001, IC\ 95\% [25.27, 32.17]$	$t(25) = 8.03, p < .001, IC\ 95\% [24.17, 30.48]$	$t(25) = 7.07, p < .001, IC\ 95\% [24.50, 32.28]$
	Impaired-embodiment	$t(25) = 7.81, p < .001, IC\ 95\% [24.86, 31.91]$	$V = 351, p < .001, IC\ 95\% [23.20, 29.82]$	$t(25) = 9.80, p < .001, IC\ 95\% [24.34, 29.30]$
	Control	$t(25) = 7.55, p < .001, IC\ 95\% [24.15, 31.00]$	$t(25) = 8.43, p < .001, IC\ 95\% [23.60, 29.15]$	$V = 377, p < .001, IC\ 95\% [26.36, 32.69]$

Exploratory analyses: Correlations.

*Sense of embodiment * Avatar effect*

	Study 1	
	Experiment 1a	
	Full-embodied avatar effect	Impaired-embodied avatar effect
Global embodiment score	$r = -.12, p = .562$	$r = -.14, p = .482$
Body ownership	$r = -.20, p = .308$	$r = -.06, p = .748$
Agency	$r_s = .10, p = .631$	$r_s = -.08, p = .694$
Self-location	$r_s = -.07, p = .724$	$r_s = -.06, p = .777$
	Experiment 1b	
	Full-embodied avatar effect	Impaired-embodied avatar effect
Global embodiment score	$r = .15, p = .443$	$r = -.01, p = .952$
Body ownership	$r = .19, p = .338$	$r = .02, p = .908$
Agency	$r = .21, p = .302$	$r_s = .11, p = .598$
Self-location	$r_s = .00, p = .981$	$r = .06, p = .783$
	Experiment 1c	
	Full-embodied avatar effect	Impaired-embodied avatar effect
Global embodiment score	$r = -.07, p = .745$	$r = .22, p = .260$
Body ownership	$r = -.01, p = .942$	$r = .30, p = .130$
Agency	$r = -.21, p = .284$	$r_s = .02, p = .910$
Self-location	$r = -.00, p = .996$	$r_s = -.10, p = .636$
	Study 2	
	Full-embodied avatar effect	Impaired-embodied avatar effect
Global embodiment score	$r = .03, p = .845$	$r = .35, p = .027$

Body ownership	$r = .07, p = .667$	$r_s = .17, p = .303$
Agency	$r_s = .05, p = .756$	$r_s = .31, p = .048$
Self-location	$r = .02, p = .881$	$r_s = .24, p = .144$

Note. Avatar effects scores computed from the subtraction between the mean motor imagery time in the control condition from that in the full- and the impaired-embodiment conditions (full-embodied avatar effect, impaired-embodied avatar effect).

*Aging-related self-perception change * Avatar effect*

	Study 1			Study 2
	Experiment 1a	Experiment 1b	Experiment 1c	
Full-embodiment	$r = -.04, p = .836$	$r = .16, p = .436$	$r = -.07, p = .741$	$r = .37, p = .019$
Impaired-embodiment	$r = .13, p = .505$	$r = -.07, p = .740$	$r = .05, p = .814$	$r_s = .21, p = .198$

Note. Aging-related self-perception change scores computed from the subtraction between the identification to the aging-related attributes score in the control condition from that in the full- and the impaired-embodiment conditions.

*Stereotypes * Avatar effect*

	Study 1	
	Experiment 1a	
	Full-embodied avatar effect	Impaired-embodied avatar effect
Global	$r = .05, p = .796$	$r = -.24, p = .220$
Strength	$r = -.00, p = 1$	$r = -.06, p = .766$
Gait	$r = -.25, p = .214$	$r = -.30, p = .129$
Balance	$r = -.14, p = .473$	$r = -.24, p = .227$
Flexibility	$r = .29, p = .136$	$r = .02, p = .926$
Endurance	$r = .15, p = .468$	$r = -.25, p = .210$
Visuo-motor coordination	$r = .09, p = .665$	$r = -.34, p = .084$
Global motor coordination	$r = .12, p = .535$	$r = -.10, p = .625$
	Experiment 1b	
	Full-embodied avatar effect	Impaired-embodied avatar effect
	Global	$r = .09, p = .677$
Strength	$r = .08, p = .714$	$r = .20, p = .321$
Gait	$r_s = -.07, p = .730$	$r_s = .07, p = .738$
Balance	$r = .16, p = .431$	$r = .36, p = .073$
Flexibility	$r = .09, p = .648$	$r = .29, p = .151$
Endurance	$r = .16, p = .439$	$r = .24, p = .243$
Visuo-motor coordination	$r = .20, p = .339$	$r = .12, p = .547$
Global motor coordination	$r = -.12, p = .559$	$r = .07, p = .744$
	Experiment 1c	
	Full-embodied avatar effect	Impaired-embodied avatar effect
	Global	$r = .31, p = .127$
Strength	$r_s = .31, p = .129$	$r_s = .40, p = .046$
Gait	$r = .29, p = .149$	$r = .42, p = .032$
Balance	$r = .38, p = .057$	$r = .30, p = .133$
Flexibility	$r_s = .33, p = .102$	$r_s = .44, p = .026$
Endurance	$r = .13, p = .513$	$r = .25, p = .228$
Visuo-motor coordination	$r = .25, p = .217$	$r = .33, p = .104$
Global motor coordination	$r = .29, p = .147$	$r = .37, p = .066$
	Study 2	
	Full-embodied avatar effect	Impaired-embodied avatar effect
	Composite	$r = -.02, p = .908$
Strength	$r = .08, p = .615$	$r = -.01, p = .940$

Gait	$r = -.04, p = .805$	$r = -.22, p = .171$
Balance	$r = .05, p = .752$	$r = -.21, p = .194$
Flexibility	$r = -.15, p = .350$	$r = -.22, p = .172$
Endurance	$r_s = .04, p = .819$	$r = -0.08, p = .606$
Visuo-motor coordination	$r = -.07, p = .689$	$r = -.19, p = .248$
Global motor coordination	$r = -.07, p = .678$	$r = -.14, p = .396$

Annexe XXI : Matériel supplémentaire – Etude 5

Supplementary material

Embodiment of an elderly avatar and impact on explicit recall performance

Motor imagery time.*Distance*

	Descriptives	Contrasts (Holm's corrected)	
Distance 1	3.66 (1.74)	$b = 1.59, t(102) = 18.11, p < .001$	
Distance 2	6.84 (3.23)		$b = 1.45, t(102) = 16.17, p < .001$
Distance 3	8.91 (4.63)		$b = 1.04, t(102) = 12.39, p < .001$
Distance 4	11.80 (6.20)		

Note. Mean (Standard deviation), in seconds.

*Avatar * Awareness*

	Elderly avatar	Neutral avatar
Self-awareness condition	8.32 (3.93)	7.54 (4.46)
No-self-awareness condition	7.93 (3.70)	7.40 (3.16)

Note. Mean (Standard deviation), in seconds.

Distance estimations.

	Descriptives	Contrasts (Holm's corrected)	
Distance 1	2.61 (1.57)	$b = 1.73, t(100) = 15.95, p < .001$	
Distance 2	6.07 (3.47)		$b = 1.40, t(100) = 13.44, p < .001$
Distance 3	8.86 (5.33)		$b = 1.65, t(100) = 12.89, p < .001$
Distance 4	12.16 (7.61)		

Note. Mean (Standard deviation), in seconds. 2 participants were removed from the analyses considering extreme values.

Reliability analyses: Cronbach's alpha.*Identification scale*

	Elderly avatar	Neutral avatar
Self-awareness condition	$\alpha = .94$	$\alpha = .91$
No-self-awareness condition	$\alpha = .95$	$\alpha = .91$

À Hippolyte.

*Pour se rappeler que le temps ne se rattrape pas,
et choisir de ne plus le laisser filer.*

Résumé

L'effet Proteus : Performances motrices et cognitives en situation d'incorporation d'un avatar.

La représentation corporelle, étonnamment plastique, peut présenter des déviations importantes par rapport aux frontières du corps biologique. Les paradigmes d'incorporation illustrent cette plasticité. Il est possible, par exemple, d'intégrer à la représentation corporelle une main en caoutchouc, ou de faire émerger un sentiment d'incorporation pour un avatar d'âge différent de celui du participant. L'incorporation d'un avatar s'accompagne de conséquences perceptives, cognitives et comportementales, ces dernières ayant largement été étudiées dans le cadre de l'effet Proteus. Par exemple, l'incorporation d'un avatar attractif, plutôt qu'un avatar peu attractif, conduit les participants à se montrer plus confiants et extravertis aux cours des échanges, conformément aux stéréotypes relatifs à la beauté. Ce phénomène de conformisme aux stéréotypes associés à l'avatar incorporé a été discuté au regard de différents processus : processus d'auto-perception, effet d'amorçage, processus d'incorporation, adhésion aux stéréotypes. Toutefois, les arguments empiriques sont insuffisants pour comprendre précisément les mécanismes sous-jacents à l'apparition du phénomène. Un premier objectif de ce travail de thèse était de confirmer l'intervention d'un mécanisme additionnel à celui d'un effet d'amorçage situationnel direct dans l'apparition de l'effet Proteus. Conformément à l'hypothèse, les études ont démontré le phénomène au-delà de l'activation des stéréotypes associés à l'avatar. Un second objectif était de tester le rôle causal du processus d'incorporation sur l'apparition de l'effet Proteus. Contrairement à ce qui était attendu, un effet Proteus a été retrouvé indépendamment du fait de considérer le corps de l'avatar comme étant sien. Les résultats sont en faveur de l'apparition du phénomène dès lors qu'une relation identitaire est instaurée avec l'avatar. Un dernier objectif visait à examiner la contribution d'un changement de perception de soi dans l'apparition de l'effet Proteus. Les études n'ont toutefois pas permis d'en attester. En somme, le présent travail de thèse apporte des éléments de compréhension de l'effet Proteus et incite à poursuivre la démarche d'approfondissement théorique vers l'étude des mécanismes relatifs à la perception de soi implicite. Améliorer la compréhension des mécanismes sous-jacents au phénomène offre des perspectives dans le domaine de la prise en charge thérapeutique et de la prévention des risques psycho-sociaux.

Mots clefs : effet Proteus, incorporation, perception de soi, amorçage, stéréotypes, réalité virtuelle

Abstract

The Proteus effect: Motor and cognitive performance in avatar embodiment situation.

Body representation is surprisingly plastic and can deviate from the boundaries of the biological body. Embodiment paradigms illustrate this plasticity. For example, it is possible to integrate a rubber hand in the body representation, or to elicit a sense of embodiment for an avatar of a different age from the participant. The embodiment of an avatar is associated with perceptual, cognitive, and behavioral consequences, which have been extensively studied in the context of the Proteus effect. For instance, the embodiment of an attractive avatar, compared to an unattractive one, led participants to be more confident and extroverted during exchanges, in line with stereotypes related to beauty. In the literature, this conformism to the stereotypes associated with the avatar has been discussed regarding different processes: self-perception process, priming effect, embodiment process, stereotype endorsement. However, empirical arguments are still insufficient to provide a precise explanation of the mechanisms underlying this phenomenon. A first objective of this thesis was to confirm the involvement of an additional mechanism to that of a direct priming effect in the occurrence of the Proteus effect. In line with the hypothesis, the studies demonstrated that the phenomenon occurs beyond the mere activation of stereotypes associated with the avatar. A second objective was to investigate the causal role of embodiment on the Proteus effect. Contrary to expectations, a Proteus effect was observed regardless of considering the avatar's body as one's own. The results support the occurrence of the phenomenon as long as an identity relationship is established with the avatar. A last objective was to examine the contribution of a self-perception change in the occurrence of the Proteus effect. However, the studies did not provide any conclusive evidence for this hypothesis. In summary, the present thesis provides new insights into the Proteus effect and suggests further theoretical investigation into the implicit self-perception mechanisms. A better understanding of the mechanisms underlying the Proteus effect promises perspectives in clinical practice and in prevention of psycho-social risks.

Key words: Proteus effect, embodiment, self-perception, priming, stereotypes, virtual reality