



HAL
open science

Sentiment des limites et immersion imaginative dans l'expérience de Rêverie Augmentée : une approche biomorphique du corps virtuel

Nathalie Delprat

► **To cite this version:**

Nathalie Delprat. Sentiment des limites et immersion imaginative dans l'expérience de Rêverie Augmentée : une approche biomorphique du corps virtuel. D. Roman; J. Bernard; S. Pic; J. Arnaud (dirs). Biomorphisme: Approches sensibles et conceptuelles des formes du vivant, Naima Editions/AMU/CGGG, pp.816-851, 2021, ISBN 978-2-37440-123-2. hal-02495486v2

HAL Id: hal-02495486

<https://hal.science/hal-02495486v2>

Submitted on 10 Nov 2020

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.

Sentiment des limites et immersion imaginative dans l'expérience de Rêverie Augmentée : une approche biomorphique du corps virtuel

Nathalie Delprat

Sorbonne Université, UPMC Univ.Paris 6, UFR Ingénierie
LIMSI-CNRS, UPR3251, BP133, 91403 Orsay Cedex, France
nathalie.delprat@limsi.fr

Article rédigé pour le volume des contributions théoriques au projet « Biomorphisme : Approches sensibles et conceptuelles des formes du vivant » à la suite du colloque qui s'est tenu à Marseille du 22 au 25 janvier 2019 à l'IMERA et à la Friche Belle de Mai. A paraître aux éditions NAIMA fin 2020.

Le développement des technologies numériques et des environnements virtuels a changé notre rapport au sensible par l'expérience d'un nouveau type d'hybridation corps-image issu de l'interaction d'une personne avec un dispositif de simulation. La diffusion rapide de ces technologies dans le grand public, en particulier avec les casques de réalité virtuelle, et leur utilisation dans le domaine de la santé, soulèvent la question essentielle de leurs répercussions sur l'individu. Les enjeux cruciaux qui en découlent ne peuvent être abordés uniquement par le biais de la réflexion philosophique et de l'expérimentation scientifique. Il est aussi nécessaire d'engager la mise en relation des imaginaires que seules l'expérience esthétique et la création artistique peuvent créer. Dans les applications scientifiques ou industrielles de réalité virtuelle, la problématique de l'imaginaire a été d'emblée mise de côté au profit de l'efficacité et du réalisme laissant pendant longtemps le soin aux artistes d'explorer cet aspect difficile à quantifier¹. Dans un cadre opératoire et performatif, l'environnement virtuel est conçu comme un décor interactif qui place la personne dans une fiction réaliste dont elle est un des personnages agissant, ou plutôt réagissant, dans un scénario qui va évoluer selon son comportement. Le sujet est donc à la fois l'interface et l'objet de l'expérience *par* et *dans* l'image qu'il modifie du fait de sa présence et de ses mouvements. Il peut y être *in-corporé* en voyant « au travers » d'elle², ou bien y être *re-présenté* par l'intermédiaire d'un avatar à forme humaine. Le sentiment d'immersion dans l'espace virtuel, comme pour l'identification avec l'avatar, sera d'autant plus fort qu'une cohérence optimale sera réalisée entre action et perception par les retours d'effet sur l'image³. Pour cela, un système de capture du mouvement

¹ on peut citer dès les années 1990, les travaux des artistes Maurice Benayoun ou ceux de Char Davies.

² vision dite à la première personne, on peut aussi simuler une partie du corps (les mains ou les jambes si elles sont dans le champ de vision)

³ le contenu visuel peut être enrichi par l'addition de rendus audio ou tactiles qui vont renforcer la crédibilité perceptive de l'interaction par la combinaison des différentes modalités sensorielles

détecte la position de la personne et permet de réaliser la correspondance⁴ formelle et dynamique la plus fidèle possible entre le corps réel et sa *re-production* virtuelle.

Le projet en recherche et création que je mène depuis plusieurs années sur *la rêverie augmentée* autour des liens entre matérialité virtuelle, conscience corporelle et imaginaire offre un renversement de perspective en déplaçant la condition de réalisme de la forme à la matière qui va générer le corps virtuel (Delprat 2014 & 2015). L'idée est de proposer une représentation matérielle du corps qui reproduise les mouvements de la personne mais avec les qualités physiques des matières élémentaires simulées. Expérimenter un corps-nuage, se transformer en flamme ou devenir gouttelettes d'eau ne procède pas de la seule modification formelle du corps mais change virtuellement son état. Cette transformation de la densité corporelle, en favorisant l'accord entre les temporalités du corps et celles de l'élément qui le matérialise, va permettre d'augmenter sensoriellement l'imaginaire des propriétés du médium virtuel dans l'interaction avec un *avatar matériel* ou *avatar-matière*. La combinaison des retours sensoriels avec cet imaginaire imagé *substantialisé* peut affecter jusqu'au sentiment même de soi, ouvrant des pistes novatrices dans l'exploration de la conscience corporelle, notamment par la modification virtuelle des frontières corps-moi. Pour dépasser les objectifs de performance ou de conditionnement et leur opposer un contrepoids poétique - *poïétique* -, le projet interroge la coévolution homme-machine dans le contexte d'une approche art-science-philosophie inspirée par les travaux de Gaston Bachelard sur l'imagination matérielle et la poétique de la rêverie (Bachelard 1942, 1943, 1948, 1957, 1960 & 1961).

Cette proposition est radicalement différente de ce qui se fait habituellement en réalité virtuelle dans le rapport du corps à l'image et de fait, en neurosciences dans l'étude de la conscience corporelle à l'aide de dispositifs de simulation numérique. La difficulté de cette recherche réside d'une part, dans le croisement des approches et la multiplicité des domaines concernés et d'autre part, dans la nécessité de développer en même temps une méthodologie, des protocoles et un nouveau champ d'investigation. Il est donc important de pouvoir s'aider de cadres existants pour penser les fondements théoriques de ce nouveau paradigme de recherche. C'est en ce sens que la notion de biomorphisme peut apporter un éclairage intéressant. A première vue, le lien avec le vivant et la forme peut ne pas paraître évident quand on évoque des avatars-*matière* comme représentations du corps *humain*. Je m'efforcerai de montrer en quoi la matérialité virtuelle décale le réalisme anthropomorphique, qui est central dans les applications de réalité virtuelle en sciences, vers ce que j'appellerai une *approche biomorphique*

⁴ le mapping temps-réel

du corps virtuel. Il s'agit d'adapter ou plutôt d'actualiser la notion de biomorphisme aux images de réalité virtuelle qui ont la capacité de simuler une matière « vivante », c'est à dire une matière qui possède des propriétés physiques spécifiques que l'on peut *ressentir* lorsqu'on interagit avec elle. Lorsque la forme de l'avatar n'est pas figée mais dépend de ces propriétés et des mouvements de la personne qu'il représente, il est possible d'expérimenter l'effacement virtuel des frontières corporelles et le sentiment des limites corps-moi ancré dans des strates émotionnelles profondes de la conscience. Avec le dispositif de Rêverie Augmentée (RêvA), un *rapport organique* à l'image peut s'établir à travers cette forme du corps qui se déforme de façon « naturelle »⁵ et devient parfois complètement abstraite. Il peut émerger alors une nouvelle sensation d'être au-delà de ce qui est perçu et qui laisse la place à ce qui perçoit. En quelque sorte, on s'éloigne de la structure morphologique du corps pour initier un processus d'engendrement de la forme qui peut *dévoiler*, par la médiation du virtuel, ce qui est inaccessible à l'image directe et le rendre sensible à travers la *projection imaginaire* du sujet dans la matière et *l'augmentation* de cet imaginaire par les qualités « physiques » de l'image. En réalité virtuelle, le vivant c'est l'humain, la forme, c'est le corps. En travaillant sur la substance du corps et son imaginaire, on dépasse l'apparence de la forme pour atteindre « la chair » qui la constitue à un niveau de conscience non-verbal qui nous ramène à l'essence même de notre corporalité⁶. L'élargissement de la notion de biomorphisme au virtuel peut de cette manière aider à mieux comprendre *notre organisme* dans son entité et par là-même ce qui nous rapproche du vivant dans sa globalité. C'est aussi un moyen de repenser les interrelations entre vivant et non-vivant, notamment le couplage humain-machine, dans un contexte environnemental qui a considérablement changé du fait de l'évolution des outils numériques. L'étude de ces problématiques passe par la mise en œuvre d'une *écotechnie* du virtuel (Nancy, 2001) qui préserve la dimension créatrice et imaginative du sujet, tout en développant un regard critique et transdisciplinaire sur les enjeux ontologiques et éthiques d'une *virtualisation matérielle* du corps.

Le corps dans l'image : l'illusion de l'appartenance

Avec l'objectif premier de réaliser le meilleur ajustement possible de la simulation à la perception, les applications conventionnelles de réalité virtuelle ont apporté des outils performants pour l'analyse des processus sensori-moteurs, des mécanismes de perception ou des fonctions cognitives de haut niveau comme les actions ciblées vers des objets et l'adaptation

⁵ c'est-à-dire en suivant les lois physiques de la nature

⁶ ce qu'Antonio Damasio nomme « *le vieux monde intérieur* » ou « *homéostasie de base* » (Damasio, 2017).

comportementale à des situations particulières⁷. Les environnements virtuels ont aussi permis d'étudier des illusions perceptives, en rapport avec à la représentation du corps, en provoquant des ambiguïtés entre les informations extéroceptives issues de différentes modalités sensorielles. C'est ainsi qu'une extension des recherches sur l'interaction entre *corps et environnement virtuel* vers les liens entre *corps virtuel et conscience corporelle* s'est produite. Des protocoles spécifiques en neurosciences cognitives ont été mis au point pour créer l'illusion de s'approprier un corps virtuel dans son entier ou de l'une de ses parties (Kilteni, Maselli, Kording & Slater, 2015). On peut citer, parmi bien d'autres, l'illusion d'avoir une queue de chat dans le dos (Stephoe, Steed & Slater, 2013), de se retrouver dans le corps d'un enfant (Banakou, Groten & Slater, 2013), dans celui d'une poupée Barbie ou d'un géant de quatre mètres (Van der Hoort, Guterstam & Ehrsson, 2011), ou encore de changer de couleur de peau (Kilteni, Bergstrom & Slater, 2013). De fait, l'étude du sentiment de présence dans un espace dématérialisé s'est déplacée vers celle du sentiment d'être incarné dans un corps virtuel à partir d'une transformation morphologique, d'échelle ou d'apparence. Cette illusion d'appartenance du corps - *body ownership illusion* - peut être renforcée par l'agentivité⁸ (Tsakaris, Prahbhu & Haggard, 2006) dans le contrôle actif de ce nouveau corps, en demandant par exemple au sujet de bloquer des balles avec sa queue de chat ou de jouer du tam-tam dans sa nouvelle peau. Parmi les manipulations globales du corps - *full-body illusions* -, des illusions de sortie hors du corps peuvent être déclenchées en exploitant des conflits inter-sensoriels à l'aide de stimuli visuo-tactiles synchrones. Ces illusions vont impacter à la fois le sentiment d'appartenance du corps mais aussi le sentiment de localisation du moi, c'est-à-dire la sensation d'être réellement situé à l'endroit où se trouve l'avatar. Je citerai l'expérience dans laquelle le sujet est debout avec un casque de réalité virtuelle sur la tête et voit l'image de son corps de dos, filmé par une caméra ou simulé numériquement par un avatar (Lenggenhager, Tadi, Metzinger & Blanke, 2008). Lorsque le dos du participant est touché de façon répétée avec une baguette et qu'il voit en même temps un mouvement identique sur le dos de l'avatar, il s'identifie en quelques minutes à celui-ci en transposant les informations tactiles qu'il ressent au corps virtuel qu'il observe⁹. Le cerveau minimise ainsi une incohérence perceptive en réajustant les informations sensorielles reçues sur une seule modalité, en général la vision. En

⁷ par exemple, simulation d'opérations chirurgicales ou simulateur de conduite dans le brouillard

⁸ sentiment d'être l'agent de ses actions

⁹ le déclenchement visuo-tactile d'illusions d'appartenance d'un corps artificiel ou d'une partie du corps s'inspire des travaux de Botvinick et Cohen (1998) sur l'illusion de la main en caoutchouc (voir revue dans Ijsselstein, de Kort & Haans, 2006)

effet, si le sujet est déplacé dans le noir et qu'on lui demande ensuite de revenir à sa position initiale, il va inévitablement se mettre sur la position du corps virtuel qu'il a visualisé auparavant. On peut donc dire que pendant toute la durée de l'expérience, le sujet se perçoit au-devant de son corps et qu'il localise son moi au-dedans du corps virtuel, c'est-à-dire qu'il se sent présent hors de ses propres frontières corporelles.

Manipulations virtuelles du moi

L'unité spatiale entre le corps physique et le volume dans lequel nous situons notre moi est essentielle pour construire un référentiel corporel à partir duquel nous percevons le monde et développons le sentiment d'appartenance de notre corps. C'est la raison pour laquelle induire virtuellement l'illusion d'une dissociation corps-moi chez des sujets sains permet d'expérimenter les liens complexes entre ressentis du corps et sentiment de soi. Le contexte immersif d'un casque de réalité virtuelle est bien adapté pour déclencher ce type de dissociation en offrant l'isolement visuel des sujets de l'image de leur propre corps. Dans le cas de la stimulation visuo-tactile synchrone, utilisée entre autres dans l'illusion de la sortie hors du corps, on demande aux participants d'être statiques, parfois en position couchée ou assise, afin que leur attention soit entièrement focalisée sur les deux modalités sensorielles stimulées, c'est-à-dire la vision et le toucher. Leur *présence passive* favorise ainsi l'illusion de l'extériorisation de leur moi. Ceci pose inévitablement la question de savoir quel niveau du sentiment de soi ces conditions expérimentales affectent et ce qu'elles permettent d'expérimenter comme forme minimale de conscience corporelle (Blanke, Metzinger, 2009). Le débat actuel est vif à ce sujet et de multiples interprétations sont avancées, rendant compte de la difficulté d'intégrer les différentes composantes du processus de sentiment de soi et de définir celles qui sont déterminantes pour le modéliser (Oxford, 2017)¹⁰.

La plupart des protocoles en neurosciences utilisant des dispositifs de réalité virtuelle se sont concentrés principalement sur la perception du corps via les informations provenant de l'extérieur (entrées extéroceptives) et se sont peu intéressés à l'apport de la perception de l'intérieur du corps (signaux intéroceptifs)¹¹. Ce n'est que récemment que l'influence d'une partie de cette dimension interne a été explorée en projetant sur le corps de l'avatar des signaux cardiaques ou respiratoires en synchronie avec les battements de cœur ou la respiration du sujet. Il a été montré qu'extérioriser ces signaux renforce l'identification avec le corps virtuel et permet de confirmer le rôle de l'intéroception dans le sentiment d'appartenance du corps

¹⁰ cf. conférence <https://senseofselfoxford.wordpress.com>

¹¹ produits par le milieu intérieur, les viscères et les muscles lisses (comme intérieur des artères, intestins, bronches)

(Tajadura-Jiménez, Tsakaris, 2014). Par contre et de façon logique, il a été établi que moins les personnes sont réceptives à leur état interne, plus elles peuvent s'identifier au corps de leur avatar. Une manière de constater le degré d'identification est de faire subir une menace corporelle à l'avatar (sa queue de chat brûle, il reçoit une gifle ou un coup de marteau sur la main) qui va entraîner inévitablement une réaction de peur et de retrait de la personne. En d'autres termes, lorsque les participants acceptent de se laisser faire et « oublient » leurs corps, ils sont sujets à des illusions qui peuvent aller jusqu'à un « transfert spatial » de leur moi (Kitelni, Groeten & Slater 2012). C'est la clé de ce que j'appellerai *la neutralisation affective du corps réel* qui devient transparent au profit du corps virtuel, accomplissant d'une certaine façon le vieux rêve d'une immersion parfaite du sujet, non pas dans un espace simulé mais dans un avatar d'apparence humaine.

De façon métaphorique, on peut avancer que la manipulation du sentiment de soi à travers l'illusion seule d'appartenance¹² ne peut être effective qu'avec « *de l'existence refroidie* », pour reprendre l'expression de Merleau-Ponty (Merleau-Ponty, 1960) concernant la différence entre « *la présence qui appartient au vécu* » (p.92) et ce qu'un enregistrement conserve de cette présence¹³. Cela ne veut pas dire que cette manipulation n'est pas vécue intérieurement mais qu'elle implique de figer par la dimension perceptive ce que l'on cherche à manipuler, en minimisant les effets éventuels de modulation émotionnelle produits par la dimension imaginative. Il y a certes des choses à apprendre sur le fonctionnement du cerveau grâce à la possibilité de simuler un transfert dans un autre corps ou une sortie de corps (Slater, Sanchez-Vives, 2014). Les études menées ont permis par exemple d'explorer les mécanismes d'intégration des signaux proprioceptifs, vestibulaires et visuels qui participent à la construction du sentiment de soi (Lopez, Blanke, 2010), (Slater, Spanlang, Sanchez-Vives & Blanke, 2010). De façon plus critique, on pourrait dire que cette approche procède d'une vision cognitiviste et mécaniste de l'humain (Stapleton, 2013), (Versace, Brouillet, Vallet, 2018), dans le sens où elle favorise l'étude du traitement de l'information extéroceptive et sépare perception sensorielle et perception émotionnelle en se focalisant principalement sur les interactions sensorimotrices à travers des portails sensoriels spécialisés (toucher fin et vision)¹⁴. Ainsi, elle s'applique à manipuler des objets dans leur globalité (un corps, un moi) ou tout du moins des enveloppes (un contenant corporel, un moi global) et cherche à atteindre ce qui pourrait faire sujet à minima

¹² à travers l'identification et la localisation du moi

¹³ Merleau-Ponty évoque un enregistrement audio

¹⁴ il s'agit bien d'une approche incarnée de la cognition (embodied cognition) mais s'arrêtant à la proprioception donc à une prise en compte partielle des sensations internes.

en laissant volontairement de côté les aspects intéroceptifs, et plus généralement *l'intériorité corporelle organique*, à l'origine des émotions qui participent de l'image du corps et de la représentation du moi (Damasio, 1994, 1999, 2010, 2017). Alain Milon¹⁵, qui a travaillé sur la dématérialisation du corps dans le virtuel, souligne l'aspect circulaire du problème et résume bien la situation en remarquant que : « *s'il est nécessaire de libérer le corps, c'est uniquement pour affirmer une vie intérieure plus riche, tout en continuant à comprendre que le corps reste...une présence.* » (Milon, 2005 cité p.14 dans Hansen, 2009). La difficulté réside donc dans la possibilité de développer un protocole qui permette d'étudier la boucle rétroactive entre l'expérience perceptive globale et les détails du ressenti émotionnel à une échelle plus fine, c'est-à-dire à un niveau du processus de construction du sentiment de soi beaucoup moins accessible par l'expérience scientifique. En amont du discours narratif et des émotions répertoriées, ce ressenti constitue *la trace organique* d'un vécu singulier, une trace qui se prête d'autant moins à une analyse ciblée qu'elle transparaît comme un sentiment diffus, souvent éphémère et trop instable pour ne pas s'évanouir lorsqu'on tente de la cerner.

ELEMENTA : des avatars-nuages aux avatars-matières

Le projet ELEMENTA¹⁶ étudie l'impact sensoriel et émotionnel d'une transformation virtuelle de la densité corporelle sous forme d'une matière élémentaire (eau, air, feu) en s'appuyant sur le dispositif RêvA, développé au LIMSI-CNRS depuis plusieurs années dans le cadre de la thématique VIDA¹⁷. Ce dispositif interactif permet de capturer les mouvements d'une personne et de projeter sur grand écran un avatar-matière qui représente son corps avec le rendu visuel et dynamique de la matière simulée. Aucun port de casque ou de lunettes stéréoscopiques n'est nécessaire. La capture du mouvement par une caméra Kinect permet de construire le squelette numérique de la personne et un générateur de particules réalise la simulation graphique en temps-réel (Delprat, 2019). Les particules étant émises aux points de jonction du squelette, la représentation virtuelle du corps est intrinsèquement liée aux gestes de la personne et à ses déplacements. Sa forme va évoluer selon les propriétés de la matière, et il est ainsi possible de « vivre » son corps dans différentes matérialités (cf. figures 1 et 2). Dans le cas de la matière nuage avec laquelle ces recherches ont commencé (Delprat, 2014), l'avatar peut conserver une forme proche de la silhouette humaine (*avatar-cumulus*), être plus enveloppant (*avatar-stratus*) ou complètement abstrait avec une représentation du haut du corps par des lignes horizontales

¹⁵ philosophe français, enseignant-chercheur à l'université Paris-Nanterre

¹⁶ projet financé en 2018-19 par la MSH Paris-Saclay (appel à projet Maturation, 2017)

¹⁷ Virtualité, Interaction, Design et Art : <https://vida.limsi.fr>

(*avatar-cirrus*). Grâce à la modification des paramètres d'un type de nuage donné, la personne peut tester différentes dynamiques avec des avatars évanescents ou au contraire très compacts et peu réactifs. L'ajout d'un effet audio-visuel de vent contrôlé avec les mains et d'un effet d'échelle qui dépend de la position du corps par rapport à l'écran permet de déplacer l'avatar dans l'espace, de s'y fondre ou d'en provoquer la dispersion¹⁸. Les nouveaux rendus graphiques de matières développés récemment dans ELEMENTA ont permis de générer des avatars-flamme, bulle et gouttelettes d'eau¹⁹. Un mode de contrôle de la matière par le souffle et la voix est en train d'être implémenté et un séquenceur interactif a été intégré au programme. Ces avancées informatiques vont donner de nouvelles possibilités de correspondance entre sons, matières et gestes. Elles vont aussi offrir une grande liberté dans la configuration temporelle des séquences pour la mise au point de protocoles scientifiques et la création d'œuvres artistiques. Les nouveaux avatars ont d'abord été testés au LIMSI à Orsay puis avec cinq danseurs du PNSD²⁰ pendant des sessions de travail au LMA à Marseille²¹. Ils ont constitué une partie des éléments de l'installation interactive *Murmure*²² présentée au public lors de l'exposition *Biomorphisme, Approches sensibles et conceptuelles des formes du vivant* à la Friche-Belle de Mai à Marseille, entre novembre 2018 et février 2019 (Delprat, 2020)²³.

¹⁸ vidéo avec des avatars-nuages (LIMSI-CNRS) : https://youtu.be/hwSR_ihy-wI

¹⁹ avec les collaborations de N. Ladevèze (responsable informatique du projet ELEMENTA) et Y. Okuya (LIMSI-CNRS), J-M. Couturier (BlueYeti)

²⁰ E. Bussinet, H. Maetani, H. Nunogaki, A. Peluso et I. Prandi, Pôle National Supérieur de Danse Rosella Hightower (PNSD, partenaire du projet) et Ballet National de Marseille (BNMNEXT), encadrés par Flora Aubry.

²¹ collaboration P. Sanchez, Lab. de Mécanique et d'Acoustique à Marseille (LMA-CNRS, partenaire du projet)

²² installation interactive, N. Delprat 2018 (cf. catalogue de l'exposition Biomorphisme, Editions Naïma)

²³ dans le cadre du partenariat avec le projet Biomorphisme (Centre Gilles Gaston Granger, CGGG, Aix-Marseille) porté par J. Bernard (philosophe, CGGG) et S. Pic (artiste, Marseille)



Figure 1 : avatar-cumulus

avatar-cirrus

avatar-stratus



Figure 2 : avatar-bulle

avatar-flamme

avatar-gouttes

Crédit photos : n.delprat

Effacement virtuel des frontières corporelles

Plusieurs campagnes de tests menées sur une cinquantaine de personnes avec les avatars-nuages ont montré l'influence des propriétés de la matière sur les mouvements et l'état émotionnel des sujets. Elles ont mis notamment à jour l'existence d'illusions perceptives spécifiques en lien direct avec la matière simulée (Delprat, 2019). Très brièvement, on peut souligner que pour une grande majorité de participants, l'expérience est jugée agréable ou très agréable, avec des sensations de voler, de légèreté ou des ressentis de la matière à l'intérieur du corps. Une minorité d'entre eux décrit des sentiments plus déstabilisants voire angoissants de « *corps qui se vide* » (12%) ou « *qui se morcelle* » (15%) avec des avatars aux limites floues, trouées ou fuyantes comme par exemple l'avatar-cirrus ou l'avatar-stratus avec vent. Dans ces cas, les matières nuage permettent d'expérimenter l'effacement virtuel des frontières corporelles avec pour certains des sensations très troublantes. Cela peut aller d'un sentiment de perte des repères corporels « [...] *tout est flou, même mon corps, il n'y a pas de limites, il n'y a rien*²⁴ » jusqu'à la perturbation du sentiment de soi : « [...] *quelque chose qui m'échappe comme si je perdais*

²⁴ extraits d'entretiens recueillis pendant le protocole (cf. Delprat, 2019)

des bouts de mon être, des lambeaux de mon être qui s'en vont » ou encore de perte de l'unité corporelle « [...] *Je ne me sentais pas coupée physiquement mais c'est comme si, psychologiquement je ne ressentais plus mes bras, mes jambes, même si je sais que je marchais toute entière* ». Il peut aussi y avoir un sentiment de perte de contenance : « [...] *cela me donnait l'impression d'être sans substance, sans enveloppe* ». Pour la plupart des sujets, ces sentiments sont difficiles à verbaliser et n'ont jamais été éprouvés, sauf peut-être à évoquer pour quelques-uns le passage du sommeil à la conscience « [...] *dans ce moment, où on quitte un moment de rêve et on revient à la réalité, on se réveille. Ce moment où on n'est pas trop sûr de ce qui s'en va et de ce qui arrive dans ce qu'on perçoit, dans le flou des perceptions qu'on a, et du coup cette impression d'étrange, d'étrangeté* ». L'ensemble des entretiens recueillis apporte de multiples témoignages de l'impact de l'expérience sur l'image que nous avons de notre corps et de la représentation du moi que nous en formons. La question est de comprendre de quelle façon les différences dans le traitement du corps virtuel affectent ces représentations, souvent de manière brève mais avec une reproductibilité qui diminue le poids que pourrait avoir l'effet de surprise²⁵. Pour cela, il est nécessaire d'analyser les écarts dans les seuils individuels de perturbation des frontières corps-moi et la valeur positive ou négative du vécu émotionnel associé.

Sentiment de perte des limites : un vécu en « profondeur »

La corrélation entre les qualités matérielles de l'avatar-nuage et les ressentis de la personne résident en partie dans le sentiment d'appartenance mais aussi dans les mécanismes de reconnaissance de soi comme c'est le cas lorsqu'on se regarde dans un miroir. La nouveauté de l'expérience proposée est que le miroir n'a pas seulement un effet de transformation spatiale de l'information visuelle mais affecte la forme du corps par la *substance propre* du « reflet ». Certaines personnes peuvent rester dans le contrôle distancié de cette représentation virtuellement substantialisée en ayant des sensations principalement engendrées par la dimension kinesthésique de l'interaction, comme dans la sensation de voler, ou à travers des illusions provoquées par des stimuli visuo-proprioceptifs contradictoires qui peuvent donner par exemple le sentiment d'être poussé sur un côté alors que le corps réel est fixe et que le nuage est balayé par le vent. Lorsque le sujet reste immobile face à son avatar, notamment avec le stratus de forme enveloppante, des états émotionnels associés à des sensations de bien-être comme la sérénité, le calme, ou l'impression de flotter, peuvent aussi apparaître. Pour les participants qui arrivent à lâcher prise tout en restant focalisés sur leurs ressentis, la connexion

²⁵ le protocole comprend deux séquences successives de 12 mn, chacune suivie d'un entretien

avec l'image se réalise au-delà du simple jeu de contrôle d'un reflet flou ou d'une masse déformable. A la relation agentive basée sur le schéma corporel²⁶ s'ajoute une composante émotionnelle plus importante avec des degrés divers de projection du sujet dans le nuage qui peuvent aller de la sensation subtile de *s'y retrouver* au sentiment d'y être *intimement lié*, même lorsque la forme est très éloignée de la silhouette humaine : « *c'est un peu étrange, [...] ce n'était pas moi à proprement parler mais il y a quand même quelque chose de moi* », « *[...]j'étais là mais en même temps j'étais le nuage et c'était comme si les deux se reconnectaient* ». Comme mentionnés précédemment, des sentiments plus angoissants d'effacement des frontières peuvent aussi apparaître, que cela soit par rapport aux limites corporelles : « *au début de voir l'avatar filer comme ça, c'était presque comme si je me vidais [...]* » ou par rapport à l'unité du sentiment même de soi, « *c'était très perturbant, alors j'ai essayé de pas bouger pour ne pas perdre des bouts de moi, mais en fait ça partait quand même et du coup cela trouble un peu, j'ai le sentiment de me perdre* ». L'impact de l'avatar-matière sur la représentation des limites du corps, et par la même de son enveloppe protectrice, produit chez certaines personnes des sensations corporelles spontanées comme des picotements dans la paume des mains, des fourmillements dans la nuque ou encore de la chaleur à l'intérieur du corps (Delprat, 2019). Ces réactions cutanées dans l'épaisseur du derme, de ce qu'Antonio Damasio appelle « *la peau viscérale* » en opposition avec la peau comme surface de contact (Damasio, 1994) représentent un effet de régulation du métabolisme interne et sont un moyen pour l'organisme de rétablir une représentation stable des limites du corps réel en reprenant *de l'intérieur* le contrôle des frontières (Michael, Naveteur, Dupuy & Jacquot, 2015). Ces sensations, basées principalement sur des informations intéroceptives, sont jugées positivement comme apaisantes et plutôt agréables par ceux qui les ressentent. Par contre, on peut supposer que les sujets ayant une sensibilité intéroceptive moindre (Tsakiris, Critchley, 2016) n'arrivent pas à ajuster rapidement l'image de leurs références corporelles, ce qui peut les conduire au sentiment désagréable de perte de l'entité corps-moi par morcellement, dissipation ou dislocation. Dans l'incapacité de percevoir suffisamment l'état présent de leurs corps, ils semblent « *émotionnellement débordés* »²⁷ par l'interaction avec leur avatar et décrivent ce qui s'apparente à une perturbation momentanée de la représentation de leur moi. Les retours d'expérience recueillis lors des protocoles expérimentaux (Delprat 2019) suggèrent que cette

²⁶ cartographie « dynamique » du corps par le cerveau à partir des postures et des mouvements dans l'espace

²⁷ au sens biologique de la réponse de l'organisme à une modification du corps, réelle ou imaginée

virtualisation en profondeur du moi²⁸ pourrait fournir un outil pertinent pour étudier le rôle de la dimension intéroceptive dans le processus complexe de la construction du sentiment de soi - concept d'*inner-self* (Tajadura-Jiménez, Tsakiris, 2014) (Craig, 2002).

L'idée, que j'ai formulée dès les résultats du premier protocole, est que l'interaction avec un avatar-matière engage le sujet au niveau *des sentiments d'arrière-plan* (Damasio, 1994, 1999, 2010) qui nous renseignent en permanence sur l'état global de notre corps sans que nous y prêtions attention, excepté lorsque celui-ci est altéré ou perturbé. Selon Antonio Damasio, ces sentiments serviraient de cadre référence à l'émergence d'un *moi-noyau* conscient d'exister mais aussi de posséder un corps avec des frontières définies, qu'il peut contrôler et qui lui apporte une perspective singulière sur le monde extérieur. Ce stade transitoire dans le processus d'élaboration du sentiment de soi précède la construction verbale, les références autobiographiques et le sens du passé et du futur. Il ajoute cependant une tonalité émotionnelle, *un vécu conscient* et *une valeur qualitative* à la perception du corps dans *l'instant présent*, entre bien-être et douleur, relaxation et tension, légèreté et lourdeur, lassitude ou énergie²⁹ qui serait selon lui à la base de l'expérience subjective. A côté des théories autour du *self-embodiment* qui ont mis en évidence le rôle de la sensibilité intéroceptive dans le sentiment d'appartenance du corps et dans la modulation des frontières entre soi et les autres (cf références dans Tajadura-Jiménez, Tsakiris, 2014), les recherches en psychologie clinique et en psychiatrie sur le vécu du sentiment des frontières peuvent aussi donner des pistes d'analyse. Parmi ces approches, le concept de *Moi-peau* développé en psychologie psychanalytique par Didier Anzieu permet de travailler sur les liens métaphoriques entre la peau comme *enveloppe corporelle* limitante, contenante et *l'enveloppe psychique* garante d'un espace intime unifié, à la frontière perméable et plus ou moins rigide selon l'histoire du développement psychique de la personne depuis les échanges précoces - notamment tactiles - entre la mère et le nourrisson (Anzieu, 1985)(Chabert, Cupa, Kaës & Roussillon, 2007). La question de la variabilité interindividuelle des seuils psychiques de *perméabilité* ou de *barrière* qui participent de l'expérience subjective des limites de soi avec le monde ou avec les autres, a fait l'objet de peu d'expériences du fait de la difficulté à construire des tests psychométriques donnant des résultats statistiquement pertinents (Krzewska, Dolińska-Zygmunt, 2013). L'identification avec un avatar-nuage aux contours mal définis et mouvants pourrait servir de support à ce type d'étude à travers la manipulation

²⁸ je choisis ce terme par opposition à *la virtualisation en surface* du moi des full-body illusions qui manipulent un moi-enveloppe, en jouant plus sur la dimension extéroceptive qu'intéroceptive

²⁹ paires de qualificatifs donnés par Damasio et dont une grande partie est apparue dans les entretiens, c'est d'ailleurs de cette façon que j'ai été amenée à m'intéresser aux sentiments d'arrière-plan

virtuelle du sentiment des frontières fluctuantes entre le *Moi-psychique* et le *Moi-corporel*³⁰. Elle pourrait aider notamment à trouver des critères indicatifs permettant de discerner les personnes ayant une fragilité ou un manque de stabilité de l'image de leur corps dus à d'éventuelles carences³¹ ou à des troubles des fonctions de leur *Moi-peau*. Il y a là une grille d'analyse que j'ai commencée à explorer et qui est complémentaire de celle des neurosciences pour arriver à mieux cerner ce qui fait l'originalité et la spécificité du vécu de l'interaction avec les avatars-nuages.

Immersion imaginative : entre attention et rêverie

Que cela soit du côté des sensations corporelles ou du ressenti psychique, la perception de l'expérience peut varier pour chaque personne selon le contexte ou l'humeur du moment. Il n'y a pas eu encore de répétition du protocole sur plusieurs jours ou plusieurs semaines pour quantifier précisément ces variations et mesurer leur impact. Dans tous les cas, cette perception dépend fortement du niveau d'engagement dans l'image qui s'appuie lui-même sur le degré d'attention porté au corps, et plus particulièrement à l'état d'arrière-plan. Pour faire émerger les sentiments qui y sont associés et donc tendre vers un niveau fondamental de la perception consciente du corps, il faut écarter tout acte guidé, analysé ou commenté en direct et garder uniquement un contact sensoriel avec l'image à travers un minimum de gestes ou bien par l'alternance entre mouvement et immobilité. L'état le plus propice pour trouver cet équilibre est celui d'une *rêverie active* qui offre la liberté et la disponibilité suffisantes pour s'immerger imaginativement dans un corps-nuage et en éprouver les qualités matérielles par l'action. En d'autres termes, il ne s'agit pas simplement de laisser vagabonder son esprit - concept de *mind-wandering* (Mason, Norton, Van Horn, Wegner, Grafton & Macrae, 2007) - mais d'ancrer ce vagabondage dans la substance dynamique de l'élément qui le porte, en restant concentré sur ses ressentis. C'est ainsi que se définit ce que j'ai appelé *l'expérience de Rêverie Augmentée* en référence d'une part aux travaux de Gaston Bachelard sur la rêverie des éléments qui ont nourri cette recherche depuis le début (Delprat, 2015), et d'autre part aux applications technologiques de Réalité Augmentée qui enrichissent notre perception par l'ajout au monde réel de composantes virtuelles³². Avec les avatars-matières, c'est l'imaginaire qui est sensoriellement³³

³⁰ termes choisis par Anzieu

³¹ une étude pilote du côté de la psycho-clinique et de la pédo-psychiatrie va bientôt démarrer pour approfondir ces aspects psychiques et réfléchir à l'adaptation du protocole à certaines pathologies.

³² comme dans les jeux vidéo ou sur les téléphones portables (par exemple, intégrer virtuellement un meuble dans sa maison pour choisir son emplacement)

³³ pour être précis, il faudrait parler d'augmentation somato-sensorielle

augmenté par le virtuel et prend de fait une place essentielle dans la boucle d'action-perception. Cette proposition reste très atypique dans le cadre d'une recherche scientifique utilisant un dispositif de simulation interactive et nécessite de développer une nouvelle méthodologie prenant en compte ce changement radical de perspective. En déplaçant le point de vue vers une position intermédiaire entre sujet agissant et sujet rêvant, l'expérience de Rêverie Augmentée se trouve en-deça d'une fantaisie qui serait sans rapport au réel et générerait un imaginaire singulier auquel la personne adhère ou pas, comme dans le cas d'œuvres littéraires et artistiques. De même, elle se situe au-delà d'une simulation du réel qui chercherait l'ancrage de l'illusion perceptive d'un vécu dématérialisé dans le réalisme de l'image, telle que développée dans de nombreux protocoles expérimentaux. Pour utiliser des termes bachelardiens, c'est avant tout *l'adhésion intime* à l'image par la rêverie qui va déterminer le degré d'immersion du sujet dans l'avatar-nuage à travers une *participation substantielle* qui convoque le corps de l'intérieur et peut nous faire connaître « *toute une perspective d'antécédence d'être* » (p.93, Bachelard, 1960). L'intention n'est pas de chercher à tromper la perception pour faire mieux ressentir *un nouveau mode d'être* mais de s'appuyer sur la *dimension imaginaire* de l'expérience subjective et de l'impact qu'elle peut avoir sur la conscience corporelle pour atteindre des strates profondes du sentiment même de soi.

Enjeu de l'approche biomorphique en réalité virtuelle

Dès ses débuts, la notion de biomorphisme s'est inscrite dans l'histoire de l'art³⁴ par le double refus de la figuration réaliste et de l'abstraction géométrique (Maldonado, 2006). La voie intermédiaire que propose la rêverie augmentée dans la conception d'avatars-matières s'apparente à une recherche similaire d'un *entre-deux* dans la représentation virtuelle du corps en se détournant de sa reproduction mimétique formelle sans être en rupture totale avec le réel. En se déployant dans un espace qui va s'étendre ou se concentrer selon les propriétés de la matière et les mouvements du participant, l'avatar matériel permet d'expérimenter la *malléabilité plastique* de l'image virtuelle, de s'y projeter, de se laisser porter ou envahir par elle. Cette indifférenciation entre matière et espace peut participer du sentiment de l'effacement des frontières par la difficulté de séparer le dedans et le dehors qui vont se mélanger d'autant plus que la matière est dynamique et qu'un effet extérieur de vent peut venir amplifier l'équilibre instable de la représentation virtuelle. La différence de postures entre les personnes qui s'adaptent à l'image mouvante de leur corps et jouent avec l'effet de puissance ou de liberté que le vent leur procure et celles (une minorité) qui restent statiques sans oser bouger pour de

³⁴ au milieu des années 1930 dans le champ de la critique d'art, notamment Alfred Barr et Geoffrey Grigson.

ne pas avoir le sentiment de se dissoudre dans l'espace est une illustration de l'aspect ambivalent de l'expérience. Si la matière a un comportement réaliste et réagit comme on s'y attend, l'image transformée du corps qu'elle renvoie peut entrer en conflit avec les données sensorielles immédiates : cela ne peut être et pourtant je le ressens, je suis toujours moi mais mon image me dit autre chose. Il faut avoir la capacité de se (re)trouver *en empathie* avec cette projection évolutive de soi et s'accorder corporellement à la temporalité, la fluidité que la matière impulse à la forme afin de se l'approprier imaginativement (Delprat, 2015). C'est cet ajustement de l'image virtuelle à l'imagination et non pas à la perception (Wiesing, 2010) qui va opérer comme un révélateur, au sens chimique du terme, de l'enfoui et de l'invisible par le biais de l'interfaçage avec le corps.

Cette perspective d'intimité avec la matière, les possibilités de déformations continues et de transformations infinies du corps comme la médiation de l'imaginaire dans le rapport à l'espace sont autant de d'éléments qui font résonance avec le biomorphisme originel et qui permettent de repenser l'avatar-matière à l'aide d'une approche biomorphique du corps virtuel. Comme je l'ai déjà mentionné, cette approche se démarque de l'idée de simulation « réaliste » qui soutient les applications scientifiques de réalité virtuelle que cela soit par rapport à la forme du corps ou dans l'interaction avec l'avatar, y compris lorsque celui-ci représente le corps hybride d'un homme avec une queue de chat (Steptoe, Steed & Slater, 2013). Ces applications s'intéressent avant tout à la caractérisation du sentiment d'appartenance du corps à travers l'action ou le déclenchement d'illusions perceptives. Dans le premier cas, le sujet est réactif et essentiellement focalisé sur le contrôle de son corps. Dans le second, il reste statique et passif émotionnellement. Grâce au mouvement conjoint de la matérialisation de la forme et de la perspective de profondeur, l'approche biomorphique offre une voie d'accès plus ouverte en se dégageant de ce type de vision duelle entre cognition et émotion, contenant et contenu, corps et conscience. Si les avatars-nuages les moins anthropomorphiques provoquent les ressentis les plus marqués, c'est parce qu'ils offrent une prise, même vague et éphémère, à cet approfondissement des apparences qui se libère du langage et de l'imitation pour « s'informer » dans le processus organique de la construction du sentiment de soi. Ce retournement - ce détournement - *vers et par le corps* a besoin du support de l'imagination matérielle et de sa matérialisation virtuelle pour peser non pas sur le sentiment de présence mais sur la représentation même du moi à un niveau de conscience minimal. Entre ce qui se voit et ce qui reste caché, la métamorphose du corps se vit comme l'expérience sensible d'un dévoilement intérieur dans la jonction et le rééquilibrage de forces internes et de dynamiques externes, avec des intensités variables selon les personnes.

L'enjeu de cette approche en réalité virtuelle est d'être source de création de valeurs éthico-esthétiques qui s'affranchissent autant que possible d'un rapport réducteur au vivant, imposé par la nature même des technologies de la représentation que sont les dispositifs de simulation interactive utilisés de façon conventionnelle. Il s'intègre par cet aspect au questionnement actuel sur la reconsidération de notre relation au vivant, discutée dans le projet Biomorphisme³⁵, notamment sur les limites de l'approche physique ou mathématique de sa compréhension³⁶. Concevoir un autre rapport au corps grâce aux outils de la réalité virtuelle, c'est aussi étudier « la matière humaine » au-delà des données sensibles immédiates, c'est tenter de cerner autant que possible ce qui nous rend vivant et créatif. Il est donc essentiel de mettre au point des protocoles qui puissent intégrer dans l'analyse scientifique la composante imaginaire de l'expérience sensible et l'affect qui lui est associé. La multiplication actuelle des interactions entre les champs de la création en art et de la recherche en sciences de l'ingénieur ou des sciences humaines traduit pour une large part ce besoin de penser collectivement des problématiques qui dépassent largement les frontières disciplinaires (Chomaz, 2018). Dans l'impératif épistémologique de fonder une nouvelle ontologie qui tienne compte de l'hybridation du sujet avec l'outil virtuel et de ses implications sur le corps connecté, réparé ou augmenté, il devient nécessaire de développer une *écotechnie* du virtuel (au sens écologique du terme³⁷) qui permette de repenser la dialectique du sujet et de l'objet, en s'appuyant sur les interrelations entre arts et sciences en termes de *création et d'imaginaire*. Il me semble fondamental d'intégrer ces dimensions dans les protocoles expérimentaux dès leur conception, y compris et surtout lorsqu'ils sont à visée thérapeutique, afin de développer de nouveaux modèles de savoirs qui puissent offrir des pratiques alternatives dans la prise en charge de patients à l'aide des technologies du virtuel.

³⁵ <https://biomorphisme.hypotheses.org>

³⁶ voir à ce sujet les travaux de G. Longo et M. Montévil sur modèles mathématiques et biologie théorique

³⁷ je transpose au monde numérique les critères du programme d'écotechnie développé conjointement par l'UNESCO et la fondation Cousteau pour le développement durable des ressources naturelles



Figure 3 : *Murmure*, crédit photo : n.delprat

Le projet ELEMENTA n'est plus dans sa phase exploratoire de faisabilité, même si l'enrichissement du dispositif est toujours en cours et que d'autres perspectives vont apparaître avec les nouveaux avatars-matière. L'approfondissement théorique et la validation expérimentale du *paradigme de Rêverie Augmentée* se poursuit actuellement sur différents aspects à la fois dans le domaine des applications médicales, des neurosciences et de celui de l'art³⁸. La *mise à l'épreuve de l'humain* qui est en jeu dans ce nouveau champ de recherche et de création participe d'une interrogation épistémologique plus large sur le vécu d'expériences de pensée substantialisées par le médium virtuel et sur le type de connaissances qui peut en résulter. Il est donc important d'effectuer la mise en cohérence de cette production trans/interdisciplinaire à partir de grilles d'analyse scientifiques, philosophiques et esthétiques complémentaires³⁹. Le détour par l'approche biomorphique, dans une version actualisée et adaptée au support des images virtuelles, fait partie des pistes théoriques pertinentes qui m'ont permis d'avancer sur la formalisation de cette démarche et la caractérisation du décalage conceptuel qu'introduit la matérialité virtuelle dans l'étude de la conscience corporelle. Les questions fondamentales soulevées par cette exploration m'ont conduit à faire de nombreux allers-retours, hypothèses, essais lors de la mise au point des dispositifs ou des protocoles et de l'interprétation des résultats. Mettre en correspondance l'incertain et l'hétérogène, comparer

³⁸ dès le début, j'ai exploré la dimension poétique de l'expérience en réalisant des vidéos et des installations artistiques dont certaines ont été présentées à l'exposition Biomorphisme (cf. catalogue de l'exposition)

³⁹ c'est que je vais m'attacher à poursuivre en 2020 dans le cadre d'une délégation CNRS au GGGG et d'une résidence courte à la Villa Médicis

une idée naissante avec des modèles existants, s'insérer dans des logiques fermées, repérer ce qui peut faire sens avant d'avoir des certitudes, risquer la fragilité et la contradiction, bifurquer grâce à des rencontres, c'est ce qui fait le sel et constitue le moteur d'une recherche en devenir. Cependant, je n'aurais pas eu la détermination de poursuivre et de défendre cette proposition singulière si je ne m'étais pas appuyée sur les travaux de Gaston Bachelard sur la *phénoménologie de l'imagination* dont la profondeur de vue et la modernité ne se démentent pas au fur et à mesure de l'avancée du projet. Ce sillon bachelardien me conduit bien au-delà d'une mise en perspective contemporaine de la typologie de l'imagination matérielle avec les résultats d'une expérience de rêverie augmentée, déjà riche de résultats et de potentialités. A mon sens, il donne quelque chose d'encore plus fécond, à savoir la direction vers laquelle il faut tendre pour créer une méthodologie qui intègre les critères de la preuve et les valeurs du sensible, en cherchant à atteindre la dimension poétique de l'être par un nouveau mode de connaissance qu'il reste à inventer.

Références

- Anzieu, D., *Le Moi-peau* (1985). Paris : Dunod.
- Bachelard, G. (1942). *L'eau et les rêves*. Paris : Librairie Joseph Corti.
- Bachelard, G. (1943). *L'air et les songes - Essai sur l'imagination du mouvement*. Paris : Librairie Joseph Corti.
- Bachelard, G. (1948). *La terre et les rêveries de la volonté*. Paris : Librairie Joseph Corti.
- Bachelard, G. (1957). *La poétique de l'espace*. Paris : PUF.
- Bachelard G. (1960). *La poétique de la rêverie*. Paris : PUF.
- Bachelard G. (1961). *La flamme d'une chandelle*. Paris : PUF.
- Banakou, D., Groten, R. & Slater, M. (2013). Illusory ownership of a virtual child body causes overestimation of object sizes and implicit attitude changes. *Proc. Nat. Acad Sci.*, 110 (31), 12846–12851.
- Blanke O., Metzinger T. (2009). Full-body illusions and minimal phenomenal selfhood. *Trends in Cognitive Science*, 13 (1), 7-13.
- Chabert C., Cupa D., Kaës R., Roussillon R. (Eds.). (2007). *Didier Anzieu : le Moi-peau et la psychanalyse des limites*. Le carnet Psy. Toulouse : Erès.
- Chomaz, J-M. (2018). It is time to think the Anthropocene! A manifesto. *Leonardo Journal*, 51, 2, 217-219.

- Craig, A.D. (2002). How do you feel? Interoception: The sense of the physiological condition of the body. *Nature Reviews Neuroscience*, 3, 655-666.
- Damasio, A. (1994). *L'erreur de Descartes, La raison des émotions*. Paris : Odile Jacob.
- Damasio, A. (1999). *Le sentiment même de soi -Corps, émotion, conscience*. Paris : Odile Jacob.
- Damasio, A. (2010). *L'autre moi-même - Les nouvelles cartes du cerveau, de la conscience et des émotions*. Paris : Odile Jacob.
- Damasio, A. (2017). *L'ordre étrange des choses. La vie, les sentiments et la fabrique de la culture*. Paris : Odile Jacob.
- De Vignemont F. (2016). Pain and the bodily self. In *Pain and the conscious brain*, Ed.: L. Garcia-Larrea. Publisher: IASP Press.
- Delprat, N., (2014). Walking clouds and Augmented Reverie. *Leonardo MIT Press Journal*, 47, (1).
- Delprat, N. (2015), Imagination matérielle et images virtuelles : la Rêverie Augmentée de l'être nuageux, colloque *Bachelard 2012: le surrationalisme 50 ans après*, ENS-ULM, Paris, Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01233281/document>
- Delprat, N. (2016). Temporalités du virtuel et réalités du corps : de l'être nuageux aux doubles de Narcisse, colloque *Le sujet digital*, Université Paris 8, Paris. Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01289318/document>
- Delprat, N. (2019). Effacement virtuel des frontières corporelles et sentiment de soi dans l'expérience de l'avatar-nuage. *46^{ème} Journées annuelles de thérapie psychomotrice : le corps et ses représentations*, Antibes, octobre 2017. Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02146012/document>
- Delprat, N. (2019). Quand l'art et la science inventent ensemble d'autres explorations de soi, entretien réalisé par S. Allemand. In *MSH Paris-Saclay, 5 ans d'interdisciplinarité sur un plateau*. Cachan : MSH Paris-Saclay Editions, 97-104. Disponible sur : <http://msh-paris-saclay.fr/la-msh-paris-saclay-publie-son-livre-anniversaire-5-ans-dinterdisciplinarite-sur-un-plateau/>
- Delprat, N. (2020) à paraître. *Catalogue de l'exposition Biomorphisme*, Friche-Belle de Mai Marseille, 10 novembre 2018-10 février 2019, édité par les éditions NAIMA, bientôt disponible en ligne
- Hansen, M. (2006). *Bodies in code - Interfaces with digital media*. New York : Routledge.
- Ijsselstein, W.A., de Kort, Y.A.W. & Haans, A. (2006). Is this my hand I see before me? The rubber hand illusion in Reality, Virtual Reality, and Mixed Reality. *Presence*, 15 (4), 455-464.

- Kitelni, K., Groeten, K., Slater, M. (2012). The sense of embodiment in Virtual Reality. *Presence*, 21(4), 373–387.
- Kiltner K., Bergstrom I., Slater, M. (2013). Drumming in immersive virtual reality: the body shapes the way we play. *Visualization and Computer Graphics*, 19 (4), 597-605.
- Kiltner, 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: 03.
- Krzewska I., Dolińska-Zygmunt G. (2013). Sense of Body Boundaries Survey: construction and psychometric values . *Polish Journal of Applied Psychology*, 11(3), 93-110.
- Lenggenhager, B., Tadi, T., Metzinger, T., Blanke, O. (2007). Video ergo sum: manipulating bodily self-consciousness. *Science*, 317, 1096–1099.
- Lopez C., Blanke O. (2010). Influence de la position corporelle sur la perception des espaces corporel et extra-corporel et sur la conscience de soi, *Revue de Neuropsychologie*. 2 (3), 195-202.
- Maldonado G. (2006). *Le cercle et l'amibe - Le biomorphisme dans l'art des années 1930*. Coll. L'art et l'Essai. Paris: CTHS-INHA.
- Mason M., Norton M., Van Horn J., Wegner D., Grafton S., Macrae N. (2007). Wandering Minds: The Default Network and Stimulus-Independent Thought. *Science*, 315, 393-395.
- Merleau-Ponty, M. (1969). *La prose du monde*, Paris : Gallimard.
- Michael, G.A., Naveteur, J., Dupuy, M.A., Jacquot, L. (2015). My heart is in my hands: The interoceptive nature of the spontaneous sensations felt on the hands. *Physiology & Behavior*, 143, 113-120.
- Milon A. (2005). *Réalité virtuelle : Avec ou sans le corps*. coll. « Le corps, plus que jamais ». Paris : Autrement,
- Nancy J-L. (2010), *Corpus*. Paris: Editions Métailié.
- Slater, M., Sanchez-Vives, M.V. (2014). Transcending the Self in Immersive Virtual Reality. *IEEE Computer*, 47 (7), 24-30.
- 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.
- Stapleton M. (2013). Steps to a « Properly Embodied » Cognitive Science. *Cognitive Systems Research*. 22-23, 1-11.
- Stephoe W., Steed A., Slater M. (2013). Human tails: ownership and control of extended

- humanoid avatars. *IEEE Trans Vis Comput Graph* 19 (4), 583-590.
- Tajadura-Jiménez A., Tsakiris M., (2014): Balancing the « inner » and the « outer » self: interoceptive sensitivity modulates self-other boundaries. *Journal of Experimental Psychology: General*. 143(2), 736-744.
- Tsakiris M. Critchley H. (2016). Interoception beyond homeostasis: affect, cognition, and mental health. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 371: 20160002.
- Tsakiris M., Prabhu G., Haggard P. (2006). Having a body versus moving a body : How agency structures body-ownership. *Consciousness and cognition*, 15, 423-432.
- 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.
- Versace R., Brouillet D., Vallet G. (2018). *Cognition incarnée : une cognition située et projetée*. Bruxelles : Editions Mardaga.
- Wiesing L. (2010). *Artificial Presence: Philosophical Studies in Image Theory*. California: Stanford University Press.