



**HAL**  
open science

# Représentation du corps et anorexie mentale : de l'intégration sensorielle à l'action : approche neurocognitive du phénomène de distorsion corporelle

Dewi Guardia

## ► To cite this version:

Dewi Guardia. Représentation du corps et anorexie mentale : de l'intégration sensorielle à l'action : approche neurocognitive du phénomène de distorsion corporelle. Médecine humaine et pathologie. Université du Droit et de la Santé - Lille II, 2012. Français. NNT : 2012LIL2S034 . tel-00828513

**HAL Id: tel-00828513**

**<https://theses.hal.science/tel-00828513>**

Submitted on 31 May 2013

**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 D'UNIVERSITÉ

---

**REPRESENTATION DU CORPS ET ANOREXIE MENTALE :**  
**DE L'INTEGRATION SENSORIELLE A L'ACTION**  
Approche neurocognitive du phénomène de distorsion corporelle

---

Dewi GUARDIA

Thèse soutenue publiquement le 21 décembre 2012 devant la commission d'examen  
pour l'obtention du grade de Docteur en Neurosciences Cognitives

**Jury :**

<b>Pr. Angela SIRIGU</b>	<i>CNRS UMR 5229, Centre de Neurosciences Cognitives de Bron</i>	<b>Rapporteur</b>
<b>Pr. Jean-Luc VENISSE</b>	<i>Centre de Référence sur le Jeu Excessif, CHU de Nantes</i>	<b>Rapporteur</b>
<b>Pr. Maurice CORCOS</b>	<i>INSERM U669, Institut Mutualiste Montsouris de Paris</i>	<b>Président</b>
<b>Dr. Richard PALLUEL-GERMAIN</b>	<i>CNRS UMR 5105, Université Pierre Mendès-France, Grenoble</i>	<b>Examinateur</b>
<b>Dr. Marion LUYAT</b>	<i>EA 4559, Université Lille Nord de France, Villeneuve d'Ascq</i>	<b>Directrice</b>
<b>Pr. Olivier COTTENCIN</b>	<i>EA 4559, CHRU de Lille</i>	<b>Co-directeur</b>



# TABLE DES MATIÈRES

---

Index des abréviations	9
Introduction	11
<b>1. Corps représenté : unicité ou multiplicité ?</b>	<b>17</b>
1.1. Evolution des concepts de représentation corporelle	18
1.1.1. <i>Les partisans d'une vision dyadique du corps</i>	18
1.1.1.1. Entre schéma corporel et image du corps	18
1.1.1.2. Entre perception et connaissance du corps	22
1.1.2. <i>Vers une représentation sensori-motrice, structurelle et conceptuelle du corps</i>	36
1.1.3. <i>Vers une conscience corporelle</i>	37
1.2. Bases neurales	44
1.2.1. <i>Cortex occipito-temporal</i>	45
1.2.2. <i>Cortex insulaire</i>	48
1.2.3. <i>Cortex pariétal</i>	50
1.3. Intégration sensorielle et représentations du corps : un dialogue permanent	54
1.3.1. <i>De l'intégration vers la représentation</i>	54
1.3.2. <i>Calibration des informations sensorielles en fonction du schéma corporel</i>	58
1.4. Implication de cette taxonomie du corps dans la compréhension du phénomène de distorsion corporelle observé dans l'anorexie mentale	60
1.4.1. <i>L'hypothèse d'un trouble de l'intégration sensorielle</i>	61
1.4.2. <i>La piste de la négligence</i>	70
1.4.3. <i>Influence de la dysrégulation émotionnelle</i>	74
1.4.4. <i>Une conscience altérée du corps</i>	77
<b>2. Corps situé : perception de l'orientation du schéma corporel dans l'anorexie mentale</b>	<b>80</b>
2.1. Intégration sensorielle et perception des orientations	82
2.1.1. <i>Le système vestibulaire</i>	83
2.1.2. <i>Le système visuel</i>	84
2.1.3. <i>Le système somesthésique</i>	85
2.2. Prise en compte de référentiels spatiaux dans le jugement d'orientation	87
2.2.1. <i>Elaboration d'un cadre de référence stable</i>	87
2.2.2. <i>Modèle hiérarchique de l'orientation spatiale</i>	88
2.3. Influence de la posture sur la perception des orientations	89
2.4. Influence du cortex pariétal sur la perception des orientations : ce que nous apprend l'héminégligence	91
2.5. Perception des orientations et codage de la posture dans l'anorexie mentale	93
Article 1 : <i>Spatial Orientation Constancy Is Impaired In Anorexia Nervosa</i>	94
Article 2 : <i>Disruption of Spatial Task Performance in Anorexia Nervosa</i>	99
<b>3. Corps agissant : perception des dimensions du corps dans l'anorexie mentale</b>	<b>102</b>
3.1. Simuler c'est agir ?	103
3.1.1. <i>Émergence du concept d'anticipation</i>	103
3.1.2. <i>Une théorie écologique de l'anticipation</i>	106
3.1.3. <i>Invariants perceptifs et métrique du corps</i>	108
3.1.4. <i>De la théorie écologique aux sciences cognitives</i>	115
3.1.5. <i>Pertinence du paradigme d'anticipation d'action dans l'exploration du schéma corporel</i>	117

3.1.6. Utilisation d'une tâche d'imagerie motrice impliquant les dimensions du corps pour évaluer l'implication du schéma corporel dans l'anorexie mentale	120
Article 3 : <i>Anticipation Of Body-Scaled Action Is Modified In Anorexia Nervosa</i>	123
3.2. Anticipation et réalisation d'action altérées dans l'anorexie mentale	124
3.2.1. Matériel et méthode	125
3.2.2. Résultats et discussion	129
3.3. Une question de perspective	132
3.3.1. Adopter le point de vue de l'autre : une compétence acquise	132
3.3.2. Théorie de la simulation et neurones miroirs	133
3.3.3. Perspective en 1ère personne et perspective en 3ème personne	135
3.3.4. Etude 5 : imaginer passer à travers une ouverture et imaginer autrui passer à travers une ouverture	136
Article 4 : <i>Imagining One's Own And Someone Else's Body Actions: A Dissociation In Anorexia Nervosa</i>	140
3.4 L'hypothèse d'un défaut d'actualisation	141
Article 5 : <i>Body Distortions After Massive Weight Loss: Lack Of Updating Of The Body Schema Hypothesis</i>	148
<b>4. Synthèse et perspectives</b>	<b>151</b>
4.1. Synthèse des résultats	152
4.2. Modélisation du phénomène de distorsion corporelle observé dans l'anorexie mentale	159
4.3. Perspectives	162
4.3.1. Perspectives de recherche	162
4.3.2. Perspectives thérapeutiques	169
<b>Références bibliographiques</b>	<b>176</b>



## INDEX DES ABRÉVIATIONS

---

**AM** : anorexie mentale

**BDD** : body dysmorphic disorder

**BSQ** : body shape questionnaire

**DSM** : diagnostic and statistical manual of mental disorders

**EBA** : extrastriate body area

**EDI-2** : eating disorder inventory 2<sup>nd</sup> version

**ESC** : expérience de sortie de corps

**FBA** : fusiform body area

**FFA** : fusiform face area

**HA** : hallucination autoscopique

**IMC** : indice de masse corporelle

**IRMf** : imagerie par résonance magnétique fonctionnelle

**MINI** : mini-international neuropsychiatric interview

**NSU** : syndrome de négligence spatiale unilatérale

**OFA** : occipital face area

**RED** : réactivité électrodermale

**SMT** : stimulation magnétique transcrânienne

**SNC** : système nerveux central

**TCA** : trouble du comportement alimentaire

**TIIC** : trouble de l'identité et de l'intégrité du corps

**VS** : verticale subjective

**VVS** : verticale visuelle subjective





## INTRODUCTION

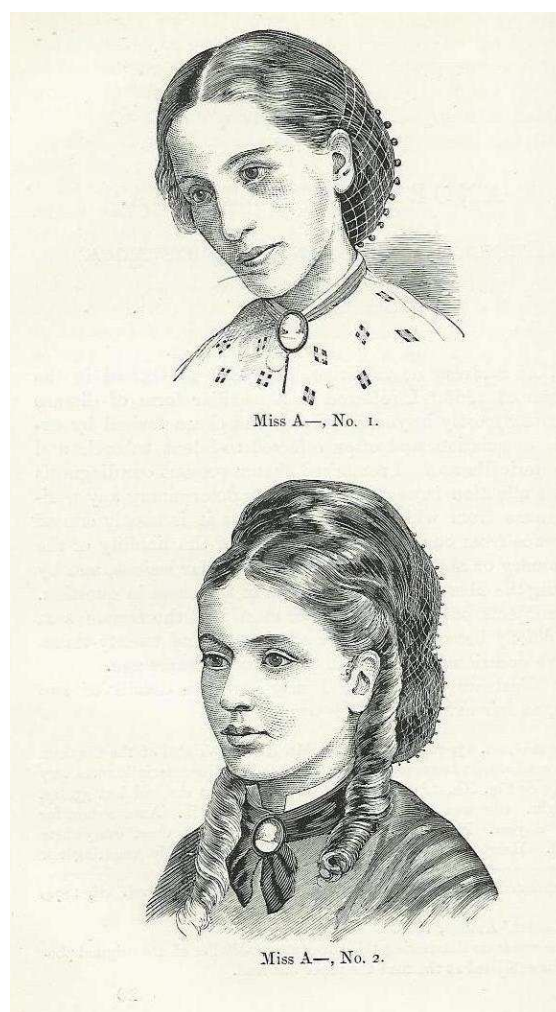
---



*Illustration du biais de surestimation corporelle*

« Un jour d’hiver, une reine regarde tomber la neige tout en cousant. Distracte, elle se pique au doigt, et trois gouttes de sang tombent sur la neige. Frappée par la beauté du contraste entre le rouge de son sang et la blancheur de la neige, elle s’écrie : « Oh ! Puissé-je avoir un enfant aussi blanche que la neige, aussi rouge que le sang, aussi noire que le bois de ce cadre ! » (Grimm, 1812).

Le terme “anorexie” dérive du grec “ανορεξια” (anorexia), qui signifie “perte d’appétit”. Les premiers cas rapportés dans l’histoire, notamment celui de Catherine Benincasa, Sainte Catherine de Sienne, remontent au XIV<sup>ème</sup> siècle. L’ascétisme, la distance prise avec les plaisirs de la chair et la maîtrise du corps s’inscrivent alors dans un courant spirituel et religieux. Il faut attendre le XVII<sup>ème</sup> siècle pour que l’œil du médecin se penche sur de tels comportements. La description princeps remonte à 1694. Morton décrit alors, dans son traité *Phthisiologia*, le phénomène de “consomption nerveuse” (Breathnach, 1998). Il dépeint un tableau associant un manque d’appétit, un refus actif de nourriture pouvant mener jusqu’à la cachexie, une aménorrhée, et une hyperactivité motrice. Mais il faut attendre les travaux de Lasègue, en 1873, sur l’inanition hystérique, pour voir émerger une nouvelle entité clinique (Astruc, 1934).



**Figure 1.** Reproduction de deux photographies prises en 1866 et 1870 (photographe inconnu) de Miss A, patiente de William Withey Gull, avant et après le traitement de l’anorexie mentale (d’après Gull, 1873).

Gull (1874) propose le terme d'“anorexia nervosa”, pour qualifier cet état morbide d'origine centrale et d'allure héréditaire. Reprenant les termes de Lasègue, il avance que « toute la maladie se résume dans cette perversion intellectuelle » (Gull, 1874). Un premier lien est désormais fait entre le symptôme comportemental et des éléments psychopathologiques plus profonds.

La dénomination française “anorexie mentale” revient à Huchard, en 1883. À cette même période, les prémices d'une nosographie voient le jour. De la Tourette distingue l'anorexie primaire d'origine psychique de l'anorexie secondaire, la première se distinguant de la seconde par un refus actif d'alimentation. Il est parmi les premiers à insister sur une autre caractéristique de cette entité clinique : la perception de l'image corporelle.

Les premiers critères diagnostiques seront élaborés lors du symposium de Göttingen de 1965. Les différents travaux présentés tirent les conclusions suivantes : l'anorexie mentale a une structure spécifique et se dégage du même coup de la distinction entre névrose et psychose qui alimentait les débats psychanalytiques de l'époque. Le conflit essentiel se situe au niveau du corps et non pas au niveau des fonctions alimentaires sexuellement investies. Enfin, l'anorexie mentale est l'expression d'une incapacité à assumer le rôle génital et les transformations corporelles induites par la puberté. Elle devient dès lors une entité psychopathologique à part entière, mettant fin aux discussions autour de l'origine endocrinienne du trouble. Un regard est désormais porté sur le corps et ses représentations, qui deviennent ainsi l'une des pierres angulaires de la problématique anorexique. Un détachement progressif du symptôme vers une problématique plus globale d'image et de narcissisme voit le jour.

Depuis lors, de nombreux travaux mettent en évidence des perturbations dans la représentation que les patientes se font de leur propre corps. Un biais de surestimation du poids et de la silhouette est ainsi constamment retrouvé : il peut être à l'origine d'un sentiment d'insatisfaction important.

Bruch, dans une perspective développementale, met en lien ce trouble de l'image du corps avec des perturbations de la perception intéroceptive et des perturbations précoces des interactions mère-bébé (1975). Branch et Eurman, adoptant un point de vue comportementaliste, insistent sur sa dimension socioculturelle (1980). L'admiration portée à l'image du corps véhiculée par les médias agirait notamment comme renforçateur du symptôme. Slade (1982) voit dans la perception surévaluée du corps un facteur d'entretien

du jeûn et des comportements compensatoires tels que l'hyperactivité ou les purges. Le besoin de contrôle étant également au centre de la problématique anorexique, une boucle de maintien est ainsi formée : restriction alimentaire renforcée positivement par la perte de poids et négativement par la crainte d'une prise de poids. Devant la mise en place de ces comportements, des auteurs tels que Corcos et Jeammet mettent en évidence une problématique plus étendue de dépendance et feront entrer l'anorexie mentale dans le champ des conduites addictives, le corps devenant alors l'objet de l'addiction (Corcos, 2005).

Le corps et ses représentations s'inscrivent progressivement dans les descriptions du processus psychopathologique. En témoignent les différentes modifications critériologiques observées à partir des années 1980. C'est ainsi que les critères diagnostiques du DSM-III mentionnent l'existence d'un trouble de la conscience et de l'image du corps (APA, 1980). La CIM-10, publiée en 1992, évoque, pour sa part, l'existence d'une altération dysmorphophobique de la perception du poids ou de la forme de son propre corps, une hantise de grossir ou l'influence excessive du poids ou de la morphologie corporelle sur l'estime de soi, associée à un déni de la maigreur, de sa gravité ou de ses conséquences. Depuis 2000, le DSM-IV dans sa version révisée et dans sa suite le DSM V à paraître mettent l'accent sur une perturbation du vécu du poids et de la silhouette, sur l'influence excessive du poids ou de la silhouette sur l'estime de soi et sur le déni de la gravité de la perte de poids (APA, 2000). Tout le monde s'accorde aujourd'hui pour affirmer l'existence d'un trouble de la représentation du corps dans l'anorexie mentale et pour lui porter une attention toute particulière, tant sur le plan diagnostique que sur les plans pronostique et thérapeutique.



**Figure 2.** Représentation de son propre corps réalisée par une patiente souffrant d'anorexie mentale lors d'une séance d'art-thérapie.

Ce travail de thèse n'a pour ambition que de tenter d'appréhender un peu mieux les mécanismes sous-tendant ces distorsions corporelles en proposant d'enrichir la discussion physiopathologique d'un regard neuropsychologique. Il ne vise ni plus ni moins qu'à expliciter une des étapes du processus de décompensation anorectique basé sur l'élaboration et le maintien de fausses croyances en lien avec les profonds chambardements de l'éprouvé corporel (figure). Mais, avant d'aller plus loin, il s'agit de bien définir ce que nous entendons par représentations du corps et quelles dimensions nous nous proposons d'explorer. Le plan de rédaction de cette thèse a été élaboré dans ce sens.

La première partie de ce travail visera à lever les ambiguïtés entre les notions de sensation, de perception et de connaissance qui participent de manière intégrative à l'élaboration d'une multitude de représentations du corps. C'est ainsi que les représentations du corps engagé dans l'action seront distinguées des représentations du corps impliquées dans des opérations cognitives plus complexes.

La seconde partie de ce travail s'intéressera au corps situé. Nous aborderons alors des notions telles que la définition de coordonnées spatiales, l'emploi de référentiels spatiaux dans le but d'interagir avec son environnement, et tenterons d'évaluer l'existence de

perturbations des cognitions spatiales dans l'anorexie mentale, au moyen du paradigme expérimental de perception des orientations.

La troisième partie de ce travail se portera sur le corps agissant. Nous tenterons alors d'évaluer les répercussions des distorsions corporelles des patientes sur l'anticipation et la réalisation d'action impliquant les dimensions corporelles, et sur la simulation d'action menée par soi ou par autrui.

Enfin, le dernier chapitre exposera les éléments de discussion générale qui découlent des résultats obtenus dans les différentes expériences rapportées. Il développera également certaines perspectives que ce travail suscite tant du point de vue de la recherche que de la thérapeutique.

## 1. CORPS REPRÉSENTÉ : UNICITÉ OU MULTIPLICITÉ ?

---



*Illustration de Nicole Tran Ba Vang  
Sans titre 06, 2001*

C'est par le biais de notre corps qu'il nous est permis d'interagir avec notre environnement. Nous avons une connaissance très fine de qui nous sommes, en ce sens que nous savons où nous nous situons dans notre espace, quelles sont les limites de notre corps, de quoi celui-ci est fait. De même, nous nous faisons une idée de ce qu'il donne à voir à l'autre. Cette connaissance que nous avons de nous-mêmes et de nos aptitudes implique également des niveaux de conscience variables. C'est ainsi que nous savons où chacune des parties de notre corps se trouve au moment où nous effectuons une action, et la plupart de nos mouvements semblent être effectués sans effort démesuré, qu'ils soient effectués sous contrôle conscient ou non. Quand nous pensons à nous-mêmes, nous percevons notre corps comme une seule et même entité stable dans le temps. Pourtant ce même temps n'a de cesse de nous faire évoluer. Comment alors rendre compatible cet état de changement perpétuel avec ce sentiment de continuité qui nous traverse malgré tout ? Sans doute parce que le cerveau possède en son sein une aptitude étonnante, celle de sans cesse se remettre à jour, et avec lui l'ensemble des représentations qu'il se fait du monde environnant.

Les neuroscientifiques ont longtemps été fasciné par la façon dont le cerveau pouvait se représenter le corps. Il est admis que différents types de représentations du corps coexistent, sans qu'un consensus n'ait pu être trouvé quant à leur définition, ni même leur nombre (de Vignemont, 2010 ; Gallagher, 1986 ; Berlucchi et Aglioti, 2010 ; Dijkerman et de Haan, 2007).

## **1.1. Evolution des concepts de représentation corporelle**

### **1.1.1. Les partisans d'une vision dyadique du corps**

#### **1.1.1.1. Entre schéma corporel et image du corps**

Bonnier sera le premier à introduire la notion de schéma du corps, en 1902. Selon lui, *« le sens des attitudes nous fournit la notion de lieu de chaque partie de nous-mêmes et forme la base de toute orientation, tant objective que subjective et psychique. Il a pour objet la figuration topographique de notre moi. J'ai également proposé ce terme de schématic pour le genre d'images fournies par ce sens. Le mot cénesthésie ne peut avoir de signification valable en physiologie et en psychologie car il ne comporte pas la notion de figuration*



*topographique indispensable à toute définition de corporalité* ». Ajoutant, « *une chose n'acquiert d'existence réelle pour nous que par l'identité des localisations de ses divers aspects sensoriels ; la distribution topographique des choses de notre milieu les unes par rapport aux autres et par rapport à nous, qui permet l'extériorisation sensorielle, crée la notion d'objectivité ; de même la notion de subjectivité dépend de la localisation des choses en nous, et ces deux termes du moi et du non moi sont sortis des opérations les plus directes du sens des attitudes* » (Bonnier, 1902). Chaque individu posséderait donc en son for intérieur une « *schématie* », c'est-à-dire une représentation spatiale, topographique, de son corps, lui permettant d'interagir dans l'espace qui l'entoure. Dans le domaine de la pathologie, l'« *aschématie* » serait caractérisée par la disparition des représentations de certaines parties de nous-mêmes figurant dans la notion que nous avons de notre corps. À l'inverse, l'« *hyperschématie* » marquerait cette tendance à la focalisation sur certaines de ses parties. Ce dernier point n'est pas sans nous rappeler certaines caractéristiques observées dans les troubles des conduites alimentaires (TCA), telles que la focalisation sur le poids et les dimensions du corps.

À la même période, Pick (1915) introduit également la notion d'image spatiale du corps. Par la suite, d'autres auteurs encore développeront les notions de schéma superficiel, de schéma postural ou de schéma corporel. L'individu fait donc appel et ce de manière inconsciente et automatique à une représentation spatiale du corps par intégration de différentes informations sensorielles tant visuelle que tactile, proprioceptive ou vestibulaire, prenant en compte le corps et l'espace dans lequel il interagit directement, à savoir l'espace péripersonnel (Spence et Frith, 1999 ; Schicke, 2007 ; Cardinalli et al., 2009).

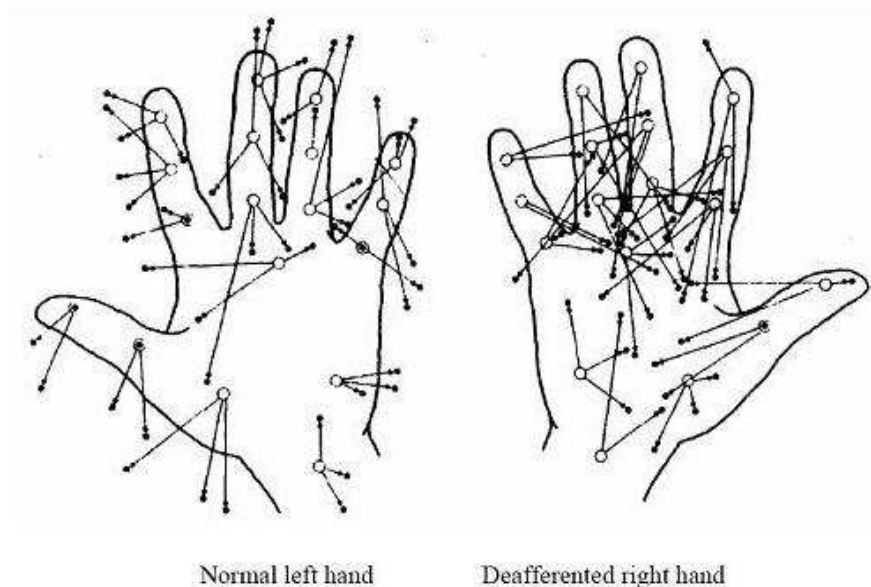
Associé à ce réseau, un deuxième réseau coexiste. Le premier à le distinguer sera Schilder (1935), en introduisant la notion d'image du corps. Pour lui, « *l'image du corps humain c'est l'image de notre propre corps que nous formons dans notre esprit, autrement dit la façon dont notre corps nous apparaît à nous-mêmes. (...) L'image du corps est un terme bien fait pour montrer qu'il y a ici autre chose que sensation pure et simple, et autre chose qu'imagination : un apparaître à soi-même du corps, terme qui indique aussi que bien que passant par les sens ce n'est pas là pure perception et bien que contenant des images mentales et des représentations ce n'est pas la pure représentation* » (Schilder, 1935). Un deuxième niveau d'élaboration voit ainsi le jour, plus cognitif, renvoyant à des représentations conscientes du corps, tant sémantiques que symboliques.

Cette vision dyadique sera partagée par un grand nombre de psychologues, de psychiatres, de neurologues ou de phénoménologues (Dolto, 1984 ; Rossetti et al., 1995 ; Paillard, 1999 ; Gallagher, 2005 ; Dijkerman et de Haan, 2007). Elle renvoie donc à une distinction entre le schéma corporel et l'image du corps, le schéma corporel consistant en des représentations sensori-motrices du corps impliquées dans le guidage de l'action et l'image du corps rassemblant toutes les autres représentations du corps qui ne sont pas impliquées dans l'action, qu'elles soient perceptives, conceptuelles ou émotionnelles (Gallagher, 2005).

La découverte de dissociations perceptives lors de l'étude de la désafférentation finiront d'asseoir ce modèle schéma-image (Paillard, 1999). Cette dichotomie entre la perception tactile et la localisation du stimulus tactile amène Paillard à s'interroger sur le phénomène de désafférentation. La découverte de capacités visuelles résiduelles d'abord chez le singe rendu aveugle par ablation complète bilatérale des aires visuelles corticales (Humphrey et Weiskrantz, 1967), puis chez l'Homme dans le champ aveugle des sujets hémianopsiques (Pöppel et al., 1973; Weiskrantz et al., 1974; Perenin et Jeannerod, 1975) a suscité un vif intérêt. Le patient cérébrolésé parvenait à localiser correctement une source lumineuse présentée dans son champ aveugle et à y diriger sa main. La mise en évidence de ce phénomène chez l'Homme exige l'utilisation d'une procédure de choix forcé. Le sujet affirme ne rien voir et semble effectivement ne rien détecter lors de l'examen de cette partie du champ visuel. Cependant, lors d'une tâche de pointage dans la direction d'une source lumineuse localisée dans son champ aveugle, le sujet réagit correctement et ce au-delà du hasard. Si l'expérience est répétée, le sujet serait même susceptible d'améliorer ses performances. Weiskrantz (1980) proposera le terme de « *blind sight* » (vision aveugle) pour désigner ce phénomène. Cette découverte permit ainsi de mettre en évidence la possibilité d'une dissociation des fonctions d'identification et de localisation. La possibilité d'une extension d'une telle dichotomie fonctionnelle à d'autres modalités sensorielles a été soulevée par Paillard (1980). En effet, les afférences somesthésiques pourraient subir un traitement différencié qui serait responsable de l'élaboration d'une carte de repérage de l'espace du corps.

Paillard et ses collaborateurs (1983) ont ainsi rapporté le cas d'une femme de 52 ans, droitière, qui présentait une malformation artério-veineuse aux abords du lobe occipital gauche. Au décours de l'intervention chirurgicale visant à traiter cette malformation artério-

veineuse de la région occipitale gauche, des résidus thrombotiques auraient obstrué l'artère pariétale postérieure gauche, à l'origine d'un infarctus d'un secteur étendu de l'aire pariétale gauche mis en évidence au décours d'un examen scanographique. Les conséquences pour la patiente furent l'installation d'une hémianopsie, une hémiaïcousie droite ainsi qu'une hémianesthésie intéressant de façon dominante l'extrémité distale du membre supérieur droit. L'examen sensoriel confirmait l'insensibilité de cette main droite désafférentée et l'absence de déficit du membre supérieur gauche.



**Figure 3.** Performances de localisation par pointage de l'index de la main controlatérale en réponse à une stimulation statique : pointages effectués par la malade de sa main droite insensible sur sa main gauche normale (gauche) et de sa main gauche normale sur sa main droite désafférentée (droite). L'orientation et le niveau d'erreur sont indiqués par les flèches (d'après Paillard et al., 1983).

Les auteurs réalisèrent une épreuve de localisation tactile. Dix-neuf points cibles étaient répartis sur la face palmaire des différents doigts et de la main. Le sujet dont la vision était occultée devait pointer, avec l'index de la main controlatérale, les différents points stimulés par l'expérimentateur. Les performances de localisation de la main gauche normale par la main désafférentée sont apparues correctes (figure 3). Invitée ensuite à pointer de sa main gauche les points stimulés sur sa main insensible, la patiente effectua les pointages sans hésitation apparente et avec une précision relativement similaire aux pointages effectués sur sa main normale (figure 3). La prise de conscience de ses performances plongera la patiente dans un profond étonnement.

Ainsi se trouve confirmée la possibilité d'un traitement central des informations tactiles permettant leur repérage sur la carte spatiale de la surface du corps, alors même que l'identification perceptive de la sensation tactile correspondante est absente. Plus récemment, Anema et ses collègues (2009) ont récemment fait état d'une double dissociation entre la capacité d'indiquer sur un schéma où l'on a été touché et la capacité de pointer vers l'emplacement de contact sur la surface du corps lui-même, chez deux patients ayant été victime d'un accident vasculaire cérébral à l'origine d'un infarctus du thalamus droit (noyau ventral postéro-latéral) pour le premier et du territoire de l'artère cérébrale moyenne gauche pour le second.

### **1.1.1.2. Entre perception et connaissance du corps**

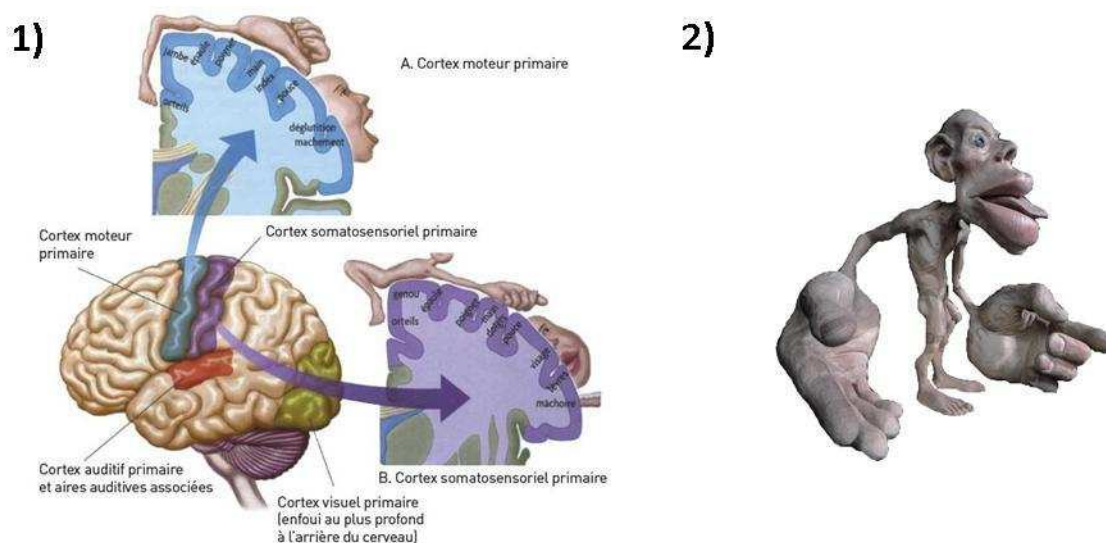
Longo et ses collaborateurs (2010) proposeront une réinterprétation de cette taxonomie dyadique. La distinction ne se situerait désormais plus entre le schéma et l'image mais entre la perception et la connaissance du corps. Les perceptions corporelles font référence aux expériences sensorielles vécues par le corps propre. Dans le cas de la modalité tactile, le champ récepteur (la peau) est indissociable de la surface du corps. L'expérience d'être touché implique un référencement et donc l'accès à une représentation préalable de son propre corps. À côté de ce corps percevant, le corps perçu en tant qu'objet donne lieu à la construction de modèles explicites de la forme du corps. Ainsi, le corps se trouve être tantôt le véhicule de la perception (expérience du corps), et tantôt l'objet de la perception (connaissance du corps). Dans les deux cas, l'élaboration d'un percept implique la coexistence d'une représentation actualisée de l'état du corps et des entrées sensorielles. Attenant, un deuxième niveau de représentation coexiste, dans lequel le corps est désormais considéré comme un objet physique duquel nous tirons un certain nombre de connaissances. Il est en effet soumis aux lois physiques de la gravitation, possède un certain nombre de caractéristiques, telles que sa masse, son volume, sa solidité. Nous pouvons en avoir une connaissance tant biologique que spirituelle. Un tel niveau de représentation ou de métareprésentation implique des capacités d'abstraction, de catégorisation, l'accès à des croyances et des attitudes liées au corps.

S'agissant du premier niveau d'élaboration, Longo et ses collaborateurs (2010) proposent de rattacher à la notion de perception corporelle les notions de schéma

superficiel, de schéma postural, de représentation métrique du corps et d'image du corps consciente. Bien que différent par les termes de la première acception, celle-ci s'en rapproche en ce sens qu'elle implique le corps en action à des degrés de conscience variable.

**Schéma superficiel et limites du corps.** Nous entendons par topognosie la capacité à localiser les sensations perçues à la surface de la peau. Cette aptitude varie selon les surfaces. Ainsi sur la peau glabre de la face palmaire de la main, la sensibilité tactile s'avère être importante, une seule afférence sensorielle pouvant parfois suffire à l'élaboration d'un percept (Torebjörk et al., 1987). Head et Holmes (1911) décriront le cas de patients qui, après lésion corticale, n'étaient plus en mesure de localiser la stimulation, alors que leur capacité à détecter qu'ils avaient été touchés restait intacte. Par la suite, Head (1918) rapportera plusieurs cas de patients en mesure de discriminer le doigt stimulé, sans toutefois pouvoir être plus précis, les patients décrivant une sensation d'étalement sur l'ensemble du doigt. Sur la base de ces observations, Head et Holmes (1911) ont proposé que la capacité de localiser des stimuli sur le corps présuppose l'existence d'une représentation mentale de la surface du corps, le schéma superficiel.

Poeck et Orgass (1971) critiqueront le concept de schéma superficiel, en ce sens qu'il ne se distingue pas des représentations sensori-motrices corticales de l'Homonculus de Penfield. Pour rappel, l'Homonculus sensitif est relié aux aires corticales de la somesthésie, la somesthésie pouvant être définie comme la sensibilité à différentes informations (chaleur, douleur, pression) qui proviennent de différentes parties du corps. Penfield et Boldrey (1937) décrivirent au niveau de ce territoire, sur le gyrus post-central (circonvolution pariétale ascendante), une topographie correspondant à une forme distordue de notre corps (figure 4). Chaque partie du corps correspond à une surface particulière du cortex somesthésique. La distorsion de l'Homonculus est liée au fait que la représentation corticale d'une partie du corps est corrélée au niveau de sensibilité dans la zone corporelle considérée. Ainsi, la représentation des pieds et des mains est plus grande que les membres auxquels ils sont rattachés et la représentation des lèvres et de la langue est également surreprésentée (figure 4).



**Figure 4.** Illustration de l'Homunculus sensori-moteur : topographie corticale (figure 1) et représentation tridimensionnelle de la cartographie somesthésique tenant compte du niveau de sensibilité afférente (d'après Penfield et Boldrey, 1937).

Concernant la localisation d'un point sur le corps, plusieurs études ont montré comment le cerveau se représentait l'emplacement de la stimulation tactile au moyen de cartes somatotopiques (Koerber et al., 1993 ; Nicoletis et al., 1998 ; Ghazanfar et al., 2000). Cependant, la localisation d'un stimulus sur une carte somatotopique n'est pas en soi suffisante pour localiser le stimulus sur la surface du corps. Pour localiser un stimulus sur la peau, une fonction supplémentaire de liaison est nécessaire, celle-ci permettant de relier les cartes somatotopiques aux parties du corps. Pour Longo et ses collègues (2010), le schéma superficiel pourrait constituer cette étape manquante. Ainsi, la localisation d'un stimulus sur la surface du corps impliquerait deux étapes. Dans un premier temps, le stimulus serait localisé par le cerveau sur une carte somatotopique. Cette opération purement sensorielle impliquerait le cortex somatosensoriel primaire, sans faire référence au corps physique. Dans un deuxième temps, la liaison entre l'emplacement sur la carte et l'emplacement correspondant sur le corps étant un processus essentiellement perceptif, elle nécessiterait de faire appel à une représentation du corps, le schéma superficiel. Les différentes études de stimulation magnétique transcrânienne et d'imagerie fonctionnelle suggèrent l'implication d'un réseau comprenant le cortex somatosensoriel primaire, les lobes pariétaux et en particulier le cortex pariétal antérieur et la jonction temporo-pariétale (Van Boven et al., 2005 ; Porro et al., 2007).

**Schéma postural et orientation du corps.** Head et Holmes (1911) sont parmi les premiers à s'intéresser à la question de la posture. L'individu pour adapter sa posture doit prendre en compte les modifications perpétuelles de son environnement. Pour ces auteurs, cette prise en compte du milieu extérieur est rendue possible par l'existence d'un schéma préalable, doué d'une grande plasticité, sur lequel le cerveau va venir associer chaque nouveau groupe de sensations évoquées par la posture de manière à l'actualiser continuellement. Cette représentation du corps dans l'espace sera nommée le schéma postural (Head et Holmes, 1911).

Cette construction est souvent confondue avec le schéma corporel, que l'on lie désormais à la maîtrise de l'action. Le schéma corporel, cependant, a une longue histoire d'utilisation incohérente et contradictoire (Gallagher, 2005). Le schéma postural quant à lui constitue une sorte de trame sur laquelle viennent se greffer des informations proprioceptives afférentes issues notamment de mécanorécepteurs localisés dans les articulations, les muscles, les tendons des muscles et de l'étirement des récepteurs sensibles de la peau. En effet, aucun signal afférent, ou aucune combinaison de signaux afférents, ne sont suffisantes pour préciser la localisation absolue des parties du corps dans l'espace externe. Afin d'en déterminer l'emplacement, des informations sur la configuration du corps doivent être combinées avec des informations sur l'état global de celui-ci et ne peut se faire sans une représentation du corps préexistante. La localisation des parties du corps dans l'espace nécessite une combinaison de l'information afférente et des représentations mentales du corps préexistantes.

Les études anatomo-fonctionnelles réalisées chez l'homme mettent en évidence le rôle privilégié des lobes pariétaux. Chez le singe, l'aire 5 du cortex pariétal supérieur coderait la position du bras (Graziano et al., 2000). Une zone similaire chez l'homme permettrait de mettre à jour la représentation posturale chez l'Homme (Wolpert et al., 1998 ; Filimon et al., 2009). La zone intrapariétale latérale coderait quant à elle la position de la tête (Fasold et al., 2008). Enfin, un rôle prépondérant du cortex pariétal droit semble être retrouvé (Sterzi et al., 1993 ; Vallar et al., 1993).

L'existence de représentations préexistantes du corps est renforcée par des études récentes portant sur les troubles de la coordination observés à l'adolescence. En l'absence de schéma préconçu, les changements physiques observés au cours de la puberté ne

devraient pas venir interférer avec l'intégration des différentes informations sensorielles et les performances comportementales ne devraient pas varier. Cependant, des études récentes ont montré que l'apparition de difficultés de coordination à l'adolescence serait intimement liée à des vitesses de croissance élevées (Visser et al., 1998 ; Hirtz et Starosta, 2002). De même, des défauts de coordination des mouvements ont été révélés chez un sujet souffrant d'achondroplasie (forme de nanisme) au décours d'une extension chirurgicale de membre, de même que chez des adultes sains portant des échasses (Dominici et al., 2009).

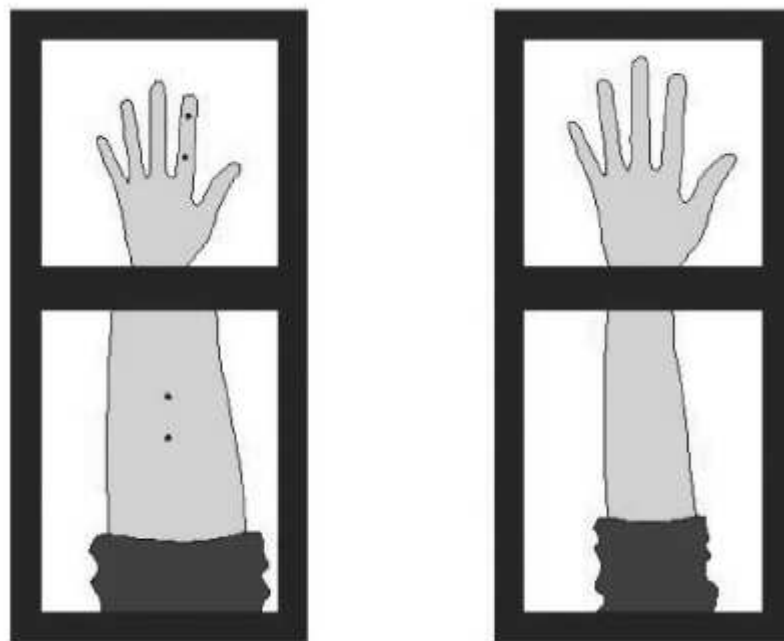
**Représentation métrique du corps.** Il nous est possible de percevoir la taille d'un objet touchant deux surfaces de peau différente en déterminant par exemple à quelle distance le doigt et le pouce sont l'un de l'autre. De même, nous pouvons percevoir la taille d'objets touchant une surface continue de peau. Toutefois, aucune estimation de taille ne serait rendue possible sans une représentation préalable de la taille du corps.

Comme nous l'avons vu préalablement avec l'Homunculus de Penfield, la représentation somesthésique est massivement déformée. Cette distorsion est liée à la densité et à la taille des champs récepteurs des mécanorécepteurs dans la peau, mais également à la taille des champs réceptifs des unités corticales. Cette grande hétérogénéité des champs récepteurs sera à l'origine d'illusions, au premier rang desquelles l'illusion de Weber (1978) dans laquelle la distance perçue entre deux points sur la peau augmente à mesure que les points sont déplacés d'une région de faible sensibilité vers une région de plus grande sensibilité. Les études quantitatives ultérieures confirmeront la corrélation existant entre l'effet Weber et la cartographie corticale (Cholewiak, 1999). Cependant, il semble que cet effet soit plus faible qu'attendu et ne puisse être expliqué par la seule acuité des champs récepteurs (Taylor-Clarke et al., 2004), suggérant l'existence d'une composante supplémentaire qui corrigerait les trop grandes distorsions inhérentes aux informations somesthésiques. Ce système de contrôle impliquerait une représentation des propriétés métriques du corps (Taylor-Clarke et al., 2004) : le schéma corporel. Ainsi, le courant d'informations afférentes subirait une calibration par le biais de cette représentation préexistante.

À ce titre, la vision joue un rôle complémentaire sur la perception tactile. Dans l'étude de Taylor-Clarke et ses collaborateurs (2004), les participants devaient déterminer si la distance entre deux points de stimulation de la face palmaire de l'index était comparable ou



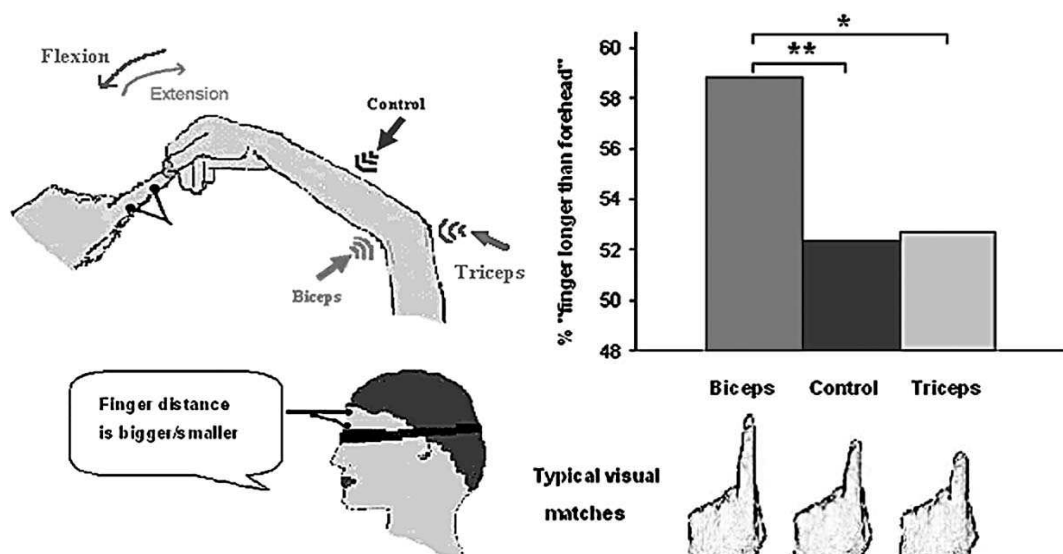
non à celle effectuée sur l'avant-bras. Comme attendu, les auteurs retrouvaient une illusion de Weber, les stimuli identiques étant perçus comme plus grands sur le doigt. À l'aide d'une caméra vidéo et de miroirs déformants, les auteurs présentaient ensuite aux participants leur index dont la taille était réduit de moitié et leur avant-bras doublé (figure 5). L'influence de la vision fut à l'origine d'une réduction de l'illusion. Taylor-Clarke et ses collaborateurs (2004) mirent ainsi en évidence le rôle de la vision dans l'élaboration d'un schéma corporel constant.



**Figure 5.** Aperçu avant et après distorsion de la main et de l'avant-bras. A gauche, présentation d'une main dont la surface est réduite de moitié et un avant-bras dont la surface est doublée. A droite, présentation d'une image non distordue de la main et de l'avant-bras (d'après Taylor-Clarke et al., 2004).

De Vignemont et ses collaborateurs (2005) utiliseront par la suite un paradigme expérimental inspiré de l'illusion de Pinocchio pour modifier la longueur perçue du doigt. Les participants devaient pour cela accrocher leur index gauche avec la main droite. Lors d'une mise en vibration des tendons du biceps ou du triceps du bras droit, les auteurs ont produit l'illusion que l'index gauche subissait soit un allongement, soit un rétrécissement, en fonction du muscle stimulé. Cette illusion dite de Pinocchio a induit à son tour une modulation significative de l'illusion de Weber mesurée entre l'index et le front, les

participants jugeant les distances identiques lorsque l'index était perçu comme plus long (figure 6).

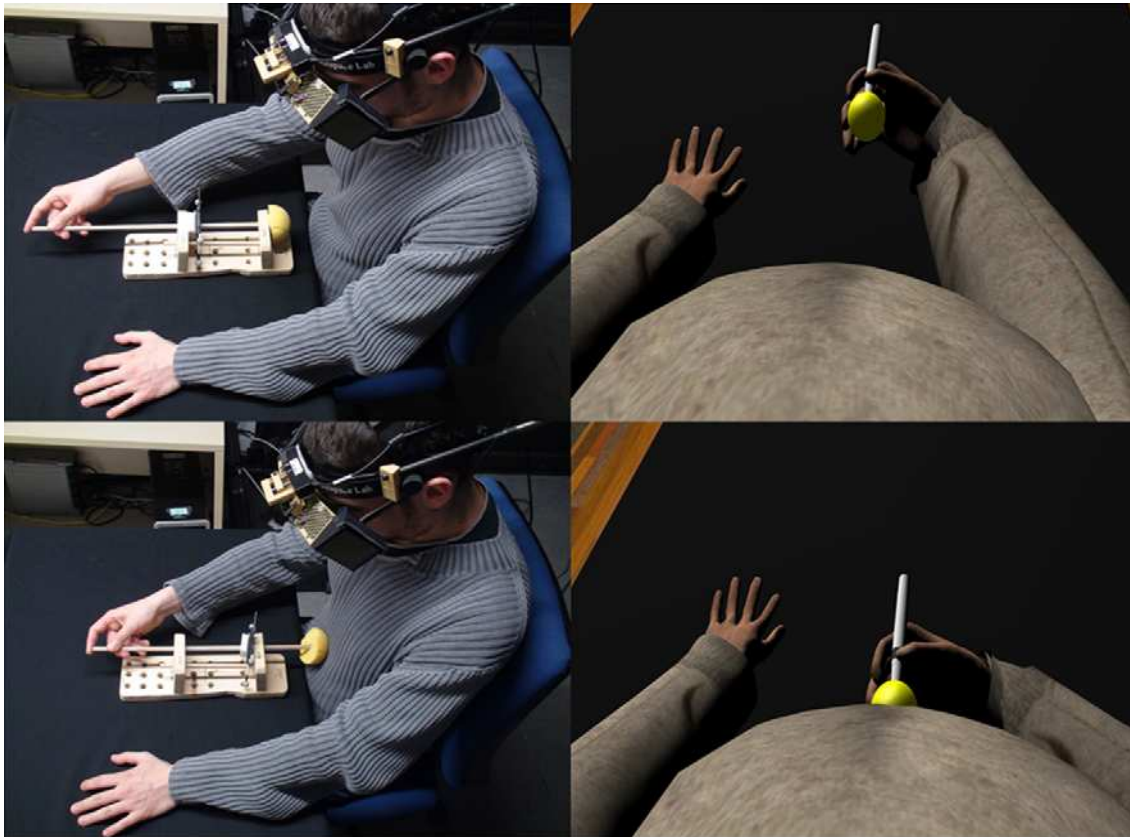


**Figure 6.** Dispositif expérimental. Les sujets ont les yeux bandés et tiennent leur index gauche avec leur main droite. Une stimulation du tendon du biceps, du tendon du triceps, ou un emplacement à proximité de commande qui ne stimule pas le tendon. La vibration du biceps induit une extension du bras droit et une impression d'allongement de l'index gauche. La vibration du triceps induit une flexion du bras droit et une impression d'un raccourcissement de l'index gauche. Lors de l'entrée en vibration, les sujets perçoivent une stimulation tactile sur l'index gauche et sur le front à l'aide de deux paires de solénoïdes miniatures et doivent déterminer si la distance entre les deux solénoïdes est plus grande ou plus petite entre l'index et le front (d'après de Vignemont et al., 2005).

Des résultats similaires seront observés lors de désafférentations périphériques expérimentales. C'est ainsi que l'anesthésie d'un doigt induit une augmentation de la taille perçue des objets (Gandevia et Phegan, 1999 ; Berryman et al., 2006). Ces résultats mettent en évidence le rôle de l'intégration sensorielle et de l'élaboration d'un schéma corporel préalable pour l'élaboration d'un percept harmonieux.

**Image consciente du corps.** Le fait que nous ne nous percevions pas consciemment tel que l'Homonculus, c'est-à-dire en fonction du degré d'afférences sensorielles, justifie pour Longo et ses collaborateurs (2010) l'existence d'une image dite consciente du corps. Ce niveau de représentation explicite du corps interagirait avec des niveaux de représentations plus implicites. Ce dialogue a notamment pu être mis en évidence lors d'expérience impliquant des changements dans la perception consciente de la taille du corps, qu'il s'agisse des illusions proprioceptives décrites précédemment (de Vignemont et al., 2005) ou d'immersions dans une réalité virtuelle (Normand et al., 2011). Dans cette étude, les sujets

étaient plongés dans un corps virtuel dont les dimensions avaient été augmentées. Des stimulations tactiles du ventre des participants étaient effectuées de façon alternativement synchrone et désynchrone (figure). Les stimulations multisensorielles synchrones provoquèrent des changements de dimensions du schéma corporel et l'émergence secondaire d'une représentation consciente du corps, les participants se percevant plus gros qu'ils ne l'étaient en réalité.



**Figure 7.** Dispositif expérimental d'immersion en réalité virtuelle et de stimulation synchrone d'un gros avatar (d'après Normand et al., 2011).

Des arguments laissent à penser que la vision jouerait un rôle prépondérant dans l'élaboration de cette image consciente du corps. Longo et ses collaborateurs justifient ce point par deux perceptions corporelles en apparence opposées mais tirant toutes deux leur origine d'une désafférentation sensorielle. Nous entendons par désafférentation sensorielle une perte des afférences sensorielles, habituellement consécutive à une atteinte des fibres sensorielles mais pouvant être également secondaire à la perte de l'ensemble de la structure des fibres sensorielles jusqu'au cortex sensoriel primaire. Au décours de désafférentation par lésions de la moelle épinière, il n'est pas rare que des patients rapportent des sensations

fantômes à type d'augmentation de la taille du membre concerné (Bors, 1951 ; Evans, 1962 ; Conomy, 1973). Ceci contraste avec des expériences de télescopage entre le moignon et le membre fantôme des sujets ayant subi une désafférentation par amputation traumatique (Riddoch, 1941 ; Henderson et Smyth, 1948). Pour Longo et ses collaborateurs (2010), seul un rétrocontrôle visuel permet de recalibrer cette image consciente du corps, l'expérience d'augmentation de taille résultant d'un conflit entre une image du corps prémorbide et la vision du membre résiduel. Cependant, ces phénomènes peuvent survenir des mois voire des années après une désafférentation (Riddoch, 1941). Ceci ne peut donc être expliqué seulement par une information visuelle instantanée. Des arguments laissent à penser qu'une intégration de différentes entrées sensorielles serait à l'origine des remaniements de cette image consciente du corps.

En regard de cette approche du corps engagé dans la perception et l'action, Longo et ses collaborateurs (2010) proposent un deuxième niveau de représentation, dans lequel le corps est désormais considéré comme un objet physique duquel nous sommes à même de tirer un certain nombre de connaissances. Au même titre que n'importe quel autre objet, le corps est soumis aux lois physiques de la gravitation, possède un certain nombre de caractéristiques, telles que sa masse, son volume, sa solidité. Nous pouvons donc en avoir une connaissance biologique mais également sémantique. Un tel niveau de représentation ou de métareprésentation implique dès lors des capacités d'abstraction, de catégorisation, l'accès à des croyances et des attitudes liées au corps.

S'agissant du point de vue sémantique, nous possédons un grand nombre de connaissances, telles que la forme des différentes parties du corps, la localisation spatiale de ces différentes parties du corps les unes par rapport aux autres, les fonctions rattachées à chaque partie du corps et à chaque organe, ou encore les croyances culturelles à l'égard du corps (Kemmerer et Tranel, 2008). Nous possédons des connaissances générales, ou encyclopédiques, du corps aussi bien que spécifiques de notre propre corps ou de celui d'un proche.

**Une connaissance lexicale et sémantique du corps.** Les connaissances lexicales et sémantiques rattachées au corps sont à la fois distinctes et structurées (Coslett et al., 2002). En témoignent les nombreuses études anatomo-fonctionnelles portant sur certains déficits

sélectifs (Dennis, 1976 ; Suzuki et al., 1997). Dennis (1976) décrit ainsi le cas d'une patiente, victime d'une lésion temporale antérieure gauche, incapable de nommer ou pointer des parties du corps nommées verbalement, mais qui restait en mesure de pointer la partie de son propre corps correspondant à celle indiquée sur un schéma. Ses difficultés semblaient se limiter au champ lexical du corps, les capacités de classement ou de catégorisation étant préservées. Le patient décrit par Suzuki et ses collaborateurs (1997) était incapable de pointer la partie du corps nommée par l'examineur, mais réussissait à identifier ces mêmes parties par leur fonction ou lorsqu'elles étaient associées à un objet. La fonctionnalité était préservée, seule l'information lexicale rattachée au corps était touchée. Coslett et ses collaborateurs (2002) feront la démonstration que la connaissance du corps peut être préservée en dépit d'importants déficits sémantiques impliquant d'autres types d'information. La connaissance du corps semble être une catégorie distincte et dissociable du reste. Les principales régions cérébrales impliquées dans l'acquisition de connaissances lexicales et sémantiques du corps semblent être l'hémisphère gauche et en particulier le cortex pariétal inférieur (Suzuki et al., 1997 ; Laiacina et al., 2006 ; Kemmerer et Tranel, 2008), le cortex temporal antérieur (Dennis, 1976) et le cortex frontal inférieur (Kemmerer et Tranel, 2008).

**Une connaissance topologique du corps.** De même que les connaissances lexicales et sémantiques semblent être dissociables l'une de l'autre, les connaissances topologiques ayant trait au corps semblent posséder cette propriété. Schwobel et Coslett (2005) ont mis en évidence cette double dissociation entre les connaissances lexico-sémantiques et les connaissances de la localisation des parties du corps chez des patients victimes d'accidents vasculaires cérébraux. Le déficit le plus spectaculaire reste à ce titre l'autotopoagnosie. Caractérisée par une incapacité totale à localiser les différentes parties du corps les unes par rapport aux autres, elle n'est révélée qu'au cours de l'examen neuropsychologique, le patient n'étant pas conscient du trouble et les comportements automatiques étant préservés. Sirigu et ses collaborateurs (1991) rapporte ainsi le cas d'une patiente de 62 ans, atteinte d'une maladie d'Alzheimer, incapable de pointer les parties de son corps sur commande verbale, ni d'indiquer verbalement les relations spatiales entre ces parties. En revanche, la patiente était en mesure de définir les fonctions de ces différentes parties du corps. Buxbaum et Coslett (2001) ont décrit le cas d'un patient souffrant d'autotopoagnosie

qui était capable de pointer sur son corps la partie associée à des objets vus. Ainsi, lorsque l'expérimentateur montrait une photo de chaussure, le patient pointait son pied. En revanche, il lui était impossible de répondre lors d'un pointage direct. Ces résultats suggèrent une déficience sélective de la mise en relation des différentes parties du corps, alors même que les connaissances sémantiques sont préservées. Schwoebel et Coslett (2005) évoqueront ainsi la notion de représentation structurelle du corps.

Comme pour les connaissances lexicales et sémantiques du corps, l'autotopoagnosie est presque toujours associée à des lésions du lobe pariétal gauche, en particulier le cortex pariétal supérieur gauche et le sulcus intrapariétal (Le Clec'h et al., 2000 ; Felician et al., 2004 ; Corradi-Dell'Acqua et al., 2008 ; Corradi-Dell'Acqua et al., 2009). Cependant, Denes et ses collaborateurs (2000) rapportent un cas d'autotopoagnosie après une lésion du cortex pariétal droit chez un patient gaucher dont la latéralisation hémisphérique du langage était droite, ce qui suggère un lien très fort entre les connaissances sémantiques du corps et les aires associées au langage.

S'agissant des émotions associées, une distinction des processus engagés selon les niveaux de représentations corporelles impliqués est proposée (Longo et al., 2010). Ainsi, l'émotion ressentie par le corps serait à différencier de l'émotion suscitée par le corps, cette dernière alimentant des croyances ou des attitudes envers le corps, plus qu'un percept.

**Emotion ressentie par le corps.** Diverses études ont souligné le rôle prépondérant de l'insula et se sont attachées à identifier ses connections sensorielles afférentes (Mehnert et al., 2008 ; Wang et al., 2008 ; Critchley et al., 2004). Craig (2009) a récemment souligné l'implication de l'insula dans la conscience que l'on a de son propre corps et en particulier du type d'émotions générées par celui-ci. À l'inverse, la stimulation de la partie antérieure de l'insula entraîne un ressenti de nausée et de vomissement (Penfield et Faulk, 1955). Diverses études ultérieures mettront en évidence une activation insulaire lors d'une expérience de dégoût, que la stimulation soit gustative ou olfactive (Royet et al., 2003).

Dans des tâches impliquant le toucher, de récentes études neurophysiologiques suggèrent l'existence d'une voie perceptive complémentaire de la voie classique reliant les mécanorécepteurs cutanés au thalamus et au cortex sensoriel primaire (Johnson et Hsiao, 1992 ; Mountcastle, 2005). Il s'agirait d'une voie impliquant l'insula (Olausson et al., 2002) et

qui induirait une valence émotionnelle lors de l'expérience tactile. Cette voie serait notamment empruntée lors de caresses et à l'origine d'une sensation de plaisir. Pour Essick et ses collaborateurs (1999), cette voie pourrait jouer un rôle particulier dans les interactions sociales corporelles à forte valence émotionnelle. Il en va ainsi de la douceur comme de la douleur, le cortex insulaire antérieur codant également la composante affective de la douleur, quelle concerne notre propre corps (Schreckenberger et al., 2005 ; Kong et al., 2006) ou celui d'un autre (Singer et al., 2004).

**Emotion suscitée par le corps.** Deux types de manifestations émotionnelles sont classiquement retrouvés à l'égard du corps. Le premier concerne les préoccupations à l'égard de l'intégrité du corps comme par exemple le maintien de l'intégrité du corps face à la maladie ou au décours d'un traumatisme. Il s'agit en général d'attitudes fondées sur la connaissance et les craintes concernant l'évolution d'une maladie. Cependant, la littérature médicale s'est essentiellement intéressée aux aspects esthétiques plutôt qu'aux attitudes ou aux croyances à l'égard de telle ou telle partie du corps touchée (Fobair et al., 2006).

Les données concernant les préoccupations esthétiques, l'apparence physique, le regard de l'autre sont en effet plus nombreuses. À ce titre, l'insatisfaction générée par le corps et la focalisation sur celle-ci peuvent avoir des effets dévastateurs sur l'estime de soi. Parmi les TCA, l'anorexie mentale (AM) en témoigne et constitue une forme extrême de ce sentiment d'insatisfaction corporelle. Mais avec elle, beaucoup d'autres syndromes ont émergé ces dernières décennies témoignant pour l'essentiel d'une très grande fragilité narcissique des individus atteints, mais possédant comme expression symptomatique les préoccupations corporelles. L'insatisfaction générée est souvent source de complications dépressives et comportementales pouvant parfois mener jusqu'au suicide (Franko et Striegel-Moore, 2002 ; Rodriguez-Cano et al., 2006).

Il est bien évident que le souci de l'apparence ne peut pas être envisagé sans une dimension sociale. Cette dimension sociale est fortement liée aux attentes culturelles envers le corps, même si ces normes peuvent varier selon les cultures (Lee et al., 1996).

Fait intéressant, les préoccupations émotionnelles sur le corps sont souvent exprimées en termes de dimension et de poids de l'ensemble ou d'une partie du corps. Parmi les syndromes qui voient le jour, citons le syndrome d'Adonis qui se caractérise par la pratique excessive d'exercice physique, pour laquelle la seule motivation est l'apparence au

détriment du plaisir du jeu, une fixation sur l'apparence d'un modèle (homme musclé, vedette de cinéma), une utilisation de grande quantité de compléments alimentaires. Les sujets présentent des changements brusques de poids. Ils font appel à des techniques dangereuses pour perdre du poids (diète, laxatif, diurétiques), dépensent un temps et des sommes d'argent considérables pour la toilette. Et pour lesquels domine un sentiment dépressif persistant de ne jamais avoir le bon « look » et un besoin continu d'être rassuré sur son apparence (Mosley, 2009).

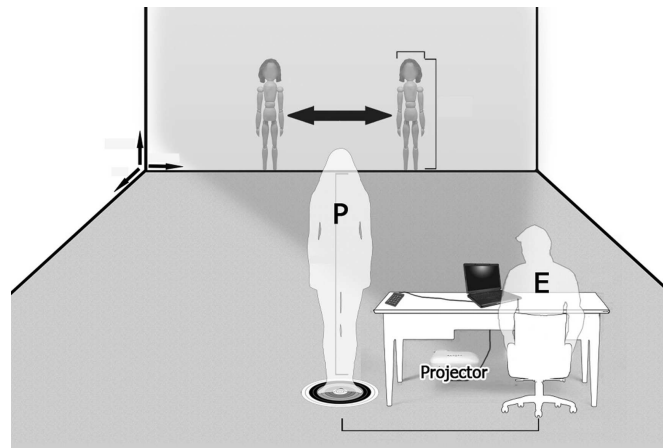
La dysmorphophobie a été initialement décrite par Morselli en 1871. Souvent rattachée à un trouble de type obsessionnel, ou de type schizophrénique, elle évolue vers une entité autonome à partir des travaux d'Andreasen et Bardach (1977). Mais, c'est Thomas (1984) qui individualise définitivement la dysmorphophobie en la distinguant des syndromes dysmorphophobiques liés à d'autres pathologies psychiatriques. Ce point de vue est consacré par le DSM-III-R (1987) sous l'appellation *Body Dysmorphic Disorder* (BDD). Il se caractérise donc par une préoccupation anxieuse pour un défaut physique imaginaire ou très léger, dont découlent des comportements compulsifs (Tignol et al., 2012). La préoccupation anxieuse est faite de pensées concernant le défaut corporel, son existence, son état du moment, ses conséquences négatives, la façon d'arriver à ce qu'il disparaisse, la façon de le camoufler en attendant. Le défaut imaginaire ou très léger peut concerner n'importe quelle partie du corps. Néanmoins, la face est le plus souvent en cause, chevelure comprise. Les plaintes les plus fréquentes quant au visage concernent des défauts de la peau (rides, boutons, cicatrices, taches vasculaires), la chevelure, le nez. Aux préoccupations concernant l'existence et l'évaluation du défaut sont reliés les comportements de comparaison à autrui, de quête de réassurance, de consultation répétée ou d'évitement des miroirs. S'y associent souvent des troubles anxieux, la dépression et une mésestime de soi (Phillips et al., 2006).

Le trouble de l'identité et de l'intégrité du corps (TIIC, également appelée apotemnophilie) se caractérise par une aversion durable du patient pour une partie de son corps, et le sentiment qu'il se sentirait plus intègre sans elle (First, 2005). L'intensité de ce trouble est parfois telle que des patients n'hésitent pas à demander une amputation volontaire de la partie du corps. L'amputation pourrait avoir un effet positif, ce dernier se sentant plus rassemblé (First, 2005). L'essentiel des réflexions touchant le TIIC concerne le dilemme éthique posé par l'amputation d'un membre sain (Dua, 2010). Cependant, des études récentes se sont intéressées au traitement perceptif de la partie du corps touchée.



Brang et ses collaborateurs (2008) rapportent une conductance accrue de la peau en deçà de la partie du corps touchée. Les auteurs ont suggéré un dysfonctionnement congénital du lobule pariétal supérieur droit et une altération de la connexion avec l'insula (Brang et al., 2008). Blanke et ses collaborateurs (2009) ont constaté que la majorité des patients présentaient des paresthésies, des hypoesthésies, une somatoparaphrénie, voire une asomatognosie marquée par l'absence de reconnaissance du membre. Pour ces auteurs, l'hypothèse d'une asomatognosie prédomine, le TIIC correspondant au pendant du membre fantôme. Pour Ramachandran et McGeoch (2007), il s'agirait d'une inadéquation entre la représentation du corps réel et celle du corps souhaitée. Il n'en reste pas moins que la valence émotionnelle attribuée à cette représentation reste indéniable.

Selon toute vraisemblance, les interactions fonctionnelles entre les différents niveaux de représentation du corps d'une part et le type d'émotion considérée sont multiples. L'approche intégrative ne peut être considérée comme suffisante et seule l'existence de dialogues multiples au sein de chaque niveau et entre chaque niveau permet de mieux appréhender l'ensemble des possibles. En témoigne une récente étude publiée par Morgado et ses collaborateurs (2011) dans laquelle l'influence de facteurs émotionnels et psychosociaux affectait la perception et l'action. Les participants devaient imaginer passer à travers une ouverture délimitée par deux membres de leur classe à l'école (figure 8). Il pouvait s'agir de personnes ayant donc plus ou moins d'affinité avec le sujet. Différentes largeurs d'ouvertures étaient présentées et pour chacune d'entre elles, le participant devait dire si oui ou non, l'ouverture lui apparaissait comme étant passable. Après cette session expérimentale, ils devaient ajuster eux-mêmes l'ouverture de telle manière à ce qu'elle leur apparaisse comme étant « *juste passable sans avoir besoin de tourner les épaules* ». Les résultats ont mis en évidence une corrélation positive entre le pourcentage de réponses positives et le degré de complicité avec les personnes délimitant le passage et une corrélation négative entre l'ouverture critique et l'affinité. Ainsi, plus l'affinité avec leurs camarades de classe était grande et plus l'ouverture critique (l'ouverture minimum leur permettant le passage sans tourner les épaules) était petite.



**Figure 8.** Dispositif expérimental (P : participant, E : expérimentateur ; d'après Morgado et al., 2011).

Cette étude soutient l'idée que l'attachement à l'égard de ses pairs pourrait affecter la perception de l'espace et l'action impliquant le schéma corporel. Elle confirme les résultats des équipes de Stefanucci (2008) et de Witt (2004) pour qui des facteurs tels que l'effort, les intentions ou la peur influent sur la perception de notre position dans l'espace. Nous voyons bien aux grés de ces exemples comment le dialogue peut naître entre des croyances, une émotion et une représentation.

Cette distinction proposée par Longo et ses collaborateurs (2010) entre 1) les perceptions du corps, en tant que représentations motrices du corps et émotion ressentie par le corps, et 2) la représentation du corps, en tant que connaissance du corps et émotion suscitée par le corps s'accompagne de certaines limites, notamment celle d'un emploi confondant des termes, tel que celui d'image consciente du corps (de Vignemont et al., 2010). D'autre part, l'emploi des termes perception et représentation peut induire en erreur dans la mesure où les notions de schéma postural, de schéma corporel font déjà appel à un certain niveau de représentation. D'autres modèles voient cependant le jour en parallèle.

### **1.1.2. Vers une représentation sensori-motrice, structurelle et conceptuelle du corps**

Conscient du caractère flou, hétérogène de la notion d'image du corps, certains auteurs proposent de la rejeter (Sirigu et al., 1991 ; Schwoebel et Coslett, 2005). Un modèle triadique est ainsi proposé comme alternative. Celui-ci se compose d'une représentation sensori-motrice basée sur des informations afférentes et efférentes (schéma corporel), d'une représentation structurelle du corps (carte du corps visuo-spatiale) et d'une

représentation sémantique du corps. S'agissant de la représentation structurelle du corps, elle fournit une description de la structure des relations entre les parties du corps (c'est-à-dire leurs limites, leur proximité et leur position les unes par rapport aux autres). Elle se base principalement sur la vision, mais aussi sur la perception somatique. S'agissant enfin de la représentation sémantique du corps, elle est avant tout conceptuelle et linguistique. Ce modèle est le fruit d'études anatomo-fonctionnelles ayant mis en évidence des dissociations existant entre l'apraxie, modèle de perturbation du schéma corporel (Buxbaum et al., 2000; Schwoebel et Coslett, 2005), l'autotopagnosie, modèle de perturbation de la description structurelle du corps (Sirigu et al., 1991 ; Buxbaum et Coslett, 2001 ; Schwoebel et Coslett, 2005), et les aphasies spécifiques, modèle de perturbation de la sémantique du corps (Dennis, 1976; Suzuki et al., 1997).

Trois critères ont été utilisés pour distinguer les différents types de représentation du corps: le niveau d'accès à la conscience (représentation non consciente ou consciente), le caractère dynamique (représentations à court ou à long terme) et le rôle fonctionnel (perception ou action). Le poids de chaque critère varie selon les auteurs. Ainsi, Head et Holmes (1911) sont en faveur du caractère dynamique de la représentation ainsi que de l'accessibilité à la conscience. Paillard (1999) met l'accent sur l'importance du rôle fonctionnel. Gallagher (2005) combine accessibilité et fonctionnalité. Enfin, Schwoebel & Coslett (2005) combinent les caractères dynamique et fonctionnel.

S'agissant de l'accessibilité à la conscience, des zones d'ombres persistent cependant. Questionner la représentation du corps sous cet angle pourrait apporter un éclairage neuf.

### **1.1.3. Vers une conscience corporelle**

**L'imagerie motrice, un modèle d'accessibilité réversible à la conscience.** La question du niveau de conscience rattaché à la représentation que le sujet se fait de son propre corps est une question ancienne. Head et Holmes (1911) opposait déjà le schéma corporel inconscient à une image du corps consciente. Pour Gallagher (2005), le schéma corporel est utilisé de manière automatique et ne peut émerger à la conscience en tant que tel. Prendre conscience du moindre de nos mouvements serait trop coûteux. S'inspirant de leurs travaux sur la vision, Milner et Goodale (2008) associent la distinction perception-action à l'opposition conscient-inconscient. Selon eux, les représentations sensori-motrices ne sont

pas accessibles à la conscience. Le sujet peut être conscient de l'action qu'il effectue mais ne peut avoir accès à la représentation du corps impliquée dans cette action. Le schéma corporel constituerait une sorte de « pilote automatique ». Pour ces auteurs, les patients agnosiques n'auraient aucune expérience consciente des propriétés des stimuli qu'ils peuvent saisir avec précision. Toutefois, aucune preuve empirique ne peut venir appuyer ce point. En effet, ce n'est pas parce que nous ne sommes pas capable de rapporter un fait que nous n'en sommes pas conscient (Lamme, 2003 ; Simons et Rensink, 2005 ; Block, 2007). Par ailleurs, dire que le schéma corporel n'a pas nécessairement besoin d'être « conscientisé » est différent de dire qu'il ne peut jamais être accessible à la conscience (de Vignemont, 2010).

À l'image du débat sur les représentations du corps, celui de la conscience du corps s'est progressivement éloigné de cette dichotomie conscient-inconscient. Schwoebel & Coslett (2005) introduiront cette nuance s'agissant de l'imagerie motrice. Dans leur étude, les auteurs demandaient aux sujets d'effectuer consciemment l'action dans leur tête. Ils ont ainsi eu un accès conscient à la représentation mentale du corps en action. Cela ne signifie pas que l'ensemble des opérations cognitives impliquées dans la construction du schéma corporel, telle que l'intégration multisensorielle, n'ait été disponible à la conscience, mais le résultat, à savoir la représentation du corps en action, a pu l'être (de Vignemont et al., 2005 ; de Vignemont, 2010). L'accessibilité à la conscience n'est donc plus un critère de différenciation mais bien une fonction attenante, impliquée ou non en fonction des situations.

**Représentation et métareprésentation du corps, une question d'ordre.** Tononi et Edelman (1998) isolent deux niveaux de conscience : la conscience primaire et la conscience d'ordre supérieur. La première repose sur l'interaction entre deux systèmes, à savoir le tronc cérébral et le système limbique d'une part et les structures thalamo-corticales d'autre part. Le tronc cérébral et le système limbique régulant les besoins primaires (soif, appétit, comportements sexuels, stratégies de défense), ils sont reliés à un système hormonal endocrinien et à un système neurovégétatif, assurant ainsi l'homéostasie du corps. Le système thalamo-cortical reçoit lui les signaux sensoriels de l'environnement et envoie des signaux au système moteur. Il est constitué de multiples cartes, structures locales stratifiées fortement interconnectées, massivement réentrantes, à organisation topographique.

Ces deux systèmes coopèrent pour permettre les apprentissages et assurer une meilleure adaptation de l'individu à son environnement. Plusieurs catégorisations peuvent ainsi s'assembler pour aboutir à une scène sans être nécessairement reliées par un lien de causalité ou par un lien physique. C'est cette capacité à créer des scènes qui a entraîné, selon Edelman (1992), l'apparition de la conscience primaire.

Cette conscience primaire serait dépendante de l'évolution de trois fonctions : une capacité d'apprentissage, une capacité de mémorisation des catégorisations sensorielles et une capacité d'interactions réciproques entre les différents systèmes via des phénomènes de boucle de réentrance thalamo-corticale. Cette dernière correspond à une liaison fonctionnelle opérée, renforcée et stabilisée, mise en place entre différents éléments de l'appareillage cognitif. Il permet de relier les événements perceptifs en cours, afin de construire une scène.

Pour Edelman (1992), cette interaction entre la mémoire à court terme et la catégorisation perceptive donnerait naissance à la conscience primaire. Dès que les circuits réentrants concernés sont en place, le processus de liaison se fait en parallèle dans toutes les modalités sensorielles, permettant la construction d'une scène qu'il qualifie de « *présent remémoré* » (Edelman, 1992). La conscience primaire ne serait ni plus ni moins qu'une remémoration de la scène présente.

Avec la conscience d'ordre supérieur, il s'agit ici de rendre compte de la capacité de l'être humain d'être conscient qu'il est conscient. Pour Edelman (1992), les différents systèmes de mémoire s'associent pour élaborer une représentation conceptuelle du moi en interaction avec le monde environnant. Cela suppose une modification de la relation entre l'individu et le présent immédiat. En effet, des travaux portant sur les primates montrent que l'humain possède la capacité de se détacher du contexte, d'utiliser son système frontal pour inhiber et retarder la réalisation de certains programmes comportementaux. Enfin, cela suppose également l'acquisition et le stockage à long terme des relations symboliques acquises au cours des interactions avec d'autres individus, interactions ayant contribué à la construction d'un modèle du moi pour le sujet. La mémoire revêt une importance capitale, permettant notamment d'assurer une continuité.

L'interaction de cet ensemble, représenté par ces mémoires spécialisées et la mémoire conceptuelle des valeurs/catégories, permet donc d'établir un modèle plus global du monde. Grâce à la faculté de faire la différence entre l'expérience perceptive en cours et un tel

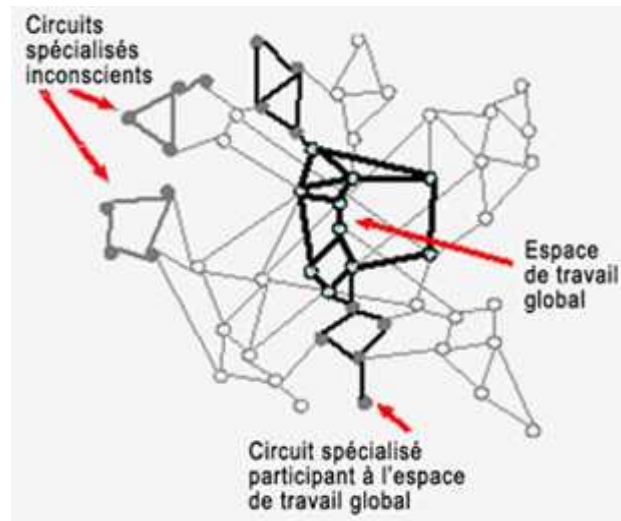
modèle conceptuel symbolique, il devient finalement possible de mettre au point une représentation conceptuelle du passé. Il faut bien sûr disposer pour cela du langage.

Ce modèle de conscience soulève une nouvelle question celle d'une distinction en une ou des représentations du corps et une ou des métareprésentations du corps. À l'image de ces consciences de premier ordre et d'ordre supérieur, des représentations de premier ordre engagées dans des processus perceptivo-moteurs se verraient ainsi être ou non accessibles à un certain niveau de conscience, en fonction du niveau d'apprentissage notamment. Ces dernières se trouveraient intégrées dans un système de conscience d'ordre supérieur permettant notamment au sujet de se métareprésenter et d'émettre ainsi des jugements sur sa propre représentation.

Parallèlement, un autre modèle pouvant permettre une meilleure compréhension de l'implication du niveau de conscience dans la représentation du corps verra le jour (Baars, 1989). Ce dernier se fonde également sur différents niveaux d'analyse, pour lesquels l'allocation attentionnel joue un rôle central dans l'émergence d'un percept conscient.

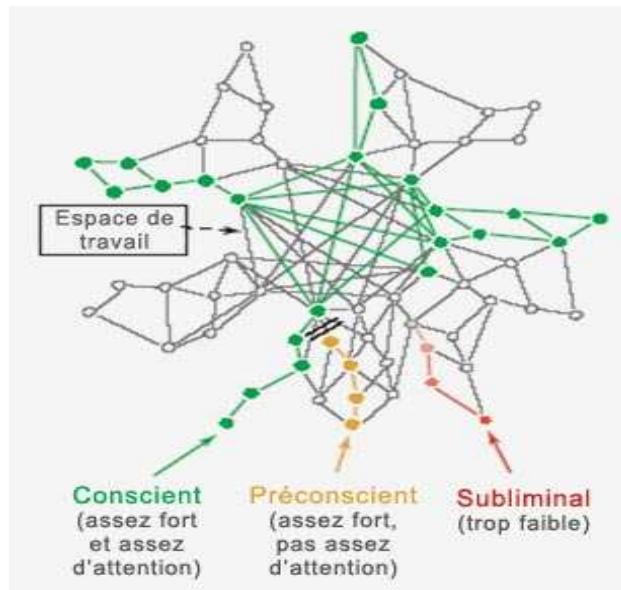
**Place du corps dans l'espace global de travail.** Développé à l'origine par Baars (1989), ce modèle s'appuie sur l'observation que le cerveau humain comprend plusieurs systèmes spécialisés, reliés à la perception, à l'attention, au langage, etc., qui accomplissent chacun leur tâche à un niveau qui n'atteint pas le seuil de la conscience.

Celle-ci serait rendue possible quand ces différents sous-systèmes mettent en commun leurs résultats dans un même « *espace de travail global* » (figure 9 ; Baars, 2002). Une fois présente dans cet espace, ces données deviennent accessibles à la conscience. Une seule donnée sera à même d'occuper l'espace de travail, expliquant pourquoi l'on ne peut être conscient que d'une seule chose à la fois.



**Figure 9.** Modèle de l'espace de travail pour l'accès à la conscience (d'après Dehaene et al., 2003).

Dehaene et ses collaborateurs (2006) enrichissent ce modèle d'une base neuro-anatomique, dans laquelle les neurones pyramidaux du cortex cérébral occupent une place centrale du fait de leur propriété structurelle. Ces derniers possèdent de longs axones capables de relier entre elles des aires corticales éloignées. Ils expliciteront également les divers états de conscience existant ainsi les mécanismes de passage de l'un à l'autre.



**Figure 10.** Représentation schématique du modèle de l'espace global de travail (d'après Dehaene et al., 2006). Une cible visuelle (en vert) est accessible à la conscience quand elle active, de manière synchronisée, réciproque et durable, un ensemble de neurones de l'espace de travail particulièrement denses dans le cortex pariétal, préfrontal et cingulaire, et dont les connexions longue-distance permettent la diffusion à de nombreuses régions éloignées. Un stimulus peut manquer de devenir conscient pour deux raisons: (i) il pourrait ne pas avoir assez de force pour atteindre l'espace global de travail, c'est le cas des stimuli subliminaux (en rouge), ou (ii), il pourrait avoir la force suffisante pour être visible, mais l'attention allouée demeure insuffisante, c'est le cas lors de la mise en concurrence de deux stimuli (en orange).

Trois niveaux de conscience seront ainsi individualisés (figure 10). Le premier correspond à un traitement subliminal, l'activation de type *bottom-up* n'y est pas suffisante pour déclencher une activation globale du réseau. Le second permet un traitement préconscient. L'information active suffisamment le réseau pour accéder à la conscience mais se trouve temporairement exclue du fait d'un manque d'attention allouée, selon un mécanisme de type *top-down*. Enfin le troisième niveau est conscient. L'information envahit l'ensemble de l'espace global de travail. L'attention allouée est alors suffisante pour émerger à la conscience.

Ce modèle de conscience témoigne de l'importance de l'attention à porter pour voir émerger un percept conscient. Il permet en outre de n'exclure aucun niveau de représentation du corps comme susceptible d'intégrer l'espace global de travail. Enfin, il



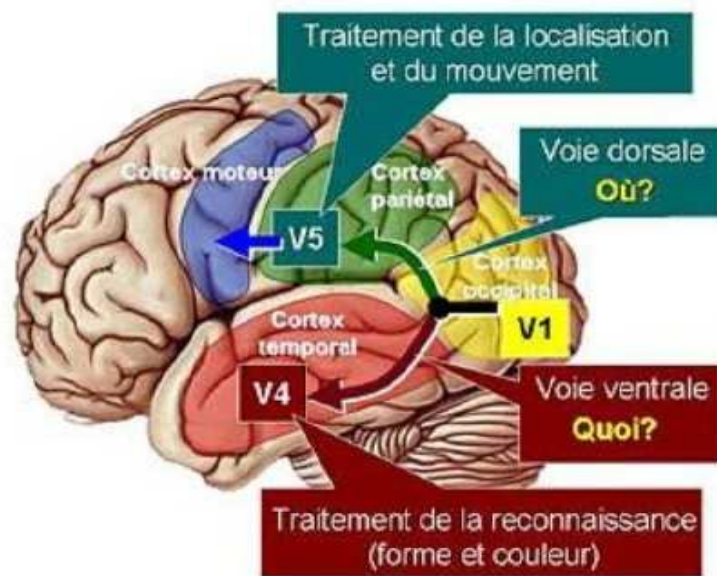
s'appuie sur des bases neuro-anatomiques compatibles avec celles impliquées dans la représentation de son propre corps.

Au regard de ces différentes propositions théoriques sur le corps, un dialogue semble donc s'établir entre perception et représentation, chacune s'influençant l'une l'autre. De celui-ci émergera différents modèles internes du corps impliqués tant dans l'action que dans la connaissance et dont le niveau de conscience dépendra de l'attention allouée. La dichotomie faite initialement entre une représentation sensori-motrice et inconsciente du corps engagé dans l'action et une représentation structurelle, conceptuelle et donc consciente du corps ne semble plus avoir de raison d'être. Chacun d'entre nous se souvient de ses premières heures de conduite passées au côté de son instructeur. Chaque séquence motrice, loin d'être automatique, exigeait un niveau d'attention et de concentration extrême afin d'éviter l'accident : vérification dans le rétroviseur, changement de vitesse, embrayage, rotation du volant... Chaque mouvement était alors directement accessible à notre conscience. Ce n'est qu'après plusieurs semaines, voire plusieurs mois de perfectionnement, que nous avons pu faire preuve de certains automatismes, permettant de réduire le niveau d'attention allouée et donc le niveau de fatigue. Cet exemple illustre comment le système attentionnel et le niveau de conscience participent de manière réversible à l'émergence de percepts, quel que soit le type de modèle interne alors impliqué. S'agissant enfin de la distinction qui peut être faite en un corps-objet et un corps-sujet, elle rejoint celle faite entre la représentation et la métareprésentation et présuppose comme nous l'avons vu l'acquisition et le stockage à long terme des relations symboliques acquises au cours des interactions avec d'autres individus. La mémoire et le langage revêtent donc une importance capitale dans l'émergence de telles facultés. Enfin, proposer de rendre compte de l'expérience du corps s'appuie comme nous l'avons déjà partiellement évoqué sur des bases neuro-anatomiques à la fois diverses et étendues. Il nous semble important de les présenter en faisant émerger celles spécifiquement impliquées dans l'élaboration de ces représentations internes du corps.

## 1.2. Bases neurales

La construction de l'objet perceptif sous-tend une organisation fonctionnelle à la fois hiérarchique et distribuée. Les différentes informations sont traitées par des aires spécifiques du cerveau interconnectées entre elles. Bien que celles-ci soient sur le plan spatial très largement distribuées, leur activité demeure malgré tout coordonnée à tous les niveaux de traitement. Les afférences sensorielles transitent dans un premier temps dans les cortex sensoriels primaires, puis convergent vers des zones dites « associatives », afin d'intégrer les différentes modalités sensorielles et de constituer une représentation cohérente et intégrée de l'environnement mais aussi de soi.

S'agissant de l'audition et de la vision, deux grands sous-systèmes corticaux seraient chargés de traiter différentes caractéristiques de l'objet perçu. La première voie traiterait les informations spatiales (coordonnées, mouvement dans l'espace), pendant que la seconde intégrerait les caractéristiques spécifiques de l'objet perçu (pour une revue voir Milner et Goodale, 2008). Dans le cas de la vision, on parle pour la première de la voie dorsale, encore appelée la voie du « où ? », allant des aires occipitales jusqu'au cortex pariétal (figure 11), et qui traite des propriétés « extrinsèques » de l'objet (position spatiale, taille, orientation). Pour la seconde, on parle de la voie ventrale, encore appelée la voie du « quoi ? », reliant les aires occipitales aux cortex temporal et frontal (figure 11), et qui permet l'identification des objets en traitant leurs propriétés dites « intrinsèques » (forme, couleur). L'existence de voies annexes reste cependant encore discutée (pour une revue Sabel et al., 2011).



**Figure 11.** Illustration des deux voies de traitement de l'information visuelle (d'après Milner et Goodale, 1993).

Attenant à ce circuit séquentiel et hiérarchique, s'ajoute un traitement parallèle de l'information assurant une double lecture de l'information, et de nombreuses boucles de rétroaction de chacune de ces aires avec les précédentes. Les aires associatives seraient douées d'une capacité de traitement multimodale. Enfin, de nombreuses projections vers des structures sous-corticales, telles que le corps genouillé latéral ou le colliculus supérieur, assureraient une communication entre des aires plus étendues rendant possible le traitement de l'information par d'autres systèmes, tels que les systèmes attentionnels, les centres moteurs, la mémoire, les émotions.

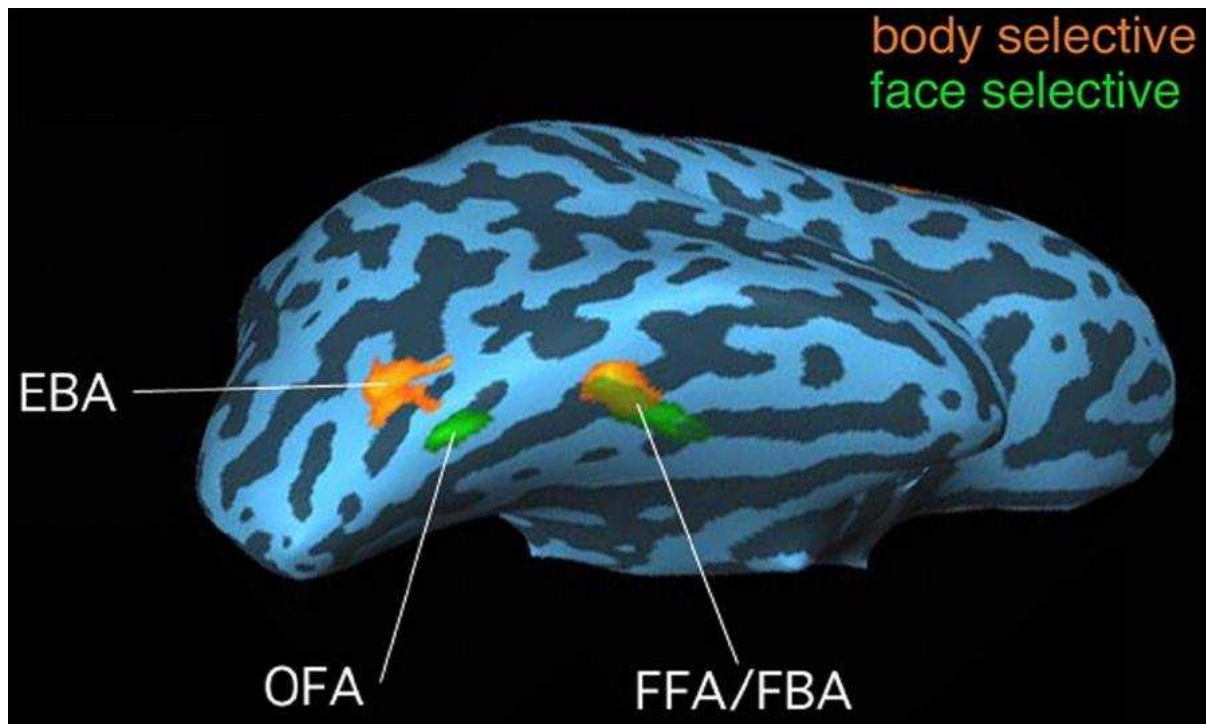
Des progrès considérables ont été faits ces dernières décennies permettant de lever le voile sur une partie des mécanismes sous-tendant les concepts de représentation du corps. L'implication privilégiée de certains réseaux neuronaux a ainsi pu être révélée. C'est notamment le cas du cortex occipito-temporal, du cortex insulaire et du cortex pariétal.

### 1.2.1. Cortex occipito-temporal

De nombreux travaux établissent l'existence chez l'homme de régions corticales spécifiques activées de manière sélective lors de la présentation visuelle des objets tels que des outils, des animaux, ou des visages. Downing et ses collaborateurs (2001) ont mis en

évidence une hyperactivation du cortex occipito-temporal droit dans sa partie latérale lors de la présentation d'images partielles ou totales du corps humain. En revanche, aucune activité de cette aire n'était décelée lors de la présentation d'objets inanimés ou de visage. L'*extrastriate body area* (EBA) ainsi qualifiée par ses découvreurs possède une sélectivité pour le corps et les parties du corps à l'exception du visage (Downing et al., 2001 ; Peelen et Downing, 2007). Une seconde aire localisée cette fois dans le gyrus fusiforme répondrait également spécifiquement à la présentation d'images de corps humains sans visage (Peelen et Downing 2005) : la *fusiform body area* (FBA). Enfin, EBA et FBA seraient également activées lors de mouvements corporels (Peelen et al. 2006).

Au sein du gyrus fusiforme, la FBA apparaît contiguë à la *fusiform face area* (FFA) impliquée dans la reconnaissance des visages humains (Kanwisher et al., 1997). L'EBA pour sa part se trouve être contiguë à l'*occipital face area* (OFA) également impliquée dans la reconnaissance des visages (Gauthier et al., 2000 ; Peelen et Downing 2007). L'EBA serait impliquée dans l'analyse des parties du corps, alors que la FBA jouerait un rôle dans le traitement configural, global des différentes parties du corps en un tout unifié (figure 12 ; Taylor et al., 2007). La même distinction semble s'opérer entre OFA (traitement des différentes parties du visage) et FFA (traitement configural du visage) s'agissant du visage (figure 12 ; Liu et coll. 2010).



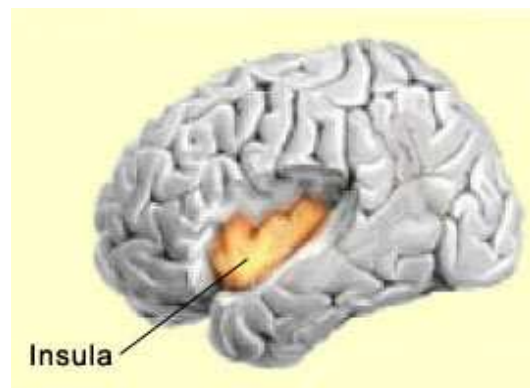
**Figure 12.** Illustration de la surface corticale de l'hémisphère droit d'un individu. Les régions d'intérêt ont été activées lors d'une tâche contrastant le corps ou un visage avec des outils. EBA : extrastriate body area ; OFA : occipital face area ; FFA : fusiform face area ; FBA : fusiform body area (d'après Taylor et al., 2007).

L'implication de l'EBA dans la reconnaissance du corps ou des parties du corps a pu être confirmée lors d'étude d'inactivation corticale par stimulation magnétique transcrânienne (SMT ; Urgesi et al., 2004). Son implication dans le traitement de l'information visuelle serait très précoce, comme le montre les pics d'activation 190 ms après la présentation d'un stimulus (Pourtois et al., 2007). Lors du traitement visuel d'un mouvement, l'EBA participerait au codage de la structure du corps (aspect statique de la configuration corporelle) plutôt qu'à l'aspect dynamique du mouvement en cours, ce dernier étant assuré par la partie ventrale du cortex prémoteur (Peelen et coll. 2006 ; Urgesi et al., 2007). EBA et FBA possèderaient par ailleurs des connexions avec l'amygdale et seraient impliqués dans le traitement des émotions exprimées par le corps (Peelen et coll. 2007).

L'implication de l'EBA dans la reconnaissance du corps et de ses parties ne se limite pas à la modalité visuelle mais concerne également la perception tactile (Kitada et coll. 2008), il en va de même des autres aires corticales. S'agissant de son implication dans la reconnaissance de soi, les données restent contradictoires. S'agissant enfin de la dominance hémisphérique, là encore les données sont contradictoires mais pencheraient pour une

activation prépondérante de l'EBA et de la FBA droite lors de la présentation d'images de corps (Aleong et Paus, 2010).

### 1.2.2. Cortex insulaire



**Figure 13.** Illustration du cortex insulaire (d'après Wheatley et coll. 2007).

L'intéroception, en tant que perception des sensations du corps, est rendue possible par l'intégration de différents signaux internes à l'origine de percepts tels que la douleur, la température, le toucher, l'état de tension musculaire, les sensations viscérales, l'activité vasomotrice, la faim, la soif. L'intéroception, au même titre que la proprioception et l'extéroception, fournit au cerveau un monitoring constant de l'état du corps. Diverses études ont souligné le rôle prépondérant de l'insula à l'égard de cette fonction et se sont attachées à identifier ses connexions sensorielles afférentes (figure 13 ; Critchley et al., 2004; Mehnert et al., 2008; Wang et al., 2008). Comme nous l'avons précédemment évoqué, la stimulation de la partie antérieure de l'insula entraîne un ressenti de nausée et de vomissement (Penfield et Faulk, 1955). Diverses études ultérieures mettront en évidence une activation insulaire lors d'une expérience de dégoût, que la stimulation soit gustative ou olfactive (Royet et al., 2003). Il se pourrait enfin que l'insula soit impliquée dans la valence émotionnelle accordée à certaines expériences sensorielles (Olausson et coll, 2002). Cette voie serait notamment activée lors de caresse et à l'origine d'une sensation de plaisir. Pour Essick et ses collaborateurs cette voie pourrait jouer un rôle particulier dans les interactions sociales corporelles à forte valence émotionnelle (Singer et coll, 2004 ; Schreckenberger et

coll, 2005 ; Kong et coll, 2006). La stimulation directe du cortex insulaire de l'homme provoque donc une extraordinaire variété de sensations corporelles, viscérales, musculaires, vestibulaires, auditives, illustrant le large éventail de connexions de l'insula avec l'ensemble du cerveau (Nguyen et al., 2009).

Outre l'aspect perceptif, Craig (2009) a récemment souligné l'implication de l'insula dans la conscience que l'on a de son propre corps et en particulier du type d'émotions générées par notre ressenti corporel. Tsakiris et ses collaborateurs (2007) ont ainsi mis en évidence une activation insulaire proportionnelle à l'émergence d'un sentiment d'appartenance de son propre corps durant une épreuve visuo-tactile d'illusion de la main en plastique. L'interconnexion existant entre l'insula et le cortex cingulaire serait enfin impliquée dans la reconnaissance de soi (Devue et al., 2007).

Cette propriété de l'insula a également été confirmée par les études anatomo-fonctionnelles. C'est ainsi qu'elle serait fortement impliquée dans les troubles neurologiques tels que l'anosognosie. L'anosognosie désigne la méconnaissance par l'individu de son déficit qu'il soit sensoriel et/ou moteur (Marcel et al., 2004 ; Orfei et al., 2007 ; Spinazzola et al., 2008). Elle est souvent associée à une lésion postérieure de l'insula droite (Karnath et al., 2005) et peut être associée à une perturbation du sentiment d'appartenance (Aglioti et al., 1996 ; Baier et Karnath, 2008) voire d'attribution d'une partie du corps à d'autres personnes (Vallar et Ronchi, 2009).

L'insula serait enfin impliquée dans les processus d'agentivité, soit la capacité à s'approprier ses propres actions (c'est-à-dire « je suis l'agent de cette action »), à distinguer du sentiment d'appartenance (c'est-à-dire « ceci est mon corps »). Dans une étude récente, Farrer et Frith (2002) ont mis en évidence une activation de l'insula antérieure, lorsque les participants étaient conscients qu'ils étaient à l'origine de l'action (déplacement d'un curseur sur un écran), et une activation du cortex pariétal inférieur lorsqu'ils avaient pris conscience que le mouvement était accompli par un autre. Cette distinction soi-autre impliquerait un réseau comprenant en outre la jonction temporo-pariétale (Spengler et al., 2009) et l'EBA (David et al., 2008).

### 1.2.3. Cortex pariétal

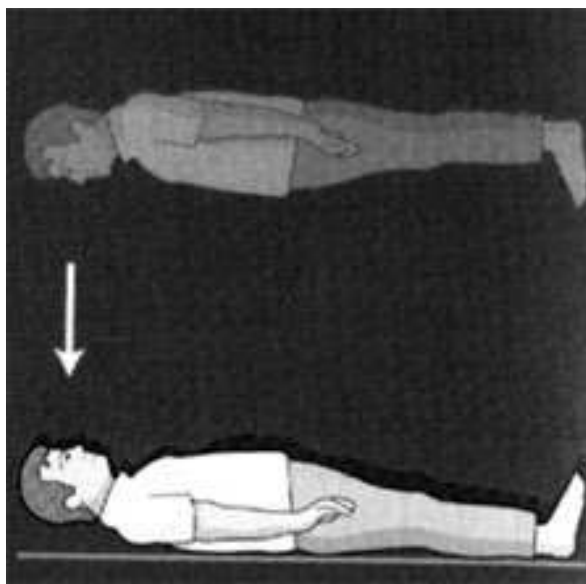
Associé à ce réseau, le réseau frontopariétal droit jouerait un rôle primordial dans bon nombre de situations impliquant le corps, qu'il s'agisse de l'élaboration d'un schéma corporel unifié, et plus généralement de modèles internes impliqués dans la planification d'un mouvement à réaliser, mais également dans l'émergence d'un sentiment d'appartenance à l'égard de son propre corps (Evans et Blanke, 2012). L'ensemble de ces fonctions résulterait notamment d'une propriété du cortex pariétal, à savoir la capacité d'intégration d'un grand nombre d'afférences sensorielles transitant par le cortex somatosensoriel primaire. Des travaux menés à la fin des années quatre-vingt-dix par l'équipe de Duhamel ont montré, à l'aide d'une mesure de l'activité électrique de cellules nerveuses du cortex pariétal chez le singe, la capacité de ces neurones à effectuer une combinaison de la carte visuelle corticale avec des informations posturales comme la position de notre tête et de notre corps, ainsi que celle des yeux dans les orbites (Duhamel et al., 1997). Le cortex pariétal serait donc le lieu d'une intégration multisensorielle, qu'il s'agisse d'afférences tactiles, d'images traitées précédemment au niveau des aires visuelles occipitales, de sons de l'environnement analysés au niveau du cortex temporal ou de stimulations produites par nos propres mouvements et traitées dans les organes vestibulaires de l'oreille interne et décodées au niveau pariétal. Au sein de ce lobe pariétal, un dialogue est ainsi noué entre différentes cartes sensorielles, ce liage assurant outre l'intégration et l'élaboration d'un schéma cohérent, la prédiction en terme de potentialité d'action (Avillac et al., 2005).

Certains phénomènes neurologiques illustrent le rôle de l'intégration sensorielle et du cortex pariétal dans la conscience que le sujet peut avoir de son corps propre. Les hallucinations autoscopiques, comprenant l'expérience de sortie du corps (ESC), l'héautoscopie, l'hallucination autoscopique (HA), ou la sensation de présence, et l'illusion de bascule de l'environnement (*room tilt illusion*) ont en effet toutes en commun une atteinte différentielle des mécanismes d'attribution du corps et du sentiment d'incarnation (Lopez et al., 2008). Pour Lopez et ses collaborateurs (2008), les différents phénomènes autoscopiques et l'illusion de bascule de l'environnement résulteraient de déficits d'intégration des informations sensorielles corporelles (informations visuelles, musculaires proprioceptives et tactiles) combinés à une perte de cohérence entre les références visuelles



et vestibulaires et impliqueraient des réseaux tels que la jonction temporo-pariétale, le cortex occipito-pariétal, le cortex prémoteur et pariétal postérieur, et le cortex vestibulaire pariéto-insulaire.

Au cours d'une ESC, le sujet a la sensation de flotter dans les airs et de voir son propre corps de l'extérieur. Trois critères permettent de l'identifier : (i) le sujet à l'impression d'être désincarné, c'est-à-dire que son "soi" est situé à l'extérieur de son propre corps; (ii) il voit le monde d'un point de vue extérieur, souvent surélevé ; (iii) il perçoit son propre corps de cette perspective extérieure (figure 14 ; Bunning et Blanke, 2005).



**Figure 14.** Expérience phénoménologique de sortie de corps : (i) le sujet semble «voir» son corps et le monde à partir d'un emplacement au-dessus de son corps physique (emplacement extracorporelle représenté par la figure du haut) ; le soi est localisé en dehors du corps physique (désincarnation) ; (iii). Le point de vue du sujet est indiqué par une flèche (d'après Blanke et al., 2004).

Les ESC semblent survenir quand l'intégration des inputs sensoriels est perturbée. Comme nous l'avons vu, le traitement des informations visuelles, auditives ou tactiles s'effectue tout d'abord dans les cortex primaires respectifs, puis sont ensuite intégrés dans des aires corticales associatives, nous permettant ainsi de faire l'expérience d'un percept stable et unifié. Les informations codant la position du corps dans l'espace, ainsi que les sensations viscérales associées, convergent dans ces régions d'intégration multisensorielle. Or, il semblerait que le sentiment d'intégrité du "soi" associé à notre corps puisse facilement

être dupé si l'activité électrique de ces régions est perturbée. En réponse à cette perturbation, notre système cognitif tenterait de compenser en construisant une autre image corporelle en apparence plausible et s'inspirant de nos souvenirs et notre imagination. Pour Blanke et Mohr (2005), cette sensation serait liée à un trouble de la perception résultant d'un conflit entre le cortex visuel, informant que le corps est couché sur un lit, et le cortex vestibulaire proche du gyrus angulaire indiquant un mouvement du corps vers le haut. Un dysfonctionnement de la jonction temporo-pariétale droite y serait également associé (Bunning et Blanke, 2005).

L'héautoscopie est une expérience intermédiaire entre l'ESC et l'HA dans laquelle le sujet ne sait pas toujours si son point de vue se situe depuis son corps ou depuis son double. Ce phénomène impliquerait préférentiellement la jonction temporo-pariétale gauche (figure 15 ; Lopez et al., 2008).

Les HA se définissent comme la vision de soi-même à partir de son corps physique réel. Il n'y a pas en fait de phénomène de décorporation au sens strict. Elles seraient associées à un dysfonctionnement du cortex occipito-pariétal droit (figure 15 ; Lopez et al., 2008).

Enfin, la sensation de présence est caractérisée par l'impression de percevoir visuellement le monde comme à son habitude, en adoptant un point de vue de son corps réel, et d'avoir dans le même temps la sensation que son corps est situé derrière soi. Les études en électrostimulation ont permis de mettre en évidence l'implication des cortex prémoteur et pariétal postérieur, ainsi que de la région temporo-pariétale droite, en particulier à l'intersection des gyri angulaire et supramarginal et à l'arrière du cortex temporal supérieur (figure 15 ; de Ridder et al., 2007 ; Lopez et al., 2008). Il est intéressant de constater que la première région est associée à l'intégration multisensorielle permettant au corps de s'orienter dans l'espace, tandis que la seconde est reconnue comme étant essentielle à la formation d'une carte de la perception de soi, ingrédient essentiel à la conscience de soi.

L'illusion de bascule de l'environnement se caractérise par la perception d'une inclinaison paroxystique et transitoire de la totalité environnement visuel sans que la localisation de son propre corps soit modifiée. Cette illusion peut durer de plusieurs secondes à quelques heures. Il peut s'agir d'une inversion soudaine de 180° du champ visuel ou d'une simple inclinaison de 90° de l'environnement, en général dans le plan frontal. Ce phénomène a été associé à des lésions du tronc cérébral et du système vestibulo-

cérébelleux, des lésions du cortex pariéto-occipital et frontal, des troubles vestibulaires périphériques, et a même pu être rapporté par des sujets sains (Lopez et al., 2008).

Phenomenology	out-of-body experience	heautoscopy	autosopic hallucination	feeling-of-a-presence	room tilt illusion
Vestibular disturbance	+++	++	-	+	+++
Disintegration in personal space	+++	+++	+++	+++	-
Disintegration between personal and extrapersonal space	+++	++	-	+	+++
Disorder	embodiment body ownership	embodiment body ownership	-	body ownership	-
Brain mechanisms					

**Figure 15.** Phénoménologie et physiopathologie des hallucinations autoscopiques et de l'illusion de bascule de l'environnement. Pour chaque illusion, la position réelle du corps est indiquée par un schéma en ligne continue. La perspective adoptée par le sujet est indiquée par la flèche, son origine étant l'endroit où le sujet a l'impression qu'il se trouve. Les illusions paroxystiques sont caractérisées par un modèle spécifique de perturbation vestibulaire et de distorsion de l'espace corporel. La partie inférieure représente les régions du cerveau potentiellement impliquées dans les différentes formes de l'illusion (TPJ: jonction temporo-pariétale; PIVC: cortex vestibulaire pariéto-insulaire ; d'après Lopez et al., 2008).

Ainsi, comme le montre l'ensemble de ces phénomènes neurologiques, la représentation de soi s'appuie sur des bases neuro-anatomiques largement distribuées. Certaines voies semblent toutefois plus privilégiées notamment lorsque des représentations sensori-motrice, structurelle ou conceptuelle sont activées. C'est le cas notamment du cortex pariétal, du cortex occipito-temporal, du cortex insulaire et du cortex frontopariétal (Lopez et al., 2008).

Les différentes informations sont donc traitées par des aires spécifiques du cerveau interconnectées entre elles. Bien que celles-ci soient sur le plan spatial très largement distribuées, leur activité demeure malgré tout coordonnée à tous les niveaux de traitement. Les afférences sensorielles transitent dans un premier temps dans les cortex sensoriels primaires, puis convergent vers des zones dites « associatives », afin d'intégrer les différentes modalités sensorielles et de constituer une représentation cohérente et intégrée.

Nous verrons par la suite que cette dernière influencera à son tour l'intégration sensorielle créant ainsi un dialogue de la périphérie vers le centre (*bottom-up*) et du centre vers la périphérie (*top-down*).

### **1.3. Intégration sensorielle et représentations du corps : un dialogue permanent**

#### **1.3.1. De l'intégration vers la représentation**

De nombreuses régions du cerveau sont impliquées dans la représentation du corps. Il semble que l'élaboration de cette représentation ne soit pas totalement acquise, mais pourrait posséder un socle inné, puis affiné au fil du développement.

**Une représentation innée du corps.** Un inventaire des parties du corps normalement retrouvées serait génétiquement prédéterminé. En effet, à l'image des personnes ayant subi une amputation, les individus nés sans bras et/ou sans jambe pourraient également faire l'expérience d'un membre fantôme et ressentir des sensations émanant du membre manquant, de même que des impressions de mouvement (Ramachandran, 1993 ; Saadah et Melzack 1994 ; Ramachandran et Hirstein, 1998 ; Brugger et al., 2000). De tels résultats viennent remettre en cause l'idée d'un schéma corporel acquis.

La SMT appliquée sur le cortex moteur primaire après une amputation traumatique peut entraîner des sensations de mouvement dans le membre fantôme, ce qui suggère que l'amputation traumatique ne supprime pas les représentations du mouvement de la main manquante. Fort de cette donnée, Brugger et ses collaborateurs (2000) ont effectué une SMT du cortex moteur primaire, du cortex prémoteur, du cortex pariétal et du cortex sensoriel primaire d'un sujet présentant un syndrome du membre fantôme congénital. Cette stimulation provoqua une perception du membre ainsi qu'une impression de mouvement. Les auteurs suggèrent que la perception de son corps impliquerait ces différentes régions du cerveau.

Toutefois, le syndrome du membre fantôme congénital (personnes souffrant d'amélie) reste rare. Reilly et Sirigu (2011) se sont notamment demandé si l'absence de syndrome chez les sujets équivalait à une absence de représentation corticale du membre manquant, ou à une simple désactivation du fait du manque d'expérience sensori-motrice. Une SMT des cortex moteurs primaires du bras et de la main fut effectuée chez quatre patients présentant

un défaut congénital de membre. Il s'agissait notamment de savoir si cette stimulation pouvait engendrer des sensations fantômes, renforçant ainsi l'hypothèse de l'existence d'un schéma corporel inné, et si les représentations corticales des muscles étaient victimes d'un certain degré d'asymétrie, témoignant d'un réarrangement du cortex moteur par manque de stimulation. La SMT du cortex moteur controlatéral au membre manquant ne provoqua pas d'impression de mouvement. En revanche, elle fut à l'origine d'une contraction de l'insertion des muscles résiduels du membre manquant. En outre, l'emplacement et l'étendue des cartes somatotopiques variaient entre les deux hémisphères, sans pour autant qu'une asymétrie hémisphérique ne soit systématiquement retrouvée. Enfin, le seuil d'activation du cortex moteur était toujours plus élevé s'agissant de l'avant-bras manquant.

Cette étude ne permet pas d'éliminer l'existence d'un pré-câblage dont l'expression dans le cortex moteur primaire ne pourrait cependant se faire qu'avec l'expérience du mouvement. L'individu pourrait posséder alors une ébauche de représentation du corps dont le développement passerait par le traitement d'afférences sensorielles, en particulier visuelles, et d'efférences motrices.

Reilly et Sirigu (2008) ont proposé que deux niveaux de représentation d'un mouvement de la main coexistent au sein du cortex moteur. La première serait impliquée dans la planification de l'action de l'avant bras et de la main et la seconde dans la mise en synergie des muscles. Pour ces auteurs, la réorganisation corticale suivant une amputation traumatique toucherait préférentiellement la carte musculaire, laissant intact la commande motrice capable de signaler les mouvements du membre fantôme. S'agissant du défaut congénital de membre ou d'une amputation in utero, aucun des deux niveaux de représentation motrice ne pourrait se développer, faute d'expérience motrice. Toutefois, le fait qu'un seuil d'activation du cortex moteur du bras manquant, bien que plus élevé, existe néanmoins pourrait alimenter l'hypothèse de l'existence d'un pré-câblage. Enfin, s'agissant des expériences de mouvements fantômes signalés par certains patients améliques, celui-ci pourrait impliquer d'autres aires corticales composant le réseau, tel que le cortex pariétal, connu pour son rôle dans la représentation visuo-motrice des mouvements de la main (Sirigu et al., 1996 ; Reilly et Sirigu, 2011).

Bien que des zones d'ombres persistent encore sur l'existence d'une pré-représentation innée du corps de même que sur ses bases neurales, ces résultats soulèvent néanmoins la question du type de relation liant l'expérience sensorimotrice et la

représentation du corps. Selon toute vraisemblance, ces deux éléments s'influenceraient l'un l'autre.

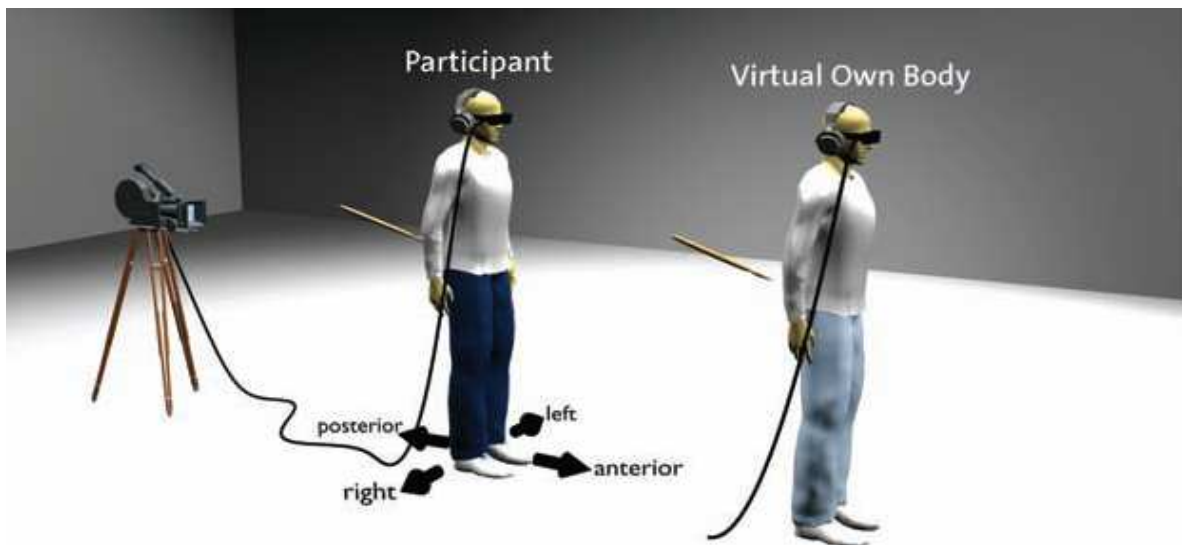
**Intégration sensorielle et optimisation de la représentation du corps.** Plusieurs paradigmes expérimentaux ont permis d'étudier l'influence de l'intégration multisensorielle sur l'élaboration du schéma corporel. Ces derniers cherchent à tromper le cerveau en modifiant son schéma corporel et notamment en y incluant certains objets extérieurs. Cette astuce peut être réalisée en utilisant par exemple une main en caoutchouc. Lorsqu'on positionne cette main en caoutchouc à proximité de la main du sujet qui est alors cachée, l'effleurement synchrone de la main réelle du sujet et de son avatar provoque l'impression que cet avatar fait partie de son corps (Botvinick et Cohen, 1998). L'un des principaux déterminants de cette illusion appelée l'illusion de la main en plastique (*Rubber-Hand Illusion*) et citée précédemment, est la synchronie des stimulations visuelle et tactile. Cette expérience fut par la suite reproduite avec d'autres objets, tels qu'une chaussure (Ramachandran et al., 1998) et une table (Armel et Ramachandran 2003). Les participants ont indiqué que l'effleurement ressenti provenait de la chaussure et de la table. Plus surprenant encore, les participants ont montré des signes de détresse et une réactivité électrodermale accrue lorsque la table était frappée avec un marteau. Des résultats similaires ont été observés lorsqu'une aiguille était plantée dans la main en caoutchouc, (Ehrsson et al., 2007). L'intégration d'objets extérieurs au sein du schéma corporel semble donc se faire en remplacement et non par addition et avec une certaine cohérence physiologique et émotionnelle.

Ce paradigme expérimental de la main en caoutchouc sera secondairement modifié afin d'étudier les processus impliqués dans la perception du corps dans son ensemble. Pour ce faire, plusieurs dispositifs ont été mis en place. Dans le premier, Ehrsson (2007) proposa de réaliser un film des participants de dos projeté secondairement (figure 16).



**Figure 16.** Dispositif expérimental employé pour induire l'illusion d'une sortie de corps (Ehrsson, 2007).

Dans le second, Lenggenhager et ses collaborateurs (2007) proposèrent aux participants une immersion en réalité virtuelle (figure 17).



**Figure 17.** Dispositif expérimental employé pour l'illusion de sortie de corps : le sujet (pantalon bleu foncé) voit à l'aide d'un casque vidéo son propre corps virtuel (pantalon bleu clair) en trois dimensions, debout 2 mètres devant lui et perçoit un caresse synchrone ou asynchrone dans le dos (d'après Lenggenhager et al., 2007).

Dans les deux cas, les participants ont pu ainsi voir le dos de leur silhouette projeté devant eux et percevoir les stimuli tactile et visuel alternativement de manière synchrone et asynchrone. Ces derniers ont ainsi pu faire l'expérience d'une sortie de leur propre corps (Ehrsson, 2007 ; Lenggenhager et al., 2007).

Alors que l'illusion de la main en caoutchouc conduit à l'incorporation d'un objet dans le schéma corporel, l'illusion de sortie de corps interroge le sentiment d'être dans la mesure où celui-ci se trouve désincarné (Blanke et Metzinger 2009 ; Metzinger 2009), mais également la perspective prise par rapport à son propre corps (Ehrsson 2007). Ces deux illusions mettent également en évidence comment la représentation du corps dans le cerveau est déterminée par l'intégration multisensorielle. Cependant, nous verrons par la suite que cette influence peut s'avérer réciproque.

### **1.3.2. Calibration des informations sensorielles en fonction du schéma corporel**

Il s'agit de s'intéresser désormais à l'influence du corps et du schéma corporel sur le traitement de l'information sensorielle. Dans certains cas, la connaissance que l'on a de notre posture est utilisée pour interpréter l'information sensorielle. Il en va ainsi de la perception des orientations, comme des mouvements.

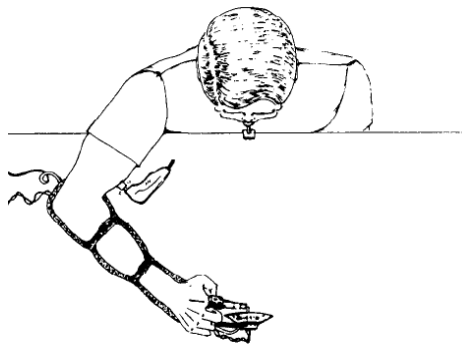
**Perception des orientations.** La posture d'un individu qui dépend des conditions environnementales constitue une mesure sensori-motrice de la verticale comportementale, encore appelée verticale posturale spontanée. L'estimation par l'individu de la direction gravitaire constitue la verticale subjective (VS ; Gibson, 1952 ; Udo de Haes et Schone, 1970). La VS peut être estimée en demandant aux sujets d'ajuster une baguette sur la direction gravitaire dans différentes modalités sensorielles, telles que les modalités tactilo-kinesthésique (Bauermeister et al., 1964 ; Luyat et al., 2001) ou visuelle (Witkin et Asch, 1948 ; Howard, 1982 ; Luyat et Gentaz, 2002).

En condition normale, les verticales gravitaire, posturale et subjective (tactile, visuelle) coïncident. En revanche, lorsque le sujet est plongé dans l'obscurité et subit une inclinaison du corps ou de la tête, les verticales gravitaire et posturale se trouvent décorréliées. Dans une étude portant sur la perception visuelle de la verticale subjective, Luyat et Gentaz (2002) ont demandé aux participants, plongés dans l'obscurité, d'ajuster une baguette lumineuse sur la verticale gravitaire et ce après avoir induit une inclinaison corporelle. Les résultats mirent en évidence une prise en compte de la posture dans l'ajustement de la baguette. Une discrète déviation ipsilatérale de la VS était même observée (effet-Aubert). Ces résultats se retrouvent en modalité haptique (Luyat et al., 2001). Afin de maintenir une perception



constante de la verticale gravitaire, allocentrée, une prise en compte de la posture a été nécessaire, grâce notamment aux afférences vestibulaires et somesthésiques.

**Illusion de mouvement.** Dans une étude évaluant l'influence des informations proprioceptives sur la localisation spatiale de stimuli auditif et visuel, Lackner et Shenker (1985) ont positionné sur le bras des participants, maintenu en position fixe, des sources de lumière et de sons (figure 18). Ils ont ensuite provoqué des stimulations du muscle biceps, à l'origine d'une impression d'extension de l'avant-bras. Les participants ont alors signalé des changements de direction des stimuli visuel et auditif dans la même direction et le même plan que le bras, bien que les informations sensorielles émanant de la rétine et de la cochlée soient restées identiques au cours de ces manipulations.



**Figure 18.** Dispositif expérimental employé pour l'illusion de mouvement : l'avant-bras du sujet est fixé et orienté dans un plan horizontal avec l'index placé dans le prolongement du plan médian de la tête, le doigt est en contact avec un haut-parleur miniature et une fibre optique, et une plaque stabilise et immobilise la tête (d'après Lackner et Shenten, 1985).

Ces résultats expérimentaux ont conduit les auteurs à proposer que le cerveau recalibre les différentes afférences sensorielles afin d'assurer une certaine congruence entre les actions menées et le monde extérieur (Lackner et Dizio 2000). Pour ce faire, le cerveau tient compte de différentes entrées sensorielles, en fonction de la situation expérimentale.

L'intégration sensorielle reposerait sur divers mécanismes d'addition, de pondération, d'intégration, et/ou de différenciation, permettant la production d'une seule perception reflétant la réalité (Howard, 1997). Il est en effet nécessaire que plusieurs informations soient prises en compte pour lever certaines ambiguïtés perceptives dues aux limitations des

propriétés des capteurs sensoriels. La plupart du temps, les informations sensorielles se complètent, permettant à l'organisme d'acquérir un certain niveau de confiance vis-à-vis du percept (Buser et Imbert, 1975). Le système nerveux central (SNC) possède cependant plusieurs niveaux de contrôle notamment dans les situations de conflit sensoriel dans lesquelles les différentes informations sensorielles sont décorréliées et mises en compétition. Il peut par exemple s'agir de mécanisme de pondération et de sommation (Mittelstaedt, 1983). C'est ainsi que des poids sont affectés aux différentes entrées sensorielles en fonction de leur degré d'implication, du sujet lui-même, voire de la tâche effectuée (Mittelstaedt, 1983 ; de Vignemont, 2010). En cas de conflit sensoriel, un signal dominant pourrait l'emporter sur les autres. Ainsi, dans le cas de l'illusion de mouvement de Lackner et Shenten (1985), la proprioception pourrait dominer la vision.

#### **1.4. Implication de cette taxonomie du corps dans la compréhension du phénomène de distorsion corporelle observé dans l'anorexie mentale**

Une distorsion dans la représentation de soi peut être retrouvée chez les patientes souffrant de TCA et notamment d'AM. Un biais de surestimation du poids et de la silhouette est ainsi systématiquement retrouvé dans la population générale (Kakeshita et al., 2006) mais largement majorée chez les patientes anorexiques, avec une différence entre les groupes de l'ordre de 10 à 15% (Cash et Deagle, 1997 ; Skrzypek et al., 2001).

Ce biais de surestimation peut être évalué grâce à des échelles d'autoévaluation (Gardner et al., 1999). Ces échelles se présentent sous la forme de silhouettes correspondant chacune à des indices de masse corporelle (IMC) différents (figure 19). Il est alors demandé au sujet de choisir la silhouette lui correspondant le plus fidèlement. L'IMC de la silhouette estimée est alors comparé à l'IMC réel du sujet, définissant ainsi le niveau d'estimation corporelle. La patiente anorexique choisit ainsi une silhouette avec un IMC largement supérieur au sien comme si elle se représentait comme étant plus grosse qu'elle ne l'est dans la réalité.



**Figure 19.** Echelle de silhouettes en fonction de l'indice de masse corporelle employée lors des tâches d'estimation corporelle.

Cette représentation de soi altérée et l'attention excessive qui lui est portée constituent un facteur de risque de décompensation du TCA (Stice et Shaw, 2002). Par ailleurs, le sentiment d'insatisfaction qu'elle induit est lui-même source de dépression et de tentatives de suicide (Franko et Striegler-Moore, 2002 ; Rodriguez-Cano et al., 2006). Enfin, la persistance de telles distorsions majore le risque d'échappement thérapeutique par le maintien de comportements restrictifs (Heilbrun et Friedberg, 1990 ; Exterkate et al., 2009 ; Santonastaso et al., 2009).

Différentes hypothèses ont été émises pour rendre compte de ces observations. Fort de la réflexion menée précédemment, un tour d'horizon des différents travaux de recherche menés s'impose.

#### **1.4.1. L'hypothèse d'un trouble de l'intégration sensorielle**

L'hypothèse d'un trouble perceptif visuel à l'origine de la surestimation du corps fut tout d'abord proposée. Afin de tester cette hypothèse, Smeets et ses collaborateurs (1999) ont étudié la perception de la taille du corps selon la méthode psychophysique des stimuli constants. Pour ce faire, les participants devaient visualiser une image non déformée de leur corps, puis la comparer à une série d'autres images de corps plus minces, égaux ou plus gros. Cette épreuve était répétée en utilisant le corps d'une autre femme et non plus le corps du sujet comme référence. Quelles que soient les conditions, les résultats ne mirent en évidence aucune différence entre les sujets souffrant d'AM et les sujets contrôles, qu'ils soient maigres ou non. Certains chercheurs suggèrent même que les patientes pourraient être capables d'une plus grande aptitude à discriminer visuellement les tailles et les formes

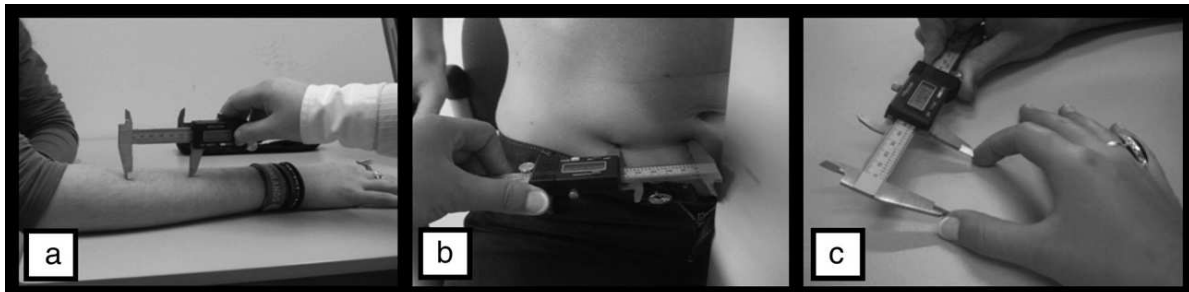
du corps (Urgesi et al., 2012), cette aptitude étant vraisemblablement liée à l'intensité de leurs préoccupations corporelles.

Enfin un dernier argument allant à l'encontre de l'hypothèse du seul déficit de la perception visuelle est apporté par Thomas et ses collaborateurs (2012). Ces derniers rapportent le cas d'une jeune patiente atteinte d'une cécité congénitale et qui présente à l'adolescence une AM associée à des distorsions corporelles. La patiente exprimait notamment le besoin de vérifier tactilement les reliefs osseux de son visage, son thorax, sa colonne vertébrale et ses hanches, de même que le volume de ses vêtements. Sont apparus secondairement des comportements d'évitement, notamment vestimentaire, avec le port de vêtements amples et de couleur sombre, dans le but de rendre sa silhouette la moins apparente possible. Cette situation clinique bien que rare contredit néanmoins en partie les observations de Baker et ses collaborateurs (1998). Ces derniers avaient évalué les préoccupations corporelles et alimentaires chez 20 femmes présentant une cécité congénitale, 20 femmes présentant une cécité tardive et 20 femmes voyantes. Les femmes présentant une cécité congénitale avaient des scores plus faibles s'agissant de l'insatisfaction corporelle et des préoccupations alimentaires par rapport aux femmes présentant une cécité tardive, elles-mêmes ayant des résultats plus élevés que le groupe des femmes voyantes. Il s'agissait néanmoins d'une population non clinique, c'est-à-dire qu'aucune d'entre elle ne présentait de TCA co-occurent.

N'abandonnant pas pour autant la piste sensorielle, Lautenbacher et ses collaborateurs (1991), lors de travaux menés sur la perception de la douleur, ont mis en évidence des troubles somesthésiques chez les patientes atteintes d'AM. Un seuil de douleur était mesuré à l'aide de stimulations thermiques de courte durée sur la peau de 19 patientes souffrant d'AM, 20 patientes atteintes de boulimie et 21 sujets témoins. Les seuils de douleur des deux groupes de patientes étaient significativement plus élevés que celui du groupe contrôle. Plusieurs études sont venues confirmer ces résultats, à savoir une diminution de la sensibilité intéroceptive à la douleur chez les patientes souffrant de troubles alimentaires, sans pour autant mettre en évidence de facteurs physiologiques et psychologiques associés (Krieg et al., 1993 ; Raymond et al., 1999). Papezova et ses collaborateurs (2005) tenteront de mesurer conjointement à la détection du seuil thermique de douleur, divers indices physiologiques et psychométriques chez 39 patientes souffrant de TCA (21 avec AM et 18 avec boulimie) et 17 sujets contrôles. L'élévation du seuil de la douleur était une nouvelle

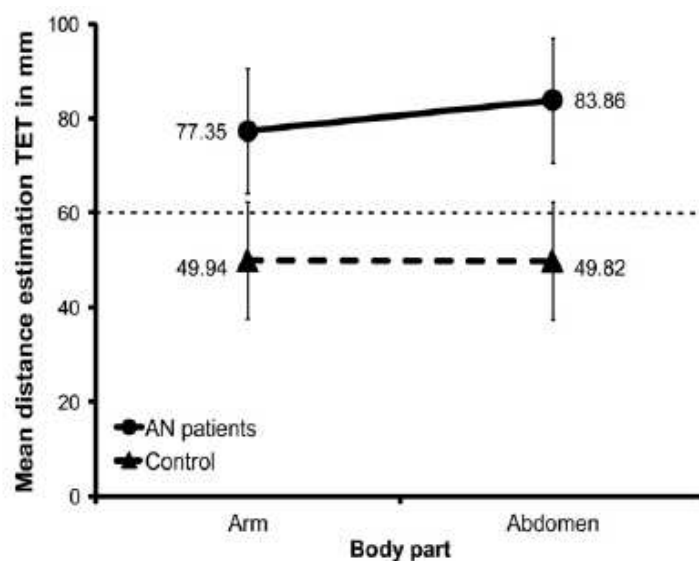
fois confirmée et corrélée négativement à la température cutanée locale et positivement au niveau de conscience intéroceptive mesurée à l'aide de l'auto-questionnaire du *Body Attitude Test*.

Des travaux plus récents renforcent cette idée d'une perturbation de l'intégration des signaux somesthésiques en particulier tactiles (Keizer et al., 2011 ; Keizer et al., 2012). Keizer et ses collaborateurs (2011) ont cherché à savoir si les patientes anorexiques présentaient une altération de la perception tactile et si celle-ci pouvait impacter leur représentation du corps de même que leur niveau de satisfaction. Pour ce faire, une tâche d'estimation tactile était proposée à 20 patientes anorexiques et 25 sujets sains. Deux stimuli tactiles (deux points de pression) étaient appliqués sur l'avant-bras et l'abdomen, la participante ayant les yeux bandés. Les participantes devaient estimer la distance séparant les deux points de stimulation en la reproduisant avec le pouce et l'index (figure 20). Une tâche visuelle d'estimation de la silhouette était réalisée conjointement, à l'aide d'un logiciel, en manipulant un stimulus visuel représentant un corps déformé jusqu'à ce qu'il soit perçu comme correspondant à leur propre corps.



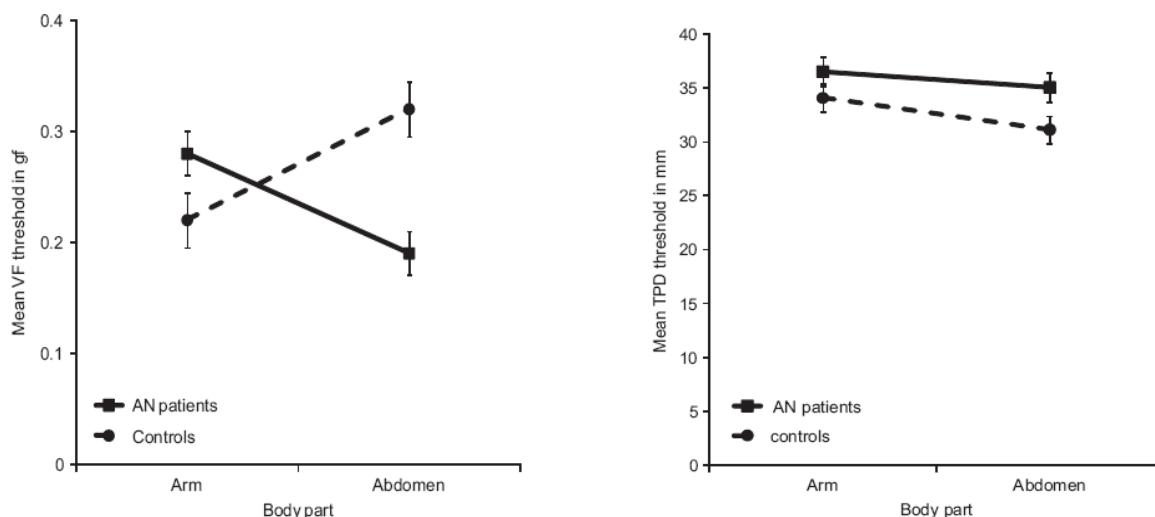
**Figure 20.** Illustration de la tâche d'estimation tactile. a. Stimulation tactile du bras. b. Stimulation tactile de l'abdomen. c. Mesure par l'expérimentateur de l'estimation de la distance par le participant. (d'après Keizer et al., 2011).

Les résultats ont mis non seulement en évidence une plus grande distorsion de la silhouette estimée dans le groupe des patientes lors de la tâche visuelle, mais également une surestimation globale (avant-bras et abdomen) de la représentation tactile du corps (figure 21). Le niveau d'insatisfaction corporelle était corrélé positivement au degré de distorsion visuelle du corps mais également à la surestimation de la stimulation tactile. Ainsi, le biais de surestimation du corps dans l'AM, retrouvée dans les tâches classiques de silhouette, ne se limiterait pas à un percept visuel mais impliquerait également la perception tactile.



**Figure 21.** Estimation de la distance séparant les deux points de stimulation tactile en fonction du groupe, la ligne pointillée correspondant à la distance réelle entre les deux points de stimulation, soit 60 mm. AN : anorexia nervosa ; TET : Tactile Estimation Task (d'après Keizer et al., 2011).

Dans une étude ultérieure, Keizer et ses collaborateurs (2012) ont mesuré le niveau de sensibilité des patientes souffrant d'AM. Deux tâches ont ainsi été proposées à 25 patientes et 28 sujets contrôles : une tâche de détection de pression et une tâche de discrimination entre deux points de stimulation. Concernant la sensibilité à la pression (figure 22, graphique de gauche), les résultats ont mis en évidence dans le groupe des patientes une sensibilité plus grande à la détection d'une stimulation tactile au niveau de l'abdomen. Lorsque la pression est appliquée sur le bras, la différence entre les deux groupes de sujets n'est pas différente statistiquement. Concernant les seuils de discrimination entre deux points de stimulation (figure 22, graphique de droite), les résultats montrent un seuil plus élevé et donc, une sensibilité moins bonne, chez les patientes anorexiques et ce quelle que soit la zone du corps stimulée (avant-bras ou abdomen).

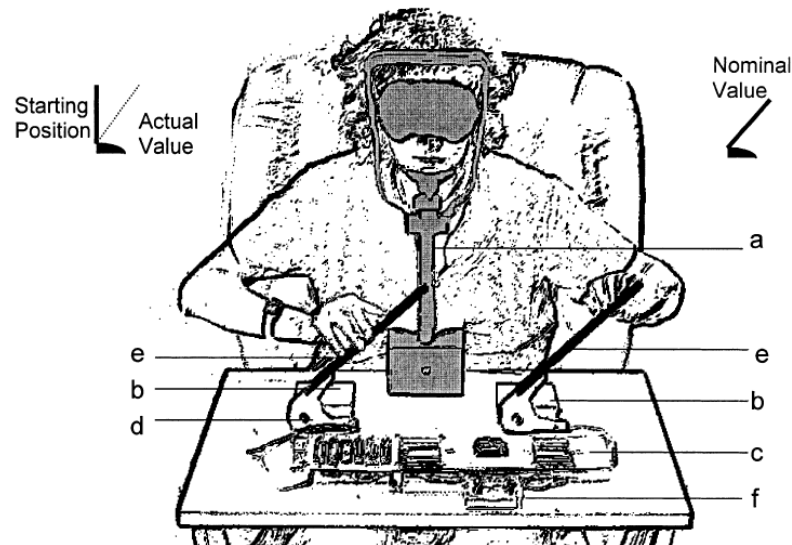


**Figure 22.** Illustration des résultats lors de la tâche de détection d'une stimulation tactile (tableau gauche) et de la tâche de discrimination entre deux points de stimulation (tableau droit) en fonction du groupe et du territoire de stimulation. VF: Von Frey pressure detection; TPD: two points discrimination (d'après Keizer et al., 2012).

Il est classique de distinguer deux types de perception tactile manuelle (Hatwell et al., 2000) : la perception cutanée et la perception haptique. Dans les études précédentes (Keizer et al., 2011, 2012), la perception cutanée ou passive résultait de la stimulation d'une partie de la peau (bras et abdomen), le segment corporel auquel elle était rattachée restant pour sa part immobile. Dans ce cas, comme seule la couche superficielle de la peau est soumise à des déformations mécaniques, le traitement perceptif ne concerne que les informations cutanées liées au stimulus appliqué sur la main.

La perception tactilo-kinesthésique ou haptique (Revesz, 1934 ; Howard, 1982) résulte, quant à elle, de la stimulation de la peau suite à des mouvements actifs d'exploration de la main. C'est ce qui se produit quand, par exemple, la main et les doigts suivent le contour d'un objet pour en apprécier la forme. Dans ce cas, s'ajoute à la déformation mécanique de la peau celle des muscles, des articulations et des tendons secondaires aux mouvements d'exploration. Des processus très complexes, dont nous étudierons les sous-jacents dans une seconde partie, sont impliqués car ils doivent intégrer simultanément les informations cutanées, proprioceptives et motrices liées aux mouvements d'exploration pour former un ensemble indissociable appelé perceptions haptiques. Cette modalité semble également affectée dans l'AM. Des anomalies de perception haptique des orientations ont pu en effet être retrouvées chez les patientes souffrant d'AM (Grunwald et al., 2002). Il s'agissait pour les participantes (16 patientes anorexiques et 16 sujets témoins) d'ajuster sans l'aide de la vue une barre pivotante de manière à ce que l'angle de celle-ci avec la table (i.e. par rapport

à l'horizontale) corresponde à celui d'une barre fixe controlatérale (figure 23). Une fois l'ajustement réalisé, l'écart d'angle entre les barres fixe et mobile était mesuré.



**Figure 23.** Dispositif expérimental représentant : (a) le dispositif de maintien céphalique, (b) le dispositif de mesure d'angle, (c) et (d) l'affichage des angles formés par les barres avec l'horizontale, (e) les barres d'ajustement et (f) le chronomètre (d'après Grunwald et al., 2002).

Les déviations d'angle observées dans le groupe des patientes étaient significativement plus importantes que dans le groupe contrôle dans les tâches nécessitant d'explorer la barre de référence avec la main gauche et d'ajuster avec la main droite. Rappelons que les informations somesthésiques sont principalement acheminées et traitées dans l'hémisphère controlatéral. Ce résultat pourrait donc d'après les auteurs être compatible avec un dysfonctionnement du cortex pariétal droit impliqué dans l'intégration des informations sensorielles en provenance de la main gauche (i.e. main qui explore le barre-étalon), nécessaire à la réalisation de ce type de tâche (Grunwald et al., 2002).

En modalité haptique, Grunwald et son équipe ont réalisé d'autres études montrant une différence entre patientes anorexiques et contrôles (Grunwald et al., 2004 ; Grunwald et al., 2001a ; 2001b). Cette fois, les tâches d'exploration haptique consistaient en la palpation, les yeux fermés, de surfaces de reliefs différents. Après chaque exploration, la structure était reproduite sur une feuille de papier. Cette tâche fut réalisée avant et après une reprise significative de poids. Les premiers résultats comportementaux mirent en évidence des temps moyens d'exploration plus courts et une qualité de reproduction significativement plus faible chez les sujets anorexiques et ce avant et après la prise de poids (Grunwald et al.,



2001a). Un enregistrement électroencéphalographique continu était effectué conjointement à la tâche dans un second temps. Il mit en évidence une corrélation entre les résultats comportementaux et la décroissance des ondes  $\theta$  (activité liée au traitement de l'information et de la mémoire) au niveau du cortex pariétal droit (Grunwald et al., 2001b). Une duplication ultérieure de cette étude mettra en évidence une asymétrie interhémisphérique associée à une décroissance des ondes  $\theta$  dans le cortex pariétal droit au repos et lors d'explorations haptiques, que ce soit avant ou après prise de poids (Grunwald et al., 2004).

Lors de travaux menés sur la faculté mentale de changement de stratégie, encore appelée flexibilité cognitive, la question d'un déficit sensoriel haptique conjoint sera posée (Tchanturia et al., 2001 ; Roberts et al., 2007). Le dispositif expérimental se composait de trois boules en bois de diamètres différents : deux petites boules de 7 cm de diamètre et une plus grande boule de 10 cm de diamètre, mais dont le poids était identique aux petites boules. Lors d'une première étape dite de fixation, il était demandé aux participantes (15 patientes anorexiques, 15 patientes boulimiques et 28 sujets sains) de fermer les yeux et de les garder fermés pendant toute l'expérience. L'expérimentateur plaçait ensuite la petite boule dans la main dominante et la grande dans la main controlatérale. Cette étape était répétée 15 fois à l'identique. Durant la seconde étape, l'expérimentateur plaçait les deux petites boules dans chacune des deux mains. La plupart des participantes affirmaient alors que la boule placée dans la main non dominante était maintenant plus petite. Lorsque cette phase se poursuivait, les participantes continuaient de signaler que l'une ou l'autre des boules était plus petite que l'autre pour plusieurs présentations avant de reconnaître que celles-ci étaient de la même taille, définissant ainsi l'illusion de contraste. Celle-ci serait induite par l'étape de fixation. Toutefois, il est à noter que ce phénomène était significativement plus fort chez les patientes anorexiques (Tchanturia et al., 2001), sans pour autant distinguer ce qui relevait alors d'un défaut de flexibilité cognitive ou d'un défaut de perception haptique (Roberts et al., 2007).

Ces résultats ne sont pas sans rappeler ceux précédemment obtenu par Berry et son équipe (1995). Cette étude, incluant 14 sujets présentant un antécédent d'AM (6 femmes en aménorrhée et 8 femmes ayant eu un retour de menstruations mais dont le poids restait en dessous de la normale) et 26 sujets contrôles appariés par âge, consistait en la réalisation d'une tâche d'exploration orale. Il s'agissait pour les participants d'identifier des cubes de

volume différent disposés successivement dans la bouche. Des erreurs d'évaluation furent retrouvées dans les deux sous-groupes formés, avec une surestimation significative du volume des cubes par rapport au groupe contrôle, quel que fut le niveau de dénutrition.

Dans la continuité de ces travaux sur l'intégration multisensorielle, Case et ses collaborateurs (2012) ont mis en évidence un dysfonctionnement de l'intégration visuo-proprioceptive chez les patientes anorexiques. Les auteurs ont utilisé pour ce faire le paradigme de l'illusion de Charpentier (1891), plus communément appelée l'illusion « poids-volume ». Cette illusion survient lorsque le sujet soupèse deux objets de même poids mais de dimensions différentes (figure 24). Celui-ci, qui peut voir les objets, a alors l'impression d'une plus grande légèreté de l'objet le plus volumineux ou, inversement, a l'impression que l'objet le plus petit visuellement pèse plus lourd. Même si plusieurs hypothèses explicatives existent, il est généralement admis que l'illusion « poids-volume » résulte d'un conflit lors de l'intégration de l'information visuelle (dans la vie quotidienne, les objets de grande taille sont généralement plus lourds que ceux de petite taille) et les perceptions tactiles (les deux objets ont le même poids).

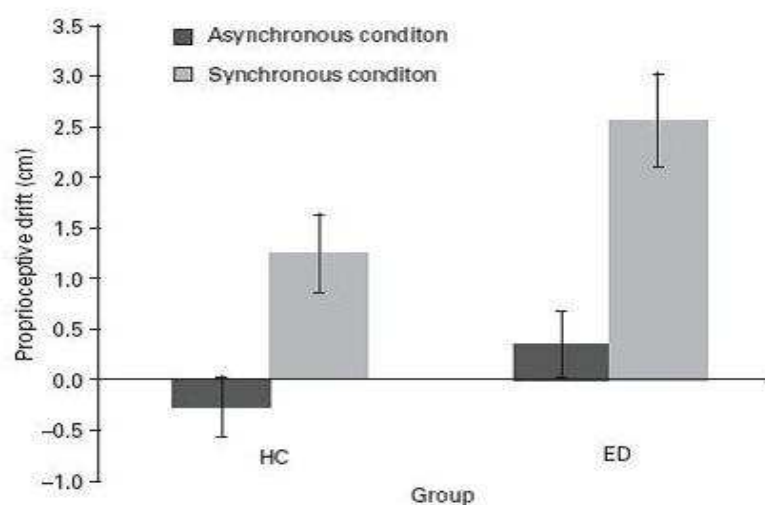


**Figure 24.** Matériel employé dans l'illusion de Charpentier (illusion poids-volume », ces deux disques de volume différent possèdent un poids identique (d'après Case et al., 2012).

Les résultats ont mis en évidence une baisse significative de la sensibilité à l'illusion de Charpentier dans le groupe des patientes par rapport au groupe contrôle. Case et ses collaborateurs (2012) suggèrent donc que les patientes seraient moins sensibles aux informations visuelles qu'aux entrées proprioceptives.

À l'inverse, les patientes seraient plus sensibles à l'illusion de la main en plastique que les sujets témoins (Eshkevari et al., 2012). Pour rappel, les participants voient une fausse

main en plastique être caressée avec un pinceau. Dans le même temps, l'expérimentateur applique des effleurements de pinceaux identiques sur la main du participant, qui est alors hors de son champ visuel. Si ces éléments d'informations visuelles et tactiles sont appliqués de manière synchrone et si l'aspect visuel et le positionnement de la main en plastique sont proches de la main du participant, ce dernier perçoit au bout d'un certain temps que les stimuli proviennent de la main en plastique et que celle-ci fait désormais partie intégrante de son corps propre (Botvinick et Cohen, 1998). Ce phénomène nécessite pour ce faire l'intégration d'informations visuo-proprioceptives et une pondération supérieure de l'information visuelle permettant la localisation de la main pour faire émerger ce sentiment d'appropriation. Le fait que les patientes soient plus sensibles à cette illusion de la main en plastique (figure 25), et donc de surcroît à l'information visuelle, contredit en partie les résultats de Case et ses collaborateurs (2012). Mais cette étude suggère toutefois, comme la précédente, l'existence d'une perturbation de l'intégration multisensorielle et notamment visuo-proprioceptive (Eshkeviri et al., 2012).



**Figure 25.** Illustration du phénomène d'illusion de la main en caoutchouc par la mesure du glissement de l'information proprioceptive au profit de l'information visuelle (proprioceptive drift en cm) en fonction du groupe et du degré de synchronie. HC : healthy control; ED : eating disorder (d'après Eshkeviri et al., 2012).

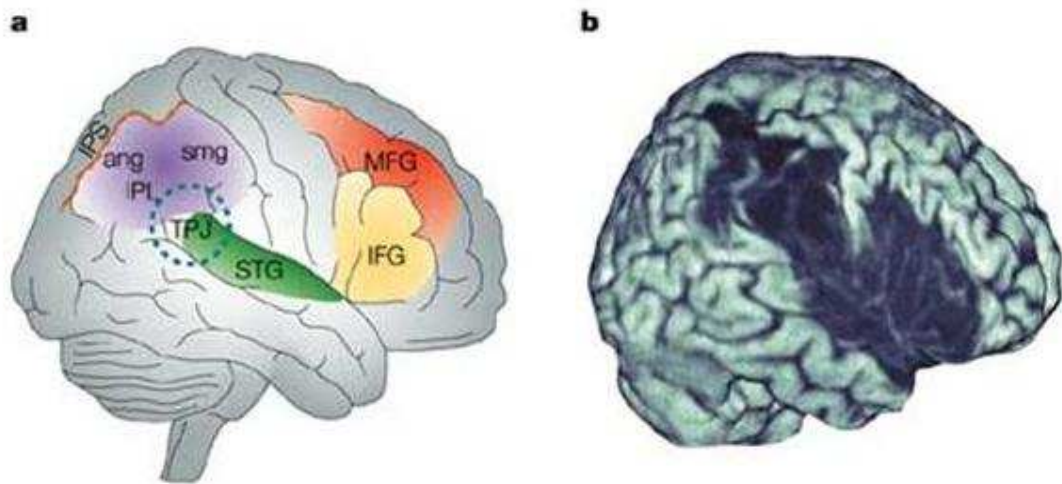
L'ensemble de ces résultats bien que contradictoires va cependant dans le sens d'une perturbation de l'intégration sensorielle et plus particulièrement des informations visuelles et proprioceptives. Toutefois, force est de constater que des recherches ultérieures sont nécessaires afin de mieux appréhender cette apparente contradiction et de voir si c'est le

processus d'intégration lui-même qui est altéré ou bien si les poids respectifs donnés aux différentes modalités sensorielles est différent chez les patientes anorexiques. Ces données posent en outre la question de l'implication de l'hémisphère droit et en particulier du cortex pariétal étant donné son rôle dans l'intégration multisensorielle.

#### **1.4.2. La piste de la négligence**

Les différentes anomalies suscitées pourraient donc renvoyer à un dysfonctionnement du cortex pariétal droit (Kinsbourne et Bemporad, 1984 ; Grunwald et al, 2001 ; Wagner et al, 2003 ; Nico et al, 2010). En clinique, le syndrome de négligence spatiale unilatérale (NSU) reflète un dysfonctionnement de l'hémisphère cérébral droit (figure 26 ; pour une revue, voir Jacobs et al., 2012). Il s'agit le plus souvent du lobe pariétal inférieur incluant le gyrus angulaire et le gyrus supramarginalis (aires 39 et 40 de Brodmann).

D'autres territoires peuvent également être à l'origine de NSU en général moins intense. C'est le cas des aires temporales, telles que le gyrus temporal supérieur, le lobe temporal moyen et en particulier, la région para-hippocampique, des aires prérolandiques, telles que le gyrus frontal inférieur et le gyrus frontal moyen. Il peut s'agir enfin de lésions sous-corticales touchant le thalamus, le noyau caudé ou le noyau lenticulaire, ou de lésions des faisceaux de substance blanche pariéto-frontaux. Notons toutefois que des syndromes résultant d'une atteinte du cortex pariétal gauche existent mais sont beaucoup plus rares.

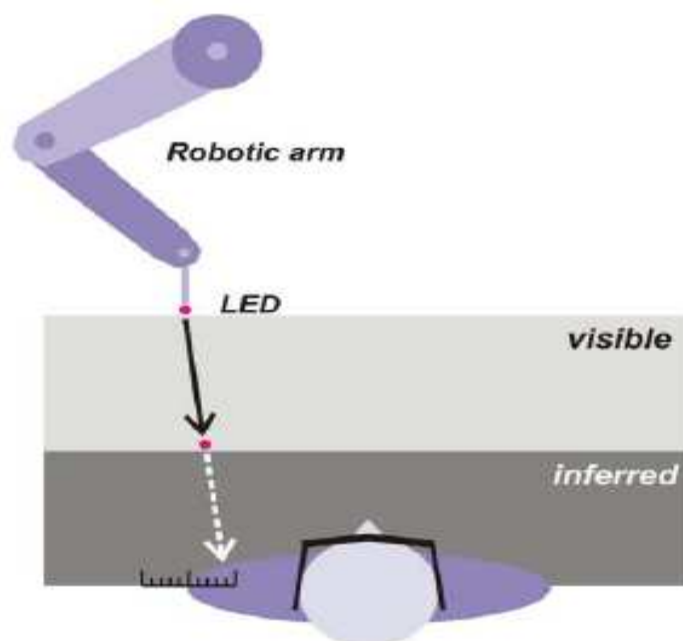


**Figure 26.** Neuroanatomie de la négligence. a : régions corticales endommagées chez les patients souffrant de négligence. Les territoires postérieurs incluent la jonction des lobes temporal et pariétal (TPJ), le lobe pariétal inférieur (LPI) qui comprend le gyrus angulaire (ang) et le gyrus supramarginalis (SMG), le sulcus intrapariétal (ips), et le gyrus temporal supérieur (STG). Les territoires frontaux comprennent le gyrus frontal inférieur (IFG) et le gyrus frontal moyen (MFG). b : Reconstruction de l'aires corticales détruites par accident vasculaire cérébral chez un patient atteint de négligence (d'après Husain et Rorden, 2003).

Ces lésions seraient à l'origine d'une variété d'expériences corporelles et perceptives anormales. Les patients présentent un syndrome d'hémi-inattention (ou hémignégligence) illustrant les atteintes de l'attention sélective caractérisée par la non intégration des données provenant de l'hémi-espace controlatéral à la lésion (espace gauche pour les lésions droites qui sont majoritaires). Ces données peuvent être visuelles, avec une déviation vers l'hémi-espace normal droit, comme en témoigne l'altération de la bissection des lignes dans l'hémichamp touché, ou l'absence de structures ou de détails dans la partie gauche de dessins spontanés ou en copie. Une altération des comportements impliquant l'hémichamp négligé peut également être observé : le patient peut ne manger qu'une moitié de son plateau repas, ne raser qu'une moitié de son visage. Les informations négligées peuvent toucher d'autres modalités sensorielles comme par exemple l'audition (le patient paraît alors ne pas entendre ce qu'on lui dit lorsqu'on est placé dans son hémi-espace négligé), mais aussi la somesthésie (absence d'intégration des sensations en provenance de l'hémicorps négligé). Cette hémignégligence peut aller jusqu'à une non reconnaissance de la part du patient de l'hémicorps négligé comme sien propre, et provoquer une hémiasomatognosie, voire des reconstructions délirantes à partir de cet hémicorps. L'hémignégligence peut être motrice par une hypo-utilisation de l'hémicorps controlatéral et

peut conduire également à une apraxie de l'habillage, soit une impossibilité de se vêtir correctement. Une anosognosie peut également y être associée (méconnaissance par le malade de son affection). Enfin, une désorientation spatiale est souvent retrouvée avec des perturbations de la gestion de données topographiques (itinéraires, plans mais aussi repérage dans sa propre maison).

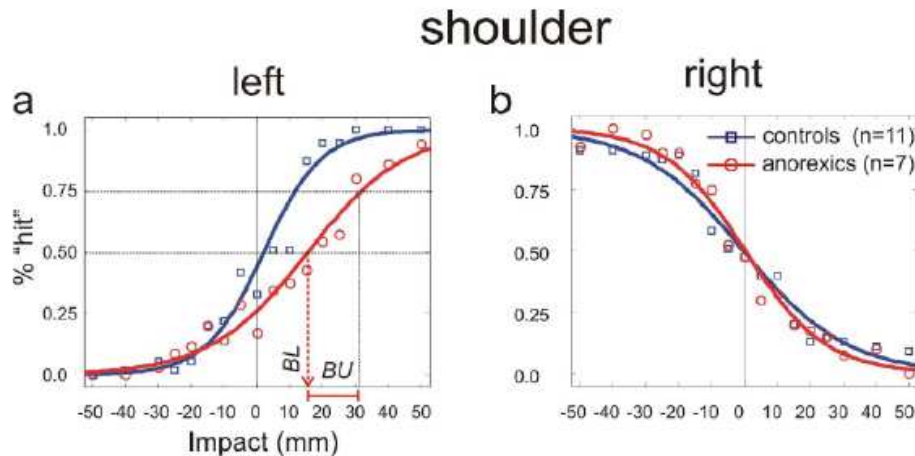
Dans le cas de l'AM, Kinsbourne et Bemporad (1984) évoqueront l'existence d'une « négligence anorexique ». Cette dernière hypothèse fut récemment revisitée par Nico et ses collaborateurs (2010) qui comparèrent les résultats comportementaux de sujets sains (n=11), de patients souffrant d'AM (n=8) et de patients présentant des lésions focales du cortex pariétal droit et gauche (n=4). Ces quatre patients présentaient tous des lésions des aires 39 et 40 de Brodmann de l'hémisphère gauche pour 2 d'entre eux et de l'hémisphère droit pour les 2 autres. La tâche consistait à prédire si une stimulation visuelle dans le noir (pointage laser) allait toucher ou manquer leur corps, dans le cas où cette stimulation visuelle avait poursuivi sa trajectoire (figure 27).



**Figure 27.** Dispositif expérimental visant à déterminer l'emplacement des limites subjectives du corps. Dans l'obscurité, les participants devaient extrapoler la trajectoire de la diode électroluminescente (LED) afin de déterminer le point d'impact supposé avec son corps (d'après Nico et al., 2010).

Les résultats ont montré que les patientes anorexiques sous-estimaient la partie gauche de leur corps (figure 28), à l'image des patients hémignégligents atteints de lésions du

lobe pariétal droit. En revanche, les patients souffrant d'une lésion à gauche enregistraient des performances comparables au groupe contrôle. Pour les auteurs, les résultats reflèteraient un dysfonctionnement des boucles cortico-sous-corticales impliquées dans la représentation du corps, en particulier du schéma corporel.



**Figure 28.** Estimation des limites subjectives des épaules droite et gauche dans le groupe des patientes anorexiques et le groupe contrôle. Les performances sont exprimées en fréquence d'impact supposé par rapport à la distance d'impact réelle du faisceau lumineux (d'après Nico et al., 2010).

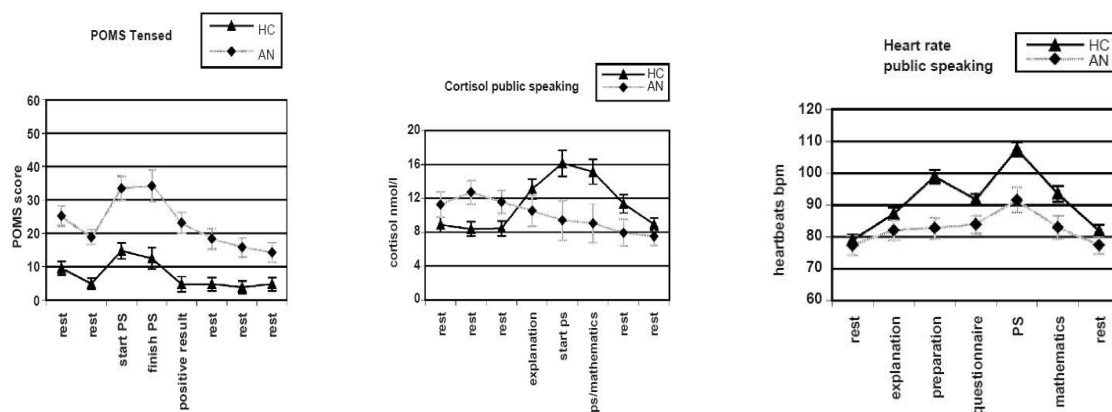
Les études de neuroimagerie confirment l'existence d'un dysfonctionnement du cortex pariétal chez les patientes souffrant d'AM. A l'état de repos, le cortex pariétal enregistrerait une baisse d'activité, qui semble être réversible après traitement et notamment après reprise de poids (Delvenne et coll, 1996 ; Miller et coll, 2004 ; Kojima et al., 2005).

Lors de procédures d'identification et de choix forcés, la visualisation de photographies de corps, qu'il s'agisse de son propre corps ou d'un autre, s'accompagne plus fréquemment d'une hypoactivation du cortex pariétal dans la plupart des études (Uher et al., 2003, 2004, 2005 ; Santel et al., 2006). Toutefois, une étude plus ancienne a également mis en évidence, lors d'analyses intergroupes, une hyperactivation de cette zone et en particulier du lobule pariétal inférieur lors de la visualisation de son propre corps dans le groupe des patientes anorexiques (Wagner et al., 2003). L'existence d'une prédominance hémisphérique reste cependant débattue (Frank et al., 2002 ; Wagner et al., 2003 ; Bailer et al., 2004 ; Miller et al., 2004 ; Uher et al., 2004, 2005 ; Matsumoto et al., 2006 ; Santel et al., 2006 ; Galusca et al., 2008 ; Redgrave et al., 2008) et la poursuite d'études en ce sens reste nécessaire. Il semble notamment important d'évaluer l'implication de la valence émotionnelle dans l'ensemble de ces processus, qu'il s'agisse d'une influence de type *bottom-up* ou de type

*top-down*. En effet, les patientes souffrant de TCA présentent d'importantes perturbations dans le champ des émotions, qu'il s'agisse de réactivité ou de conscience émotionnelle.

### 1.4.3. Influence de la dysrégulation émotionnelle

Après une exposition à une situation stressante, Zonneville-Bender et ses collaborateurs (2005) ont montré une discordance importante entre le niveau d'excitation rapportée par les patientes et les indices neurophysiologiques de stress. La session expérimentale avait lieu dans une salle dans laquelle était disposée une caméra. Les participantes étaient informées qu'un jury, composé de trois psychologues expérimentés, était présent dans une salle adjacente et visionnait en direct les performances accomplies. Chaque participante devait se présenter à la caméra puis réaliser un calcul mathématique. Cette session était précédée et suivie d'un temps de repos. La réponse émotionnelle suscitée était évaluée à l'aide d'auto-questionnaires et d'une mesure de la fréquence cardiaque et du cortisol salivaire. Les résultats sont rapportés dans la figure 29.



**Figure 29.** Moyennes et déviations standards, en fonction du groupe et des étapes de la session expérimentale, des scores obtenus à l'échelle évaluant les états émotionnels (tableau de gauche), des taux de cortisol salivaire et des fréquences cardiaques. POMS : profile of mood states ; HC : healthy control ; AN : anorexia nervosa (d'après Zonneville-Bender et al., 2005).

Le groupe des patientes anorexiques rapportaient un niveau plus élevé d'anxiété, mais qui n'était ni reflété par les taux de cortisol salivaire, ni par la fréquence cardiaque, ces deux variables physiologiques restant plus faibles par rapport au groupe contrôle. En revanche, dans le groupe contrôle, le niveau d'anxiété rapporté coïncidait avec l'augmentation des taux de cortisol salivaire et de la fréquence cardiaque. L'inadéquation entre la réactivité

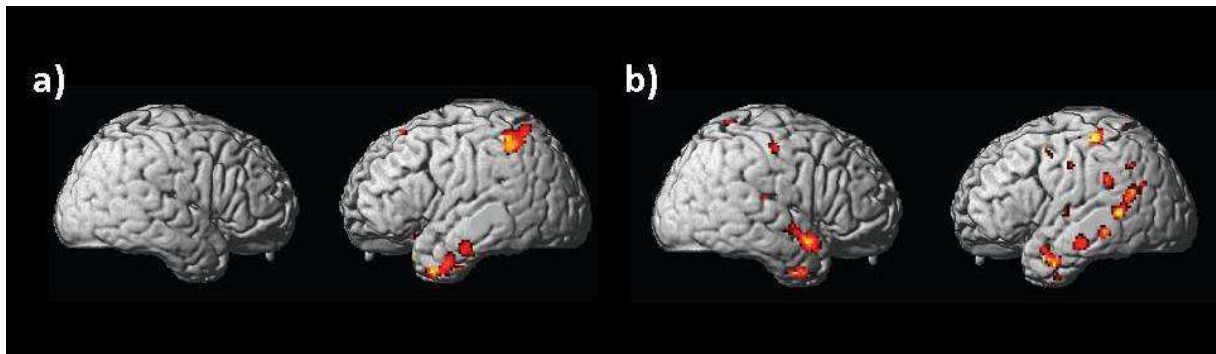


émotionnelle subjective et objective renforçait l'idée d'une perturbation de la sensibilité intéroceptive chez les patientes souffrant d'AM. D'autre part, cette réponse au stress pourrait bien être spécifique de l'AM (Nandrino et al., 2012), et à distinguer de l'alexithymie, en tant qu'incapacité à identifier et décrire ses émotions, pourtant fréquente chez les patientes souffrant de TCA (Corcos et al., 2000 ; Berthoz et al., 2007).

Nandrino et ses collaborateurs (2012) ont comparé les réponses émotionnelles subjectives et objectives après l'exposition à des scènes visuelles plaisantes, déplaisantes ou neutres, au cours d'une tâche de catégorisation, de patientes anorexiques (n=16), alexithymiques (n=18), déprimées (n=16) et de sujets contrôles (n=20). Les participantes devaient classer des images par catégorie (plaisant vs déplaisant vs neutre) et en fonction de l'intensité émotionnelle qu'elles suscitaient. Un enregistrement de la réactivité électrodermale (RED) était effectué conjointement. Les résultats ont mis en évidence une plus grande difficulté des patientes anorexiques à catégoriser les images et en particulier s'agissant de la valence neutre. Contrairement aux participantes alexithymiques, cette difficulté n'a pas induit d'augmentation significative de l'amplitude de la RED. S'agissant de l'intensité émotionnelle des stimuli, les patientes anorexiques rapportaient une réactivité subjective plus grande que les participantes alexithymiques pour les stimuli déplaisants et que les participantes alexithymiques et contrôles pour les stimuli plaisants. En outre, aucune corrélation entre la réactivité rapportée et l'amplitude de la RED n'a été retrouvée chez les participantes anorexiques, alexithymiques ou dépressifs contrairement au groupe contrôle. Ces résultats mettent en évidence une forme spécifique de traitement des émotions chez les patients anorexiques distinctes de celle observée dans la dépression et alexithymie et qui se caractériserait par une dissociation entre le traitement cognitif et perceptif des émotions (Nandrino et al., 2012).

Confrontées à leur propre corps dans un miroir, les patientes anorexiques ont une réactivité émotionnelle supérieure aux sujets contrôles (Vocks et al., 2007). Ces résultats confirment des travaux antérieurs qui retrouvaient une plus grande insatisfaction corporelle chez les patientes souffrant de TCA (Cash, 2004). Lors d'une étude en imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), Vocks et ses collaborateurs (2010) ont exposé 13 patientes anorexiques et 27 sujets contrôles à des photographies de leur propre corps et du corps d'une autre femme. La forte réaction émotionnelle rapportée par les patientes en

réponse à la vision de leur propre corps n'était pas traduite par une hyperactivation amygdalienne, qui est généralement impliquée dans le traitement des émotions (figure 30).



**Figure 30.** Différences d'activation en réponse à la visualisation des photographies de son propre corps indiquant les zones où l'activation était plus grande chez les sujets témoins par rapport aux patientes anorexiques (a) et à la visualisation des photographies du corps d'une autre femme indiquant les zones où l'activation était plus grande chez les patientes anorexiques par rapport aux sujets témoins (d'après Vocks et al., 2010).

Ce résultat n'est pas sans rappeler les travaux de Zonneville-Bender et de ses collaborateurs (2005). Pour Vocks et son équipe (2010), ce résultat inattendu pourrait être lié à un comportement d'évitement, parce que ces stimuli seraient vécus comme une menace. Une allocation attentionnelle insuffisante à l'activation amygdalienne pourrait en être à l'origine. Une autre indication du comportement d'évitement pour les auteurs serait liée à l'hypoactivation du lobule pariétal inférieur (Vocks et al., 2010), impliqué dans le traitement des informations visuo-spatiales, ainsi que dans les processus attentionnels et d'incarnation (Behrmann et al., 2004 ; Kammers et al., 2009). En revanche, lorsque les patientes anorexiques regardent des photographies du corps d'une autre femme (figure 30), nous observons une activation plus marquée de certaines régions du système limbique, à savoir l'amygdale droite, les gyri para-hippocampique bilatéraux, l'hippocampe gauche et l'uncus gauche (Vocks et al., 2010). Cette hyperactivation amygdalienne chez les patientes anorexiques pourrait s'expliquer par une réactivité émotionnelle accrue associée à un haut degré de vigilance, le stimulus étant alors considéré comme moins menaçant.

De récents travaux portant sur la conscience du corps et le sentiment de propriété mettent en évidence l'implication de ces réseaux neuronaux dans l'émergence de tel percept (Tsakiris et al., 2010). Il n'est pas impossible que les anomalies observées jusqu'à maintenant puisse altérer jusqu'à la conscience même que ces patientes peuvent avoir de leur propre corps.

#### 1.4.4. Une conscience altérée du corps

Pollatos et ses collaborateurs (2008) ont récemment mis en évidence une baisse de la conscience intéroceptive chez les patientes souffrant d'anorexie mentale. Ce résultat confirme des résultats antérieurs révélant une diminution de la capacité à discriminer des sensations telles que la faim ou la satiété en cas de troubles du comportement alimentaire (Garner et al., 1983 ; Fassino et coll, 2004; Lilenfeld et al., 2006; Matsumoto et al., 2006). À la lumière des derniers résultats, les patientes anorexiques présenteraient une altération globale des capacités à percevoir l'ensemble des signaux corporels (Pollatos et al., 2008). Outre l'altération de cette conscience intéroceptive, il semble qu'un dysfonctionnement du système autonome ait également pu être mis en évidence dans les TCA. Murialdo et ses collaborateurs (2007) ont notamment démontré l'existence de perturbations du contrôle neurovégétatif de la fonction cardiaque, liées ni à l'état nutritionnel ni au type d'AM (forme restrictive ou mixte).

Lors de tâches de distinction soi-autre réalisées en imagerie fonctionnelle, les patientes anorexiques activent un large réseau aspécifique au niveau du cortex sensorimoteur droit, pouvant témoigner d'une altération de la conscience intéroceptive et de la représentation de soi (Friederich et al., 2010). A noter également une hyperactivation du cortex insulaire, prémoteur, cingulaire postérieur droit et du putamen (Friederich et al., 2010), réseau impliqué notamment dans l'intégration d'informations provenant de son propre corps (Critchley et al., 2004 ; Pollatos et al., 2007). Cet émoussement de la réponse autonome dans l'AM pourrait conduire à une perturbation du traitement des informations de type *bottom-up* (Pollatos et al., 2008). Les anomalies d'intégration multisensorielle associées à la baisse de conscience intéroceptive pourraient avoir des conséquences quant à la conscience même que le sujet a de son propre corps.

Des recherches récentes accordent au corps un rôle fondamental dans la constitution du soi. Au travers de l'expérience corporelle, Legrand (2005) propose de différencier deux types de conscience du corps : la conscience du corps en tant qu'objet et qui repose sur un processus d'identification (« ceci est mon corps »), et la conscience du corps en tant que sujet et qui repose pour sa part sur un processus expérientiel (« je franchis un obstacle »). Cette distinction n'est pas sans rappeler la taxonomie dyadique proposée par Longo et ses

collaborateurs (2010) entre perception (le corps se trouve être le véhicule de la perception) et connaissance (le corps est désormais considéré comme un objet physique duquel nous tirons un certain nombre de connaissances). Legrand (2010) soutient l'hypothèse d'un déséquilibre entre ces deux dimensions dans l'AM.

Les résultats d'Eshkevari et de ses collaborateurs (2012) portant sur l'illusion de la main en plastique semblent aller en ce sens. En effet, cette étude suggère non seulement l'existence d'une perturbation de l'intégration multisensorielle et notamment visuo-proprioceptive mais pourrait mettre en évidence une susceptibilité accrue à l'appropriation et à l'incarnation d'un objet externe à son propre corps et par la même interroger sur la conscience corporelle des patientes souffrant d'AM. Les études d'IRMf portant sur la vision de son propre corps ou du corps d'une autre femme semble confirmer l'existence d'une perturbation de la conscience du corps-objet, un défaut d'activation des réseaux impliqués dans la reconnaissance de soi étant observé chez les patientes souffrant d'AM (Sachdev et al., 2008 ; Vocks et al., 2010). L'altération de la sensibilité intéroceptive observée chez ces patientes (Krieg et al., 1993 ; Raymond et al., 1999 ; Papezova et al., 2005) soulève pour sa part la question d'un défaut de conscience du corps-sujet.

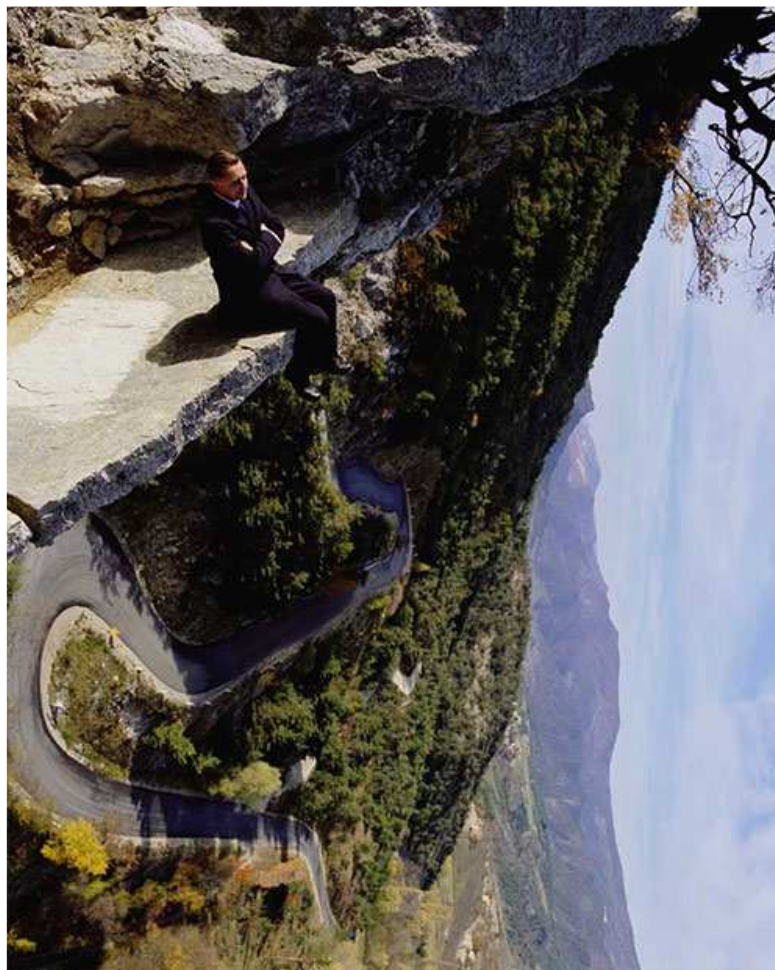
Au regard de ces résultats, l'expérience que fait la patiente souffrant d'AM de son propre corps se trouve être ébranlée jusque dans ses sens. Après avoir longtemps cru que la cible thérapeutique se situait dans la représentation conceptuelle du corps, les données récentes de la littérature confirment non seulement ce point, mais révèlent également l'existence de perturbations sensorielle et perceptive. Celles-ci pourraient aller jusqu'à déstabiliser la conscience et le sentiment d'appartenance que les sujets ont de leur propre corps.

Afin de mieux appréhender les soubassements physiopathologiques et les répercussions de ces distorsions corporelles, nous souhaitons évaluer la manière dont les patientes souffrant d'AM usaient de cette représentation du corps pour interagir avec leur environnement. Ce travail de thèse s'est donc intéressé dans un premier temps au corps situé. Nous avons notamment cherché à savoir si les défauts d'intégration multisensorielle, à l'origine de l'élaboration d'un schéma corporel erroné, induisaient également une mauvaise perception de l'orientation dans l'espace. Nous nous sommes ensuite intéressés dans un second temps au corps agissant. La question était notamment de savoir si les distorsions du

schéma corporel observées dans l'anorexie mentale perturbaient l'action, que celle-ci soit anticipée ou réalisée, que le sujet soit acteur ou observateur.

## 2. CORPS SITUE : PERCEPTION DE L'ORIENTATION DU SCHEMA CORPOREL DANS L'ANOREXIE MENTALE

---



*Illustration de Philippe Ramette  
Contemplation irrationnelle, 2003*

Saisir et utiliser un outil ou se diriger dans un espace tridimensionnel en évitant les obstacles sont des activités sensori-motrices qui nécessitent une perception correcte des propriétés physiques de l'espace, en particulier de l'orientation des objets. L'étude des capacités de l'homme à percevoir ou mémoriser différentes orientations de l'espace révèle une hétérogénéité de traitement des orientations, certaines étant mieux traitées que d'autres. C'est ainsi qu'un objet qui est aligné sur la verticale ou l'horizontale est perçu avec une grande précision (Ferrante et al., 1995).

L'orientation d'un objet se définit par l'écart angulaire qu'il forme entre son axe principal et un cadre de référence. Selon que le référentiel est centré sur soi, sur la Terre ou sur tout autre objet, il sera respectivement qualifié d'égo-centré, de géo-centré ou d'allo-centré. Une manière de mieux comprendre comment les individus appréhendent l'espace est d'effectuer une dissociation expérimentale de ces différents systèmes de référencement. Ce type d'expérimentation est notamment rendu possible par la manipulation du contexte postural et perceptif présenté aux sujets. Réaliser une action lorsque le corps est incliné implique une intégration sensorielle dans un cadre de référence donné afin d'adapter au mieux ce mouvement en fonction du contexte (i.e. corps incliné versus corps droit).

Comme nous l'avons vu, les études anatomo-fonctionnelles réalisées chez l'homme mettent en évidence le rôle privilégié des lobes pariétaux dans la représentation posturale (Vallar et al., 1993 ; Sterzi et al., 1993 ; Wolpert et al., 1998 ; Filimon et al., 2009). Même s'il est usuel d'associer le cortex pariétal à l'élaboration du schéma corporel, en tant que représentation sensorimotrice et unifiée du corps, celui-ci participe à de nombreuses autres fonctions nécessitant une intégration multisensorielle (Colby et Duhamel, 1996). Il en est ainsi de l'identification de l'orientation spatiale du corps et du maintien d'un cadre de référence spatial (Kerkhoff, 1999 ; Funk et al., 2010). L'intégration d'informations vestibulaires, visuelles, et proprioceptives participerait à la constitution d'un cadre de référence constant permettant une orientation spatiale optimum (Luyat et al., 2001 ; Luyat et al., 2002 ; Gentaz et al., 2008).

Afin d'évaluer l'impact de l'AM sur les représentations sensori-motrices du corps et leur implication dans l'orientation spatiale, deux séries d'expériences ont été proposées en manipulant à la fois le contexte postural ainsi que le mode d'exploration sensorielle.

Localiser son corps dans l'espace, définir son orientation à l'égard d'une cible, est un préalable nécessaire à toute action. Il nous semblait donc pertinent d'évaluer comment les patientes souffrant d'AM intégraient les informations sensorielles nécessaires au codage de l'orientation. Auparavant, nous souhaitons clarifier le cadre théorique dans lequel s'inscrivent ces études.

## **2.1. Intégration sensorielle et perception des orientations**

La gravité est une force omniprésente sur Terre. Toute masse plongée dans le champ de gravité terrestre subit un mouvement d'accélération. Au contact du sol, l'objet subit une force, égale au produit de l'accélération de la gravité par la masse du corps. Cette force de pesanteur est exactement compensée par la force de résistance qu'exerce en sens inverse le sol sur lequel ce corps est posé. La direction de l'accélération gravitaire est dirigée de haut en bas, vers le centre de la terre, et constitue la verticale physique. La force de gravité oriente ainsi la position des organismes et celle des objets (Luyat et al., 1997; Luyat et Ohlmann, 2003).

Si la verticale est une propriété physique absolue de l'espace terrestre, sa présence à la fois au niveau des objets et du corps permet de distinguer plusieurs verticales perceptives. Comme nous l'avons vu, la force gravitaire est dirigée de haut en bas, vers le centre de la terre et constitue la verticale physique, direction donnée par le fil à plomb. La posture d'un individu qui dépend des conditions environnementales constitue une mesure sensori-motrice de la verticale comportementale, encore appelée verticale posturale spontanée. Elle correspond à la position du corps soumis aux forces gravitaires et antigravitaires. L'estimation par l'individu de la direction gravitaire constitue la verticale subjective (VS ; Gibson, 1952 ; Schöne, 1964 ; Udo de Haes, 1970). La VS peut être estimée en demandant aux sujets d'ajuster une baguette sur la direction gravitaire dans différentes modalités sensorielles, telles que les modalités tactilo-kinesthésique (Bauermeister et al., 1964 ; Luyat et al., 2001) ou visuelle (Witkin et Asch, 1948 ; Templeton, 1973 ; Howard, 1982, 1986 ; Luyat et al., 1997 ; Luyat et Gentaz, 2002 ; Luyat et al., 2012).

La perception de la verticale met en jeu plusieurs systèmes sensoriels : (i) le système vestibulaire et en particulier les récepteurs otolithiques (utricule et saccules), capteurs privilégiés de la gravité, ces derniers étant stimulés par toute accélération linéaire ; (ii) le système visuel détecte dans l'environnement les lignes verticales et horizontales qui le



compose et informe le SNC sur le sens de la verticalité ; (iii) le système somesthésique, responsable de la sensibilité somatique générale (Buser et Imbert, 1982 ; Mittelstaedt, 1992 ; Craig et Rollman, 1999 ; Bronstein, 1999 ; Zwergal et al., 2009).

### **2.1.1. Le système vestibulaire**

Au niveau de l'oreille interne, le système vestibulaire est constitué d'un labyrinthe (otolithes et canaux semi-circulaires) de part et d'autre du plan médian du corps. Chaque labyrinthe comprend deux types de récepteurs spécialisés dans l'équilibration : les canaux semi-circulaires et les otolithes. Le système canaliculaire est pour sa part composé de trois canaux : un canal horizontal ou externe, un canal antéro-vertical ou frontal et un canal postérovertical ou sagittal. Enfin, le système otolithique est composé de deux cavités : l'utricule et le saccule. Lorsque nous sommes en position droite, la macula sacculaire est orientée verticalement, alors que la macula utriculaire se situe dans un plan horizontal, incliné de 30 degrés en arrière.

L'ensemble des structures labyrinthiques forme une seule et même entité anatomo-fonctionnelle dans laquelle toutes les cavités communiquent entre elles et sont remplies du même liquide extracellulaire, l'endolymphe, dans lequel baignent des cellules sensorielles ciliées. Les cils de ces cellules plongent dans une membrane gelatineuse. Au niveau de l'otolithe, cette membrane supporte des cristaux de calcites, ou statoconies, plus denses que l'endolymphe. Cet organe renseigne le sujet sur les forces gravitaires en présences. La détection des mouvements d'accélération de la tête est effectuée grâce au déplacement relatif de l'endolymphe et des statoconies, responsables d'une inclinaison des cils des cellules sensorielles. Les accélérations angulaires sont ainsi codées dans les trois plans de l'espace par le système canaliculaire et les accélérations linéaires par le système otolithique (pour une revue, se référer notamment à Buser et Imbert, 1982).

Le système otolithique renseignerait enfin sur l'inclinaison du corps, en fournissant une indication précise de l'orientation céphalique par rapport à la verticale (Money et Scott, 1962 ; Nashner, 1970). Toutefois, l'organe otolithique n'est pas le seul à participer au codage de l'orientation. La vision et la proprioception vont également contribuer à la perception spatiale en permettant à l'homme non seulement de percevoir les positions, les tailles, la forme, les mouvements, mais aussi d'organiser sa posture.

### 2.1.2. Le système visuel

Le système visuel participe à la perception correcte des propriétés physiques de l'espace dans lequel le sujet va interagir, en particulier s'agissant de l'orientation des objets. Nous souhaitons ici rappeler certaines des caractéristiques de ce système qui pourraient avoir des conséquences directes sur le jugement des orientations. Il ne s'agit en aucun cas d'une description exhaustive de la fonction visuelle, mais d'un rappel succinct des propriétés fondamentales de graviception de ce système.

**Sélectivité rétinienne.** Seule la zone centrale de la rétine, la fovéa, possède une bonne résolution spatiale (i.e. capacité à percevoir les hautes fréquences spatiales d'une scène et donc ses détails). Celle-ci se réduisant avec le degré d'excentricité, les mouvements oculaires permettent toutefois de compenser ce phénomène. En outre, les récepteurs rétiniens sont sensibles à trois caractéristiques spatiales importantes : la localisation, l'orientation et le mouvement (Olzak et Thomas, 1986). Une dichotomie fonctionnelle a donc été proposée, le modèle dyadique, comprenant la vision centrale et la vision périphérique. Le premier système périphérique serait impliqué dans la localisation des objets ainsi que dans le contrôle de la posture et de l'orientation spatiale des individus (vision périphérique) alors que le second, plus central (vision centrale), serait impliqué dans l'identification des objets ainsi que dans la détection de formes statiques ou animées d'un mouvement lent.

**Sélectivité corticale.** Les études portant sur la perception des orientations ont permis de mettre en évidence des propriétés de sélectivité orientationnelle du cortex visuel. Dès les premiers traitements de l'image, le SNC serait capable de décomposer les caractéristiques de la scène visuelle pour en extraire des informations spatiales primaires (Imbert, 1988). Lors d'enregistrements de l'activité électrique au niveau du cortex visuel primaire, Hubel et Wiesel (1962) ont découvert l'existence de neurones possédant cette propriété de sélectivité orientationnelle. Trois types de cellules possédant des caractéristiques spatiales ont progressivement pu être individualisés : (i) les cellules simples de l'aire striée primaire (aire 17) codant la direction d'une raie lumineuse et l'orientation de la ligne séparant une zone sombre d'une zone claire ; (ii) les cellules complexes de l'aire striée secondaire (aire 18) codant la direction d'une ligne lumineuse quelle que soit sa position dans le champ visuel ; (iii) les cellules dites hypercomplexes (aire 19) détectrices d'angles (Olzak et Thomas, 1986).

D'un point de vue adaptatif, cette sélectivité orientationnelle des cellules corticales permet d'orienter un stimulus par rapport à la rétine. Nous distinguons d'ailleurs sur le plan de la rétine un méridien vertical et horizontal. Toutefois, la perception de la verticalité d'un objet ne peut dépendre uniquement de la composante rétinocentrique car, dans ce cas, comment pourrions-nous percevoir alors ces orientations lors d'une inclinaison sans avoir l'impression que la scène visuelle se modifie et subit une inclinaison en sens inverse ? Parmi les sources d'explication, l'existence d'interactions sensorielles notamment visuo-vestibulaires permettrait de mesurer notre degré d'inclinaison qui serait intégré au codage rétinocentrique, le corrigerait, ceci afin de maintenir une impression du monde constant, vertical et stable : la constance d'orientation.

**Cyclotorsion oculaire.** Une caractéristique du système visuel est de pouvoir effectuer des mouvements en réponse à des stimulations visuelles et vestibulaires. C'est le cas de la contre-cyclotorsion oculaire. Ce réflexe vestibulo-oculaire est déclenché par une inclinaison latérale de la tête ou du corps et provoque une rotation contralatérale en roulis de l'œil dans son orbite en sens inverse à l'inclinaison (Howard, 1982). Il vise à redresser le méridien de l'œil. Toutefois, cette réponse oculaire compensatoire est jugée par certains vestigiale et ne permettrait de compenser que des inclinaisons faibles dans la mesure où cette réorientation du méridien oculaire n'atteindrait tout au plus que 10% de l'inclinaison céphalique (Bischof, 1974). Afin de coder correctement sa position dans l'espace, le sujet doit faire appel à d'autres sources d'informations, telles que les informations vestibulaires et aussi somesthésiques.

### **2.1.3. Le système somesthésique**

Le système somesthésique recouvre un ensemble de structures responsables de la sensibilité somatique, réparties sur l'ensemble du corps (Buser et Imbert, 1982 ; Craig et Rollman, 1999 ; Hollins, 2010). Il recouvre classiquement trois types de sensations : (i) l'extéroception comprenant les sensibilités tactile, thermique et nociceptive ; (ii) la proprioception correspondant à la sensibilité profonde musculo-articulaire et comprenant la kinesthésie pour les mouvements, la statesthésie pour la posture et la baresthésie pour le poids ; (iii) et l'intéroception.

**Extéroception.** Les récepteurs responsables de l'extéroception sont localisés essentiellement dans l'épiderme, le derme et le tissu sous-cutané. Parmi eux, nous retrouvons : (i) les récepteurs de contact à cellules phasiques, qui informent sur le contact et dont l'activation s'estompe rapidement si le contact est maintenu ; (ii) les récepteurs de pression à cellules toniques, qui codent la durée et l'intensité de la stimulation ; (iii) les récepteurs vibratoires, codant l'amplitude et la fréquence de vibration (Benson, 1990). Ces récepteurs peuvent fournir des indices d'orientation du corps par le biais des forces antigravitaires exercées par les surfaces de contact. Comme nous l'avons vu, la détection du contact et les capacités de discrimination sont dépendantes de la zone corporelle stimulée, les plus sensibles et discriminantes étant localisées au niveau de la face, de la paume des mains et de la plante des pieds (Buser et Imbert, 1982 ; Cholewiak, 1999 ; Taylor-Clarke et al., 2004).

**Proprioception.** Le système proprioceptif code la sensibilité profonde de l'appareil locomoteur et se trouve impliqué dans le contrôle postural. Il se compose de mécanorécepteurs sensibles aux variations de longueurs et de tensions musculaires et localisés dans les fuseaux neuromusculaires et l'organe tendineux de Golgi. Les mécanorécepteurs sont également sensibles aux mouvements articulaires via les corpuscules de Ruffini, de Paccini et de Golgi et les terminaisons libres (Buser et Imbert, 1982 ; Dietz et al., 1992).

**Intéroception.** De par leur poids, les viscères constituent de véritables gravicepteurs, qu'il s'agisse des poumons (Glaister, 1977), des viscères abdominaux (Mittelstaedt, 1996), ou du système vasculaire (Vailt et al., 2002). Leur masse et la distribution des mécanorécepteurs en leur sein renseignent sur l'orientation par rapport à la direction de l'accélération gravitaire et donc la position (allongé, debout) mais également lors des déplacements du sujet. L'ensemble du tractus viscéral abdominal peut être considéré comme un fil à plomb, subissant des déformations au fil des accélérations (Clark et al., 1962). Si les systèmes visuel et vestibulaire apparaissent adaptés pour renseigner l'être humain sur la direction de l'accélération gravitaire, la somesthésie contribue pour sa part à la graviception (Trousselard et al., 2003 ; Trousselard et al., 2004).

La perception que nous avons du monde est à la fois stable et unifié. Elle repose sur les capacités du SNC d'intégrer les diverses informations sensorielles, qu'elles soient visuelles,

vestibulaires ou somesthésiques. S'agissant de l'orientation spatiale, cette intégration multisensorielle permet notamment une perception unique de verticalité. Cependant, l'élaboration de ce percept ne peut avoir lieu que dans un environnement, un cadre de référence donné, celui-ci possédant des caractéristiques directionnelles invariantes.

## **2.2. Prise en compte de référentiels spatiaux dans le jugement d'orientation**

L'intégration sensorielle repose sur des mécanismes d'addition, de pondération, d'intégration, et/ou de différenciation. Il permet la production d'une seule perception de l'orientation reflétant la réalité (Howard, 1997). Il est en effet nécessaire que plusieurs informations soient prises en compte pour lever certaines ambiguïtés perceptives dues aux limitations des propriétés des capteurs sensoriels.

### **2.2.1. Elaboration d'un cadre de référence stable**

La plupart du temps, les informations sensorielles se complètent, permettant à l'organisme d'acquérir un certain niveau de confiance vis-à-vis du percept (Buser et Imbert, 1975). Comme nous l'avons dit dans la précédente partie, le SNC possède plusieurs niveaux de contrôle notamment dans les situations de conflit sensoriel. Il peut s'agir de mécanisme de pondération et de sommation (Mittelstaedt, 1983). C'est ainsi que des poids seraient affectés aux différentes entrées sensorielles en fonction de leur degré d'implication, du sujet lui-même, voire de la tâche effectuée (Mittelstaedt, 1983 ; de Vignemont, 2010). Une autre stratégie mise en œuvre est le principe de dominance (Howard, 1982). En cas de conflit sensoriel, un signal dominant pourrait l'emporter sur les autres.

Cette intégration d'informations vestibulaires, visuelles, et proprioceptives participerait à la constitution d'un cadre de référence constant permettant une orientation spatiale optimum (Luyat et al., 2001 ; Luyat et al., 2002 ; Gentaz et al., 2008). Le maintien de ce cadre de référence par le SNC permettrait à l'individu de s'orienter et d'interagir dans son environnement, quelle que soit la position de son corps dans l'espace (Howard, 1982). Ainsi, lorsque nous inclinons notre corps dans l'espace, notre perception du monde reste inchangée.

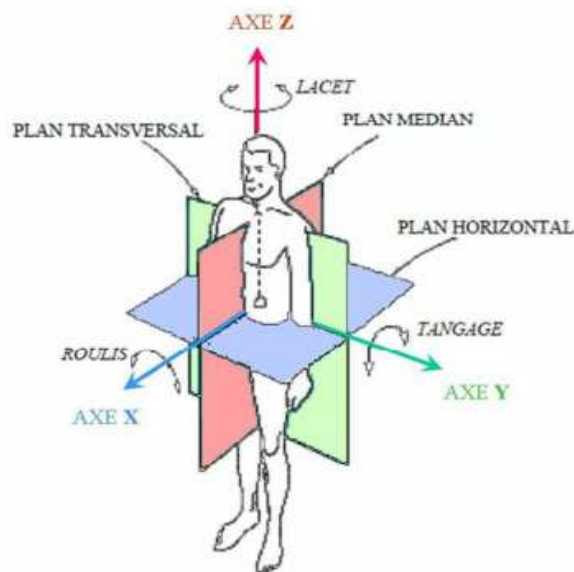
Howard (1982) suggère que l'orientation spatiale soit tributaire d'invariants directionnels appelés référentiels, à partir desquels il est possible de définir la localisation spatiale et l'orientation spatiale d'un objet ou de son corps dans l'environnement par un système de coordonnées. De façon générale, lorsqu'un objet est situé par rapport à une référence externe, présente dans l'environnement, le cadre de référence est alors allocentrique. Lorsqu'un objet est localisé par rapport à des invariants terrestres comme la verticale gravitaire ou l'horizon, le cadre de référence est alors géocentrique. Enfin, lorsque l'objet est situé par rapport au corps ou à une partie du corps (tête, tronc), le cadre de référence est dit égocentrique. Contrairement à la représentation égocentrique qui dépend entièrement du contexte et de la relation du sujet à l'objet, la représentation allocentrique ne change pas et préserve ainsi une certaine invariance. Cette invariance permet notamment de comparer les objets entre eux, de les juger par rapport à une orientation affranchie du corps et ainsi de formuler des jugements perceptifs sur les propriétés de ces objets (Jacob et Jeannerod, 2003).

### **2.2.2. Modèle hiérarchique de l'orientation spatiale**

Wade (1992) propose un modèle hiérarchique pour expliquer, en vision, le codage de l'orientation spatiale. Le référentiel se composant d'une origine et d'un trièdre permettant d'établir des coordonnées dans les trois dimensions de l'espace, la première étape de ce référencement serait le codage de l'orientation de l'objet en coordonnées rétinienne (référentiel rétinocentrique). L'origine de ce cadre serait constituée par la fovéa et l'axe par le méridien rétinien vertical. Cependant, du fait de phénomènes tels que la contre-cyclotorsion oculaire, l'inclinaison de l'objet d'une faible amplitude peut parfois être confondue avec une inclinaison contralatérale équivalente de la tête (Bischof, 1974). L'étape suivante est l'établissement d'un cadre de référence céphalique. L'origine et l'axe de référence sont respectivement le centre des yeux et le plan médian de la tête (Ono et Angus, 1974). Mais là encore, l'inclinaison de l'objet ne peut être distinguée d'une inclinaison équivalente de la tête en sens inverse. Différents référentiels égocentrés, centrés sur différentes parties du corps (le tronc, la tête, l'épaule, la main) seront ainsi successivement mis en jeu en fonction du type de tâche, celle-ci impliquant préférentiellement telle ou telle

partie du corps, ou du type de modalité perceptive employée (Soechting et Flanders, 1992 ; McIntyre et al., 1997 ; Heuer et Sangals, 1998).

Ainsi, les coordonnées spatiales d'un stimulus visuel seraient d'abord représentées dans un cadre de référence centré sur l'œil, puis la tête (égocentré), avant d'être transposées sur le corps (Carrozzo et al., 1999). Enfin, le corps lui-même une fois qu'il a reçu les afférences vestibulaires et somesthésiques, peut être situé dans un référentiel allocentrique géocentré : le référentiel gravitaire. Des axes corporels X, Y, Z peuvent être utilisés (figure 31). Ces derniers permettent de déterminer des mouvements de translation égocentrée, respectivement horizontal (avancée ou recul sur l'axe X), latéral (déplacement à droite ou à gauche sur l'axe Y), ou vertical (montée ou descente sur l'axe Z). Des mouvements de rotation peuvent également être déterminés à partir de ces axes : (i) rotation en roulis autour de l'axe X ; (ii) tangage autour de l'axe Y ; (iii) lacet autour de l'axe Z.



**Figure 31.** Plan et axes utilisés pour caractériser les directions de déplacement du corps humain (d'après Howard, 1982).

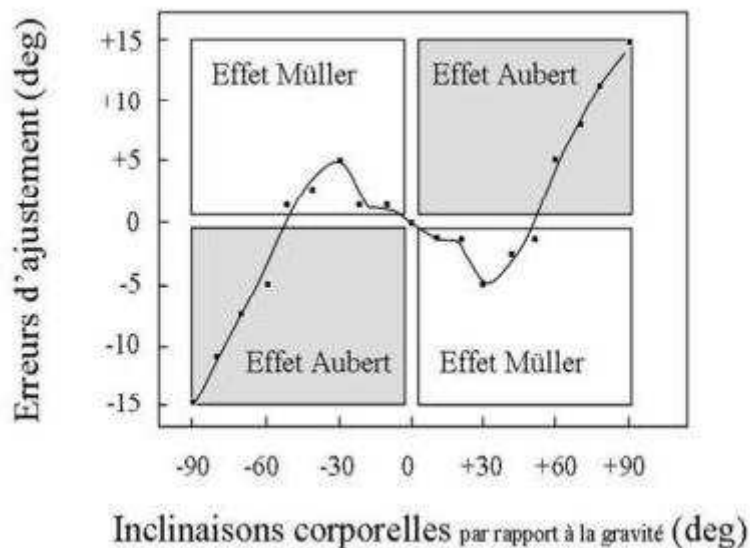
### 2.3. Influence de la posture sur la perception des orientations

En condition normale, les verticales gravitaire, comportementale et subjective (tactile, visuelle ou posturale) coïncident. En revanche, lorsque le sujet est plongé dans l'obscurité et subit une inclinaison passive du corps ou de la tête, l'ensemble des cadres de référence (égocentré et gravitaire) ainsi que les verticales perceptives se trouvent décorréliées. Est

observée alors une discrète déviation contralatérale de la VS chez les sujets sains par des phénomènes de compensation (Howard, 1982; Luyat et coll, 2001; Luyat et Gentaz, 2002) : effet E, ou effet Müller, par opposition à l'effet A, ou effet Aubert, qui correspond à une déviation de la VS dans le sens de l'inclinaison du corps.

Initialement mis en évidence dans l'estimation de la verticale visuelle subjective (VVS) pour les inclinaisons corporelles ou céphaliques en roulis, l'effet A désigne la tendance à déplacer la verticale gravitaire dans la direction de l'axe du corps ou de la tête. La baguette placée à la verticale est alors perçue en sens inverse de l'inclinaison du sujet. Lors de la période d'ajustement, la baguette est alors déplacée dans le sens d'inclinaison (Aubert, 1861 ; Müller, 1916 ; Bauermeister, 1964 ; Mittelstaedt, 1983). Cet effet est observé pour des angles d'inclinaison importants, souvent supérieurs à 60° (figure 32).

L'effet E désigne donc le comportement inverse. La baguette est perçue comme orientée vers le sujet. Lors de la période d'ajustement, la baguette se trouve déplacée dans le sens contraire de l'inclinaison. La VS est donc orientée dans la direction opposée au segment incliné (Müller, 1916 ; Bauermeister, 1964 ; Howard, 1982). Cet effet est observé pour des angles d'inclinaison plus faibles, souvent inférieurs à 60° (figure 32).



**Figure 32.** Estimation de la verticale visuelle subjective en fonction de l'orientation du corps (d'après Bauermeister, 1964).

Pour Mittelstaedt (1983), la décorrélation de la VS et de la verticale gravitaire résulterait d'une pondération des différentes afférences sensorielles par le SNC. L'effet A serait ainsi lié

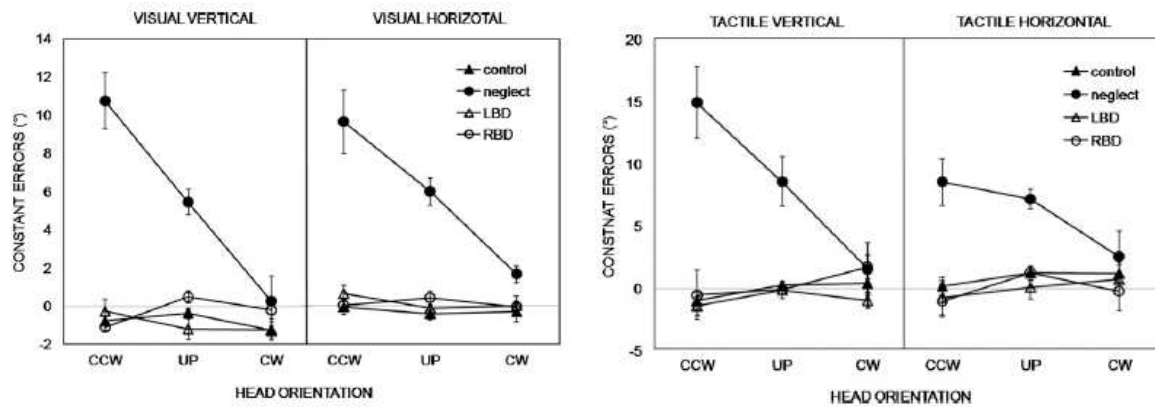


à une pondération plus forte des afférences somesthésiques entraînant un accroissement du vecteur idiotropique selon le modèle de Mittelstaedt (1983) et de l'influence des référentiels égocentrés (Dyde et al., 2006).

#### **2.4. Influence du cortex pariétal sur la perception des orientations : ce que nous apprend l'héminégligence**

Même s'il est usuel d'associer le cortex pariétal à l'élaboration du schéma corporel, en tant que représentation sensorimotrice et unifiée du corps, celui-ci participe à de nombreuses autres fonctions nécessitant une intégration multisensorielle (Colby et Duhamel, 1996). Il en est ainsi de l'identification de l'orientation spatiale du corps et du maintien d'un cadre de référence spatial (Kerkhoff, 1999 ; Funk et al, 2010). L'intégration d'informations vestibulaires, visuelles, et proprioceptives participerait à la constitution d'un cadre de référence constant permettant une orientation spatiale optimum (Luyat et al., 2001 ; Luyat et al., 2002 ; Gentaz et al, 2008). Le maintien d'un cadre de référence constant par le SNC permet à l'individu de s'orienter et d'interagir dans son environnement quelle que soit la position de son corps dans l'espace (Howard, 1982). Ainsi lorsque nous inclinons notre corps dans l'espace, notre perception du monde reste inchangée.

Funk et ses collaborateurs (2010) ont récemment évalué l'influence d'un dysfonctionnement du cortex pariétal sur le maintien d'un cadre de référence spatial constant. L'étude visait à évaluer l'effet de l'inclinaison latérale de la tête sur la perception subjective de la verticale et de l'horizontale, selon les modalités sensorielles visuelle et tactile, chez des patients cérébrolésés héminégligents, des patients cérébrolésés sans héminégligence et des sujets contrôles. Les jugements visuels et tactiles des orientations étaient réalisés la tête en position verticale et la tête inclinée dans le sens horaire ou antihoraire. Les patients héminégligents affichaient des écarts marqués de la verticale et de l'horizontale subjectives uniquement lors d'une inclinaison céphalique. Outre ce défaut d'orientation spatiale, une modulation du jugement dans le sens de l'inclinaison de la tête était systématiquement retrouvée (figure 33).



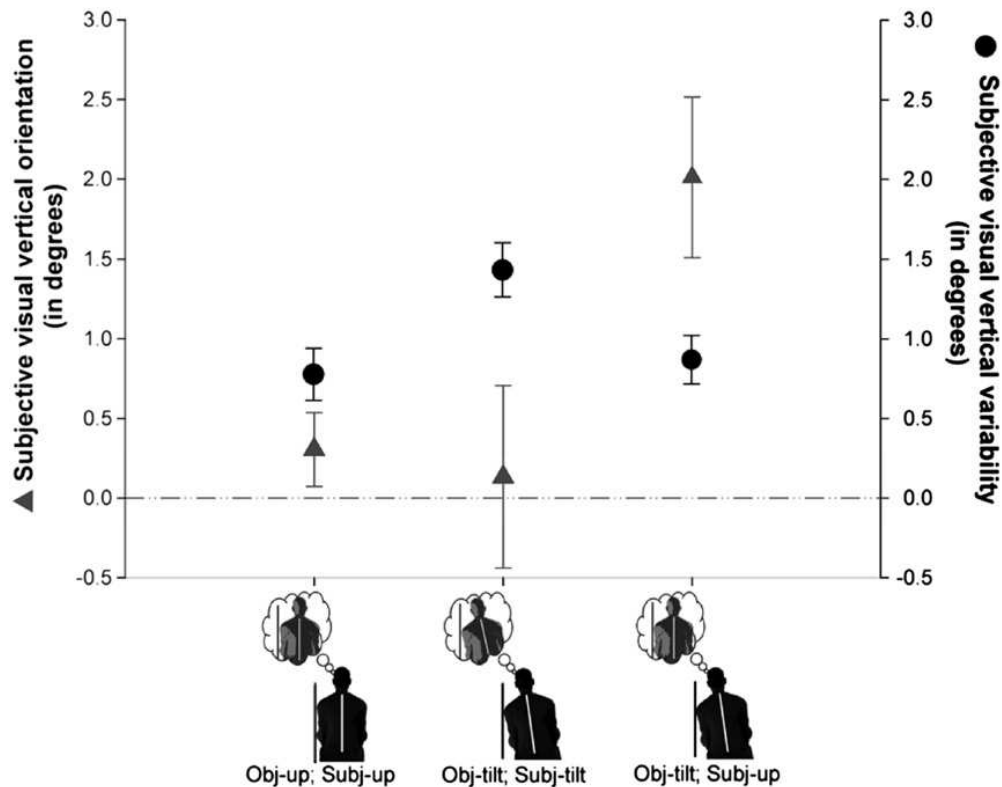
**Figure 33.** Déviations angulaires exprimées en degrés (moyennes et écarts-types) lors de la tâche d'orientation spatiale selon la modalité visuelle (figure gauche) et la modalité tactile (figure droite) en fonction des trois conditions d'inclinaison de la tête (CCW : tête inclinée à  $-25^\circ$  ; UP : tête droite ; CW : tête inclinée à  $+25^\circ$ ) et du groupe (control : sujets sains ; neglect : patients cérébrolésés et négligents ; LBD : sujets témoins atteints d'une lésion de l'hémisphère gauche ; RBD : sujets témoins atteints d'une lésion de l'hémisphère droit). Les tableaux de gauche illustre la perception de la verticale subjective et ceux de droite la perception de l'horizontal (d'après Funk et al., 2010).

Cet effet A prédominant serait lié à l'utilisation préférentielle du vecteur idiotropique précédemment décrit (Mittelsteadt, 1983 ; Funk et al., 2010), celui-ci exerçant une attraction de la VS en s'appuyant sur l'orientation réelle de la tête. Ce vecteur résulterait de l'intégration multimodale des informations vestibulaires, visuelles et proprioceptives permettant de localiser le corps dans l'espace et les informations haptiques et/ou visuelles nécessaires à la perception de la verticale gravitaire. L'effet A pourrait être lié à l'effet de ce vecteur idiotropique, les sujets privilégiant les référentiels égocentrés (basés sur des informations rétino-centriques, somesthésiques) par rapport aux référentiels allocentrés (basés sur des informations vestibulaires et également somesthésiques).

Compte tenu des similitudes existant entre les sujets héminégligents et les patientes anorexiques (Kinsbourne et Bemporad, 1984 ; Nico et al., 2010), nous avons souhaité étudier en premier lieu la perception tactile de la VS en fonction de l'inclinaison du corps. Cette tâche d'orientation implique un codage préalable de la position du corps dans l'espace et par la même une prise en compte du schéma postural (Head et Holmes, 2011). Une baisse de performance chez les patientes souffrant d'anorexie mentale confirmerait l'idée d'une perturbation de l'intégration sensorielle, préalable nécessaire à l'élaboration d'une représentation sensori-motrice adéquate.

## 2.5. Perception des orientations et codage de la posture dans l'anorexie mentale

Dans ce premier protocole, nous avons étudié l'effet de l'inclinaison passive du corps sur la perception verticale subjective. Comme nous l'avons vu, la position du corps influence la perception de la verticalité (Kerkhoff, 1999 ; Luyat et al., 2001 ; Luyat et al., 2002 ; Gentaz et al, 2008 ; Funk et al, 2010). Barra et ses collaborateurs (2012) ont récemment mesuré l'influence de la prise de conscience de l'orientation du corps sur la perception de la verticalité. L'hypothèse, défendue dans cette étude, était sous tendue par l'implication du cortex pariétal et de l'insula à la fois dans la prise de conscience de la position du corps dans l'espace et la perception de la verticalité. Neuf sujets ont ainsi dû estimer visuellement la VS selon trois conditions : (i) une condition contrôle dans laquelle le sujet se tenait droit, conscient de sa position ; (ii) une condition dans laquelle l'inclinaison du corps était congruente avec la conscience que le sujet en avait ; (iii) une condition dans laquelle l'inclinaison du corps et la conscience de cette inclinaison était dissociée. Pour induire expérimentalement une distorsion de la perception posturale, les participants étaient inclinés latéralement ( $\pm 30^\circ$ ) pendant 5 min. Puis, ils étaient redressés lentement ramenés vers la verticale gravitaire et étaient invités à indiquer verbalement quand ils avaient atteint une position qu'ils pensaient être verticale. La mesure de l'inclinaison réelle était alors mesurée. Comparée à la condition contrôle, l'estimation de l'orientation de la VVS, malgré une grande variabilité, restait comparable dans la condition congruente. En revanche, dans la condition non congruente, un effet A était retrouvé sans accroissement de la variabilité (figure 34).

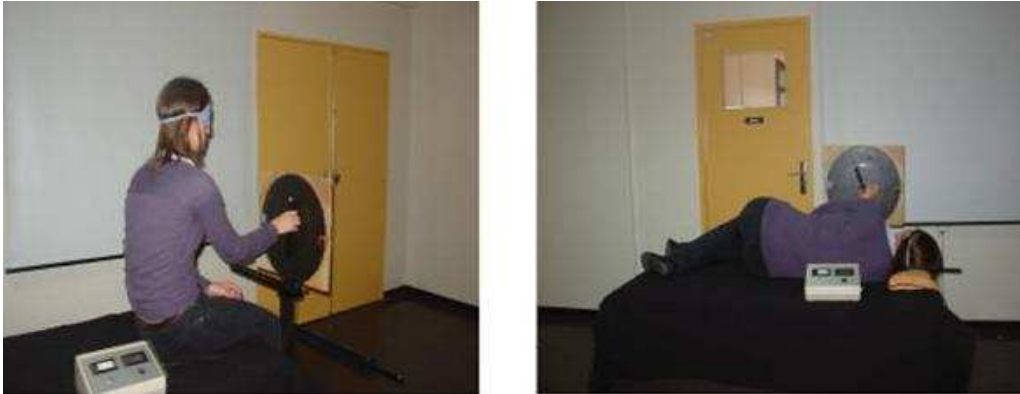


**Figure 34.** Estimation de la verticale visuelle subjective (VVS) en fonction des trois conditions expérimentales : pas d'inclinaison objective et subjective du corps (Obj-up; Subj-up), inclinaison objective et subjective du corps (Obj-tilt; Subj-tilt) et inclinaison subjective sans inclinaison objective du corps (Obj-tilt; Subj-up). Le degré d'inclinaison de la VVS est représenté par les triangles gris. La variabilité de la VVS est représentée par les cercles noirs (d'après Barra et al., 2012).

De toute évidence, la conscience que le sujet a de sa posture module sa perception de la verticalité. L'intégration des afférences sensorielles ne suffit pas à elle seule pour établir un percept cohérent de verticalité, celui-ci étant influencé par la représentation que le sujet se fait de l'orientation de son corps dans l'espace ainsi que de la conscience qu'il en a. Il nous semblait donc pertinent d'évaluer comment les patientes souffrant d'AM intégraient les informations sensorielles nécessaires au codage de l'orientation. Notre première étude porta donc sur la perception haptique de la VS en fonction de l'inclinaison du corps (corps droit, corps incliné à droite +90° et corps incliné à gauche -90°), celle-ci faisant appel à un type de représentation sensori-motrice : le schéma postural (Head et Holmes, 1911 ; Longo et al., 2010).

Cinquante participantes (25 patientes anorexiques et 25 témoins sains) ont été invitées à orienter manuellement une barre dans la position verticale selon trois conditions posturales : corps droit, corps incliné à droite +90° et corps incliné à gauche -90°. Le matériel consistait en une baguette (longueur : 20cm) pivotant autour d'un axe sur un plateau circulaire en métal. La baguette était légèrement aimantée de telle manière qu'une pression

modérée puisse la mettre en mouvement tout en permettant par la suite de conserver cette position. Cette dernière était reliée à un potentiomètre donnant l'angle en degré par rapport à la verticale gravitaire avec une sensibilité de  $\pm 1\%$  (figure 35).



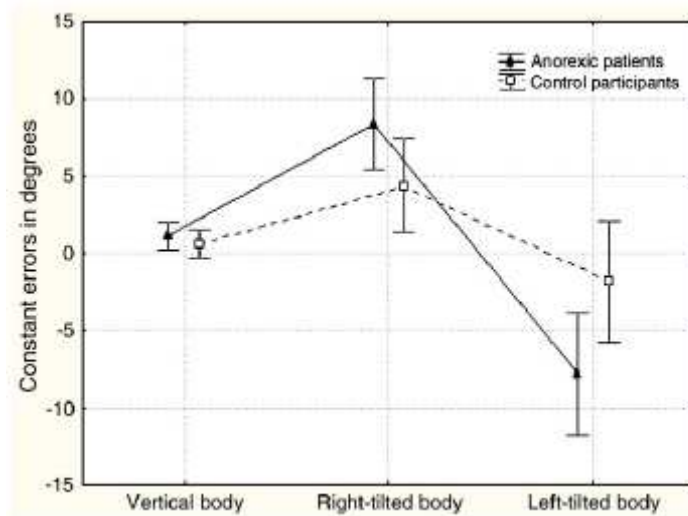
**Figure 35.** Dispositif expérimental de la tâche d'orientation tactile en fonction de l'orientation du corps.

La consigne était d'ajuster le plus précisément possible la baguette sur la verticale gravitaire sans l'aide de la vue. Ces ajustements étaient réalisés alternativement avec la main droite et la main gauche. Six essais étaient réalisés dans chacune des 6 conditions expérimentales ( $\text{corps}_{(-90^\circ; 0^\circ; +90^\circ)} \times \text{main}_{(\text{droite}; \text{gauche})}$ ). L'ordre de passation des conditions était contrebalancé d'un sujet sur l'autre, à l'exception du 25<sup>ème</sup> sujet dont l'ordre de passation était identique au premier. Pour chaque essai, était recueillie la déviation en degrés par rapport à la verticale. Par convention, les déviations dans le sens antihoraire étaient notées négativement et les déviations horaires positivement. La variable de traitement était la moyenne algébrique des déviations angulaires calculée sur les 6 essais.

Le premier résultat retrouvé était une baisse des performances haptiques de perception de la VS en position inclinée, c'est-à-dire lorsque le SNC doit prendre en compte l'inclinaison du corps pour adapter sa réponse. L'altération de la perception haptique semblait ainsi se confirmer (Grunwald et al., 2001, 2002, 2004 ; Tchanturia et al., 2001 ; Roberts et al., 2007), à laquelle nous pouvions désormais ajouter la perception des orientations.

Le deuxième résultat était un effet A prédominant, soit une inclinaison quasi-systématique de la VS dans le sens de l'inclinaison du corps (figure 36). Cet effet A pourrait refléter une perturbation des référentiels spatiaux et une pondération accrue du SNC envers

le vecteur idiotropique (Mittelstaedt, 1983, 1996), en d'autres termes un usage privilégié du référentiel égocentrique (Trousselard et al., 2004).



**Figure 36.** Déviation de la verticale subjective en fonction de la position du corps dans l'espace (corps droit, corps couché sur la droite, corps couché sur la gauche) dans les deux groupes.

Enfin, le dernier résultat était la corrélation retrouvée entre le niveau de conscience intéroceptive quantifiée par l'EDI-2 et les performances comportementales : plus la conscience intéroceptive est altérée, moins la perception haptique des orientations est bonne. Ces résultats confirment l'existence d'une altération de la conscience intéroceptive (Pollatos et al., 2008) et soulève la question du lien pouvant exister entre celle-ci et l'orientation du corps dans l'espace (Barra et al., 2012).

## Article 1

### Spatial Orientation Constancy Is Impaired In Anorexia Nervosa

**Guardia D**, Cottencin O, Thomas P, Dodin V, Luyat M.

Psychiatry Res. 2012 Jan 30;195(1-2):56-9.



À l'issue de cette première étude, plusieurs nouvelles questions se sont posées. Cette baisse de performances est-elle le seul fait d'une perception haptique altérée ? Ce déficit s'étant-il à d'autres modalités sensorielles, telles que la vision ? Cet effet témoigne-t-il d'une altération des référentiels allocentriques ? S'agit-il d'un phénomène de compensation se faisant au profit de l'égoцентризм spatial ? Tout ceci nous conduit à notre deuxième étude.

Deux tâches comportementales ont été successivement proposées aux patientes, celles-ci visant à mesurer la perception de la VS et de l'axe Z (axe céphalocaudal), ceci au moyen de deux modalités sensorielles (visuelle et tactile), en fonction de la position du corps dans l'espace (corps droit, corps incliné à droite +90° et corps incliné à gauche -90°). L'étude de la perception de la VS et de l'axe Z a permis d'évaluer l'implication des référentiels spatiaux égoцентризм et/ou allocentrique. Deux tâches comportementales contrôles de discrimination d'objet selon la modalité haptique et visuelle ont été proposées afin de contrôler une éventuelle atteinte préalable des modalités sensorielles.

Pour la tâche de discrimination haptique, le matériel consistait en une table sur laquelle étaient disposés dix carrés de différentes dimensions. Après avoir placé un masque noir occultant ses yeux, le sujet, lors de trois séries de dix présentations randomisées successives, devait préciser si le carré présenté était plus grand, identique ou plus petit que le carré de référence présenté au préalable. S'agissant cette fois de la tâche de discrimination visuelle, l'évaluation était faite lors de la présentation, dans un ordre aléatoire, de dix carrés de tailles différentes à l'aide du logiciel E-Prime. Lors de chaque présentation, le sujet devait dire, comme dans l'expérience 1, si le carré présenté était plus petit, identique ou plus grand que le carré de référence.

L'estimation de la VS et de l'axe Z en modalité haptique a été réalisée selon un protocole similaire à celui de la précédente étude (cf supra). S'agissant de l'estimation de la VS et de l'axe Z en modalité visuelle, le matériel, validé lors d'études antérieures (Luyat et al., 2001), se composait d'un tunnel (60 cm de long) avec, pour fond, un disque métallique pivotant (diamètre : 44 cm) équipé d'une ligne lumineuse. Le dos du disque était gradué en degrés. Le seuil de sensibilité de cet écran était égal à  $\pm 0,5^\circ$ . Deux manettes permettaient de pivoter le disque et donc d'orienter l'axe de ce faisceau lumineux de chaque côté du tunnel.





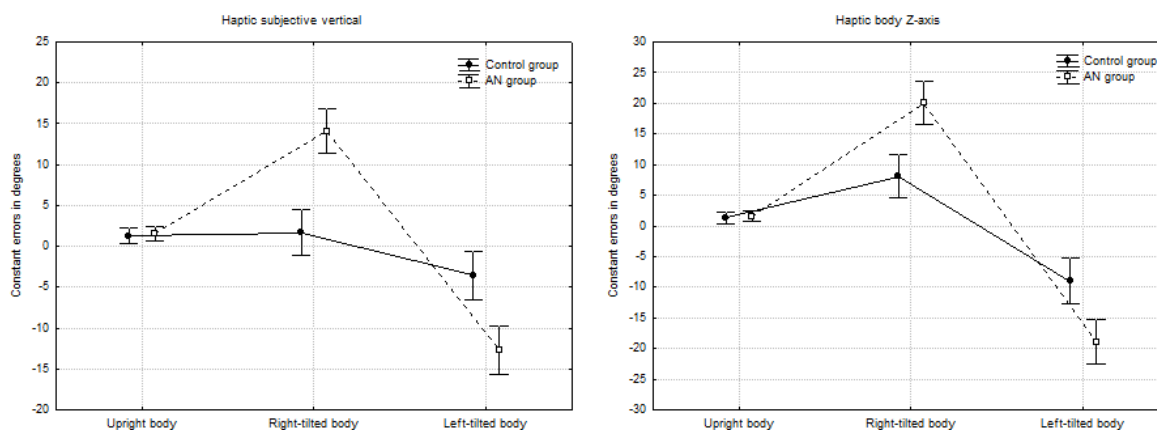
**Figure 37.** Dispositif expérimental d'estimation visuelle de la VS et de l'axe Z.

Afin de ne pas induire de biais notamment lié à la prise de repère environnant, la salle de test était placée dans l'obscurité la plus complète. Seule la ligne lumineuse était visible. Lors de la tâche d'estimation de la VS, le sujet devait ajuster la ligne lumineuse sur la verticale gravitaire. Lors de la tâche d'estimation de l'axe Z, le sujet devait ajuster la ligne lumineuse sur son axe céphalocaudal. Le nombre d'essai et les conditions posture ( $-90^\circ$ ;  $0^\circ$ ;  $+90^\circ$ ) et main (gauche ; droite) étaient similaires à la première étude.

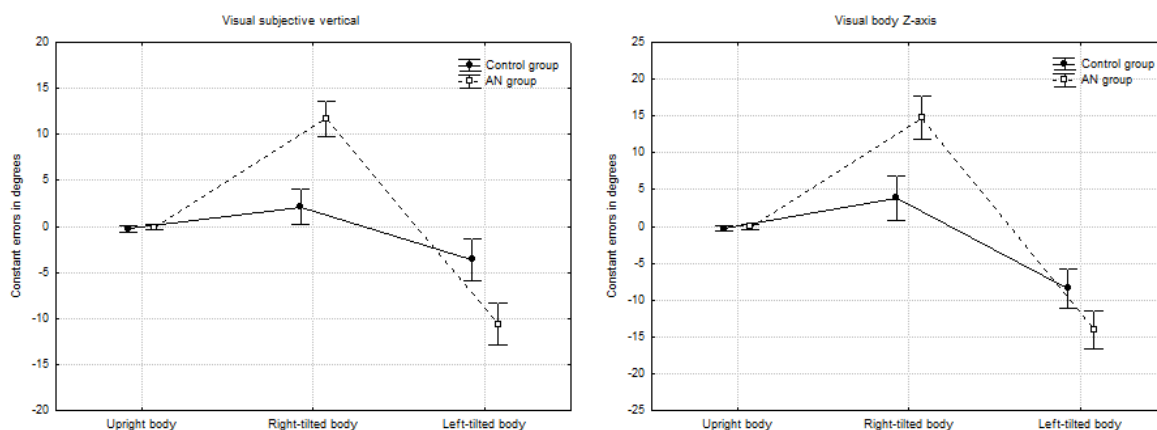
Lors de la tâche de discrimination d'objets de forme simple, nous avons retrouvé des performances comparables dans les deux groupes, quelle que soit la modalité d'exploration utilisée (haptique ou visuelle). Contrairement aux données de la littérature (Tchanturia et al., 2001; Grunwald et al., 2002 ; Grunwald et al., 2004 ; Roberts et al., 2007), l'exploration haptique restait comparable entre les patientes anorexiques et les sujets contrôles. Cette divergence de résultats nous semble pouvoir être expliquée par la complexité de la tâche demandée par Grunwald et al. (2002). Quant à l'exploration visuelle, nous nous attendions à des performances similaires dans les deux groupes dans la mesure où la discrimination visuelle ne semble pas affectée dans l'AM (Smeets et al., 1999). Ces résultats suggèreraient l'absence de perturbation spécifique de l'une ou l'autre de ces modalités et pose une nouvelle fois la question d'un défaut d'intégration multimodal.

S'agissant des tâches d'orientation spatiale, l'inclinaison du corps provoque des écarts systématiques de la VS et de l'axe Z conformément aux données de la littérature (Luyat et al., 2001 ; Bortolami et al., 2006 ; Gentaz et al., 2008). Ces résultats ne semblent pas dépendants d'une modalité sensorielle, des résultats similaires ayant été observés en modalité haptique et visuelle. Un effet A prédominant serait observé quelle que soit la modalité sensorielle étudiée (figure 38).

a)



b)



**Figure 38.** Déviation moyenne en degrés : a) tâche d'orientation spatiale en modalité haptique (estimation de la verticale subjective à gauche et de l'axe Z à droite) ; b) tâche d'orientation spatiale en modalité visuelle (estimation de la verticale subjective à gauche et de l'axe Z à droite).

Les perturbations retrouvées, quel que soit le référentiel spatial employé (référentiel allocentré pour la perception de la VS et référentiel égocentré pour la perception de l'axe Z), laissent à penser que c'est bien l'ensemble des référentiels spatiaux qui se trouve perturbé. L'hypothèse d'un phénomène de compensation du référentiel allocentrique au profit du référentiel égocentrique n'est donc pas vérifiée. La prédominance de l'effet A et la surestimation de l'axe Z laissent également à penser que les patientes surestimeraient leur propre inclinaison. Les perturbations ne seraient pas tant liées à l'inclinaison réelle de leur corps qu'à la conscience subjective qu'elles en ont (Barra et al., 2012).

Ces résultats pourraient être liés à un défaut de conscience intéroceptive (Pollatos et al., 2008), s'agissant non seulement de la posture du corps mais également du poids. En effet, des variations pondérales importantes sont observées chez les patientes à l'origine de

perturbations des indices somesthésiques aidant à l'identification de l'orientation du corps dans l'espace (Trousselard et al., 2003 ; Trousselard et al., 2004). Une corrélation forte a ainsi pu être retrouvée entre les performances comportementales et l'état nutritionnel d'une part et les scores obtenus lors de l'évaluation psychométrique des comportements alimentaires d'autre part. Ainsi, plus les référentiels spatiaux sont affectés, plus l'intensité des symptômes est grande (score total, sous-scores « recherche de minceur » et « insatisfaction corporelle » de l'*Eating Disorder Inventory 2*, EDI-2) et donc plus le pronostic est défavorable. S'agissant du sous-score « conscience intéroceptive », il met en évidence un défaut de conscience intéroceptive qui pourrait s'étendre jusqu'à l'identification de l'orientation que peut prendre le corps dans l'espace. En parallèle, les corrélations entre état nutritionnel et performances montrent que plus l'IMC est élevé, meilleures sont les performances. Cela pourrait être expliqué par l'influence gravitaire sur les repères somesthésiques (Trousselard et al., 2003 ; Trousselard et al., 2004).

Ainsi, aux anomalies d'intégration sensorielle pourrait être associée un défaut de conscience intéroceptive (Pollatos et al., 2008 ; Barra et al., 2012) qui viendrait moduler la représentation de la verticalité. Le jugement des patientes se trouverait donc ainsi biaisé par des processus de type bottom-up (intégration multisensorielle perturbée) et top-down (défaut de conscience intéroceptive).

## Article 2

### Disruption of Spatial Task Performance in Anorexia Nervosa

**Guardia D**, Carey A, Cottencin O, Thomas P, Luyat M

PLoS ONE. 2013;8(1):e54928.



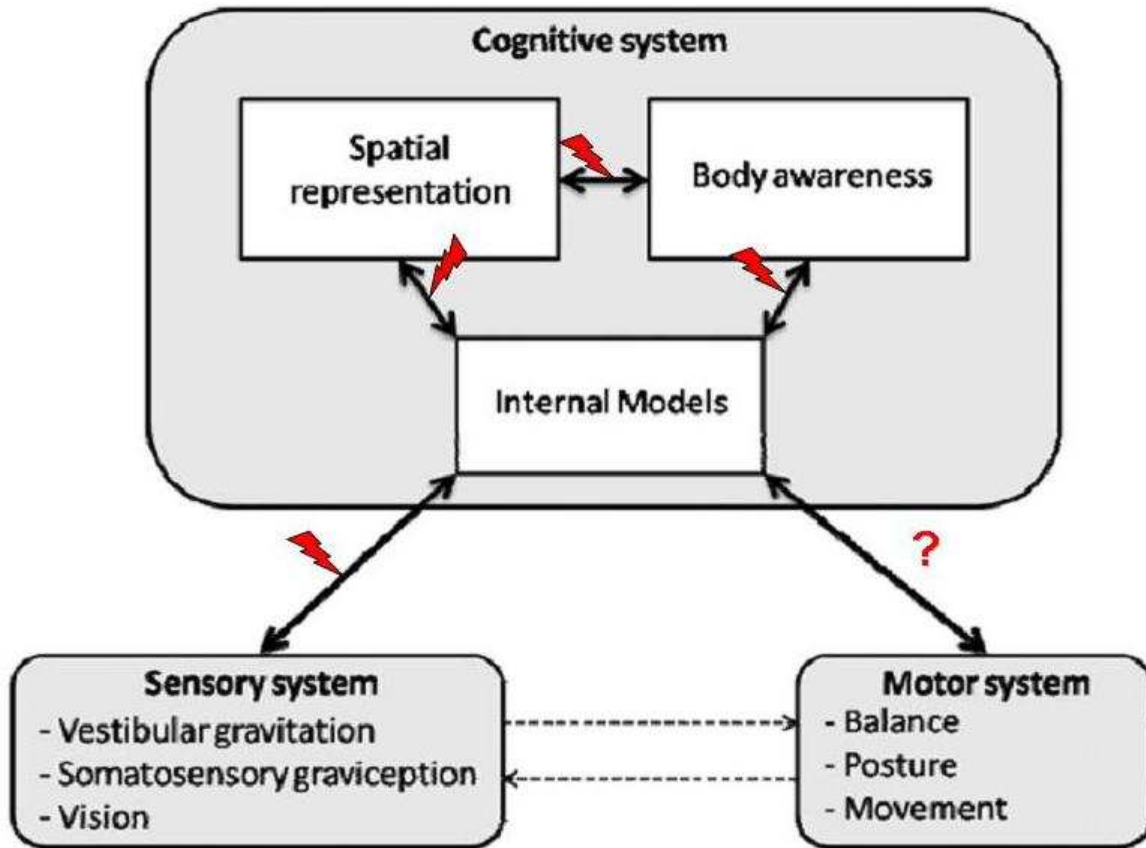
L'objectif de ce travail de thèse était d'évaluer l'impact de l'AM sur les représentations sensori-motrices du corps et leur implication dans l'action. Nous souhaitions étudier dans un premier temps ce qui nous semblait être un des niveaux les plus élémentaires d'exploration des processus de représentation du corps : l'orientation spatiale. Localiser son corps dans l'espace, définir son orientation à l'égard d'une cible, constitue une étape incontournable de la planification d'une action. Il nous semblait donc pertinent d'évaluer comment les patientes souffrant d'anorexie mentale intégraient les informations sensorielles nécessaires au codage de l'orientation.

Notre première étude porta donc sur la perception haptique de la VS en fonction de l'inclinaison du corps. Trois points ont attiré notre attention. Le premier fut une baisse des performances haptiques de perception de la VS en position inclinée, c'est-à-dire lorsque le SNC doit prendre en compte l'inclinaison posturale pour adapter sa réponse. Le deuxième était une inclinaison quasi-systématique de la VS dans le sens de l'inclinaison du corps. Le troisième fut la découverte d'une relation entre le niveau de conscience intéroceptive et les performances comportementales : plus la conscience intéroceptive est altérée, moins la perception haptique des orientations est bonne.

Cette première étude déboucha sur de nouvelles interrogations, telles que l'existence ou non d'une altération spécifique de la perception haptique dans l'anorexie mentale, ou encore la perturbation des référentiels spatiaux dont témoignerait la prédominance de l'effet A lors d'une inclinaison du corps. Une seconde étude fut donc lancée. Celle-ci permit de contrôler une éventuelle atteinte préalable de modalités sensorielles haptiques et visuelles. Les résultats obtenus, quelle que soit la tâche d'ajustement effectuée (référentiel allocentré pour la perception de la VS et référentiel égocentré pour la perception de l'axe Z) révélaient une perturbation de l'ensemble des référentiels spatiaux. Un défaut de conscience intéroceptive pourrait participer à la mauvaise perception subjective de l'orientation du corps par les patientes souffrant d'AM, mais également à la mauvaise prise en compte des variations pondérales à l'origine de perturbations profondes des indices somesthésiques aidant à l'identification de cette orientation du corps dans l'espace.

Ainsi à la question de l'atteinte du schéma postural dans l'AM nous sommes en droit de répondre par l'affirmative. Celle-ci serait liée à un défaut d'intégration multisensorielle ((Grunwald et al., 2001, 2002, 2004 ; Keizer et al., 2011, 2012 ; Case et al., 2012 ; Eshkevari et al., 2012) et de conscience intéroceptive (Pollatos et al., 2008). Sur base du modèle de

perception de la verticalité proposé par Barra et ses collaborateurs (2012), nous comprenons bien comment les modèles internes se trouvent être perturbés dans l’anorexie mentale (figure 39).

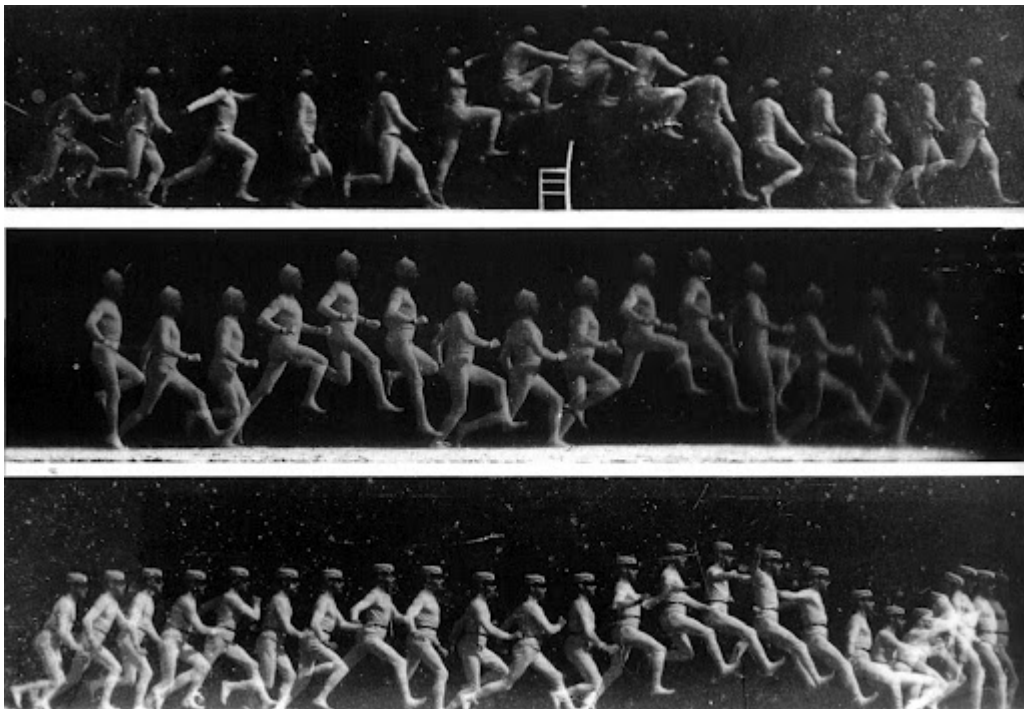


**Figure 39.** Modèle de représentation subjective de la verticale tenant compte des afférences sensorielles, des efférences motrices, et du traitement cognitif. Les double-flèches reflètent les influences *bottom-up* (système sensorimoteur) et *top-down* (représentations et conscience du corps). Les flèches rouges indiquent les perturbations de la représentation subjective de la verticale dans l’anorexie mentale (d’après Barra et al., 2012).

Dans un deuxième temps, nous nous sommes donc intéressés à la question du mouvement et en particulier aux limites du corps agissant. La question était notamment de savoir si les distorsions du schéma corporel observées dans l’anorexie mentale perturbaient l’action, que celle-ci soit anticipée ou réalisée, que le sujet soit acteur ou observateur.

### 3. CORPS AGISSANT : PERCEPTION DES DIMENSIONS DU CORPS DANS L'ANOREXIE MENTALE

---



*Chronophotographie d'Etienne-Jules Marey  
Saut d'un homme, 1886*

### 3.1. Simuler c'est agir ?

*« Ma seule consolation, quand je montais me coucher, était que maman viendrait m'embrasser quand je serais dans mon lit. Mais ce bonsoir durait si peu de temps, elle redescendait si vite, que le moment où je l'entendais monter, puis où passait dans le couloir à double porte le bruit léger de sa robe de jardin en mousseline bleue, à laquelle pendaient de petits cordons de paille tressée, était pour moi un moment douloureux. Il annonçait celui qui allait le suivre, où elle m'aurait quitté, où elle serait redescendue. De sorte que ce bonsoir que j'aimais tant, j'en arrivais à souhaiter qu'il vînt le plus tard possible, à ce que se prolongeât le temps de répit où maman n'était pas encore venue. Quelquefois quand, après m'avoir embrassé, elle ouvrait la porte pour partir, je voulais la rappeler, lui dire « embrasse-moi une fois encore », mais je savais qu'aussitôt elle aurait son visage fâché, car la concession qu'elle faisait à ma tristesse et à mon agitation en montant m'embrasser, en m'apportant ce baiser de paix, agaçait mon père qui trouvait ces rites absurdes, et elle eût voulu tâcher de m'en faire perdre le besoin, l'habitude, bien loin de me laisser prendre celle de lui demander, quand elle était déjà sur le pas de la porte, un baiser de plus. Or la voir fâchée détruisait tout le calme qu'elle m'avait apporté un instant avant, quand elle avait penché vers mon lit sa figure aimante, et me l'avait tendue comme une hostie pour une communion de paix où mes lèvres puiseraient sa présence réelle et le pouvoir de m'endormir » (Marcel Proust, 1913).*

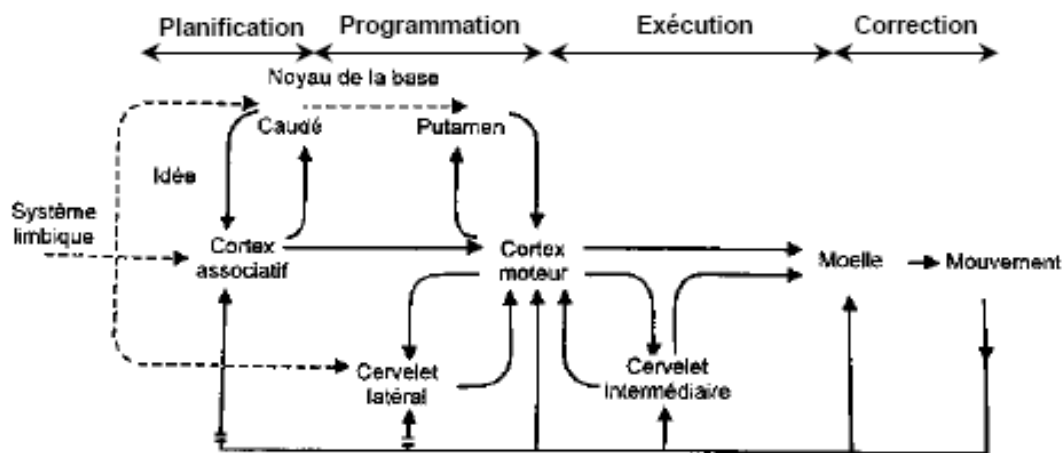
Comme nous l'illustre le jeune Marcel, de l'anticipation naît l'action, l'attente voire le désir de cette action comme de ses conséquences qui nous engagerons ou non dans la réalisation de celle-ci. Bien qu'à l'origine de bon nombre de nos comportements, l'intérêt scientifique porté à celle-ci ne s'est faite que progressivement. Il faut en effet attendre le début du siècle dernier pour voir apparaître les premiers modèles prenant en compte la notion d'anticipation.

#### 3.1.1. Émergence du concept d'anticipation

Le philosophe Bain (1855) fut le premier à s'interroger sur la relation unissant la conscience et l'action. Nos actions seraient guidées par notre intellect et nos sensations. Et, le but à atteindre constituerait le critère d'évaluation (Bain, 1855).



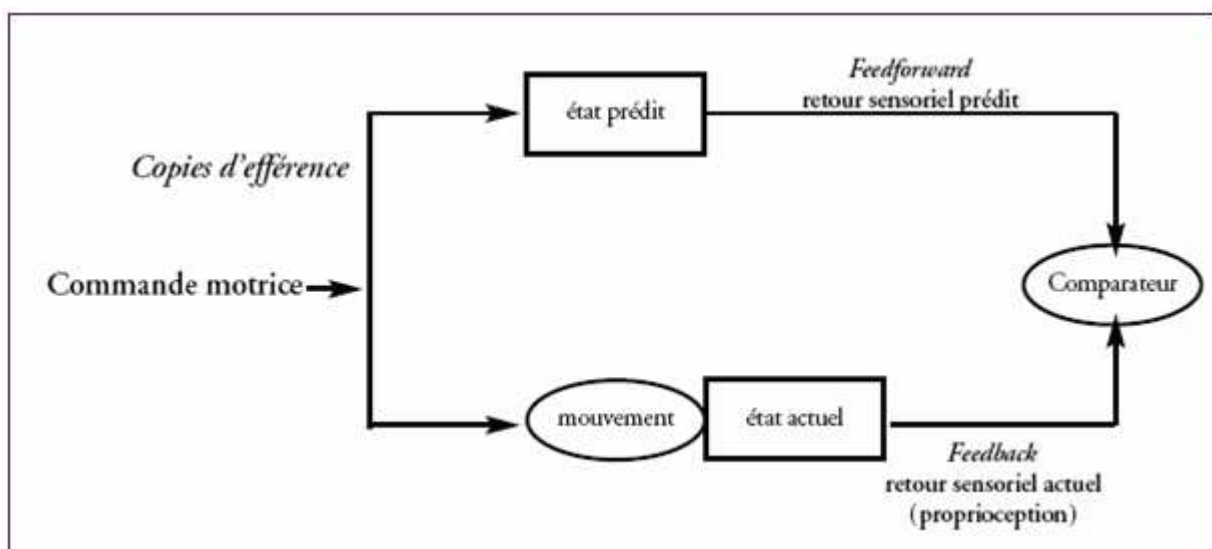
Quelques années plus tard, émerge avec Helmholtz (1867) la notion de comparateur, celui-ci permettant le contrôle et l'ajustement du mouvement. Du dialogue entre les afférences sensorielles et les efférences motrices naîtra un ajustement du geste amorcé. Pour James (1890), il existerait une image préexistante au mouvement permettant son organisation temporo-spatiale et sa réalisation. Nos actions seraient donc douées d'une intentionnalité et dirigées vers un but. C'est ainsi que, pour Maton et Bouisset (1975), le mouvement volontaire présuppose « *la présence d'un projet mental de mouvement et la dépendance fonctionnelle entre l'exécution du mouvement et ce projet* ». Notre volonté d'agir impliquerait donc non seulement une conscience de la direction donnée à l'action mais également de son résultat. Les divers théoriciens de l'action s'accorderont pour définir le but à atteindre comme partie intégrante du mouvement, qu'il s'agisse de Del Bianco et de son schème d'action ou de Schmidt avec son schéma moteur (pour une revue, voir Schmidt, 2003). Les études anatomo-fonctionnelles permettront par la suite d'identifier les structures nerveuses impliquées dans les différentes phases du programme moteur : planification, programmation, exécution et correction (figure 40).



**Figure 40.** Organisation anatomo-fonctionnelle des structures nerveuses en jeu dans la motricité (d'après Paillard, 1983).

De multiples situations mettant en jeu l'anticipation ont ainsi pu être révélées. Citons le cas de cet athlète qui, une fois les pieds positionnés dans les *starting blocks*, voit sa fréquence cardiaque augmenter, celle-ci se révélant être inversement proportionnelle à la distance à parcourir (McArdle et al., 1967). Ce mécanisme adaptatif apparaît primordial au vu du contexte, les besoins énergétiques étant variables d'une course à l'autre.

Un deuxième exemple est apporté par l'étude des stimulations cutanées. Parmi les découvertes les plus précoces de l'enfant en proie à l'exploration de son corps, il en est une absolument cruciale, celle de ne pouvoir se chatouiller soi-même. Des découvertes récentes ont permis de lever le voile sur cet étonnant phénomène. Il semble en effet que lorsque nous nous effleurons, une inhibition centrale soit opérée dans le même temps au niveau de du SNC (Weiskrantz et al., 1971 ; Blakemore et al., 1999 ; Blakemore et Frith, 2003). Blakemore et ses collaborateurs (2000) ont émis l'hypothèse que cette autostimulation serait prédite lors de la commande motrice. Cette proposition n'est pas sans rappeler le modèle de la copie d'efférence proposé par von Helmholtz (figure 41 ; 1867). Selon ce modèle, toute commande motrice donnée à un muscle s'accompagnerait de l'envoi simultané d'une copie de cette commande : la copie d'efférence. Celle-ci serait ensuite utilisée pour prédire le mouvement du muscle. Cela permet alors de calculer la nouvelle position théorique du corps après ce mouvement. Mais également pour anticiper le retour sensoriel au décours du mouvement. Cette prédiction du retour sensoriel (*feedforward*) est alors comparée avec le retour sensoriel réel (*feedback*), issu du système proprioceptif, et aussi appelé réafférence (figure). La comparaison de la prédiction, faite grâce aux copies d'efférence, avec l'information proprioceptive permettrait ainsi d'anticiper et de réduire dans le même temps les chatouilles (Blakemore et al., 2000).



**Figure 41.** Modèle de la copie d'efférence (d'après Blakemore et al., 1999).

Un troisième exemple est donné par la perception de l'espace lors d'un mouvement. Au cours de nos déplacements ou de mouvements oculaires, l'image qui se projette sur la

rétine se modifie constamment. Or, nous percevons malgré tout l'espace environnant comme stable. Selon toute vraisemblance, le cerveau tiendrait compte du mouvement généré afin de construire une représentation de l'espace stable. Cette stabilité de l'espace a été étudiée notamment au cours des mouvements saccadiques des yeux (Ibbotson et Krekelberg, 2011). Il s'agit de mouvements oculaires simples, rapides, balistiques, permettant de maximiser la prise d'information en ciblant l'élément visuel intéressant sur la partie de la rétine la plus appropriée, la fovéa. Deubel et ses collaborateurs (1998) ont montré que la stabilité de l'espace était dominée par l'hypothèse que fait le cerveau qu'un stimulus présent pendant plus d'une saccade oculaire est stable. Les points stables perçus sont alors considérés comme des références pour la recalibration post-saccadique de l'espace perceptuel.

Un dernier exemple introduisant la notion de temporalité est ici rappelée par le cinéaste Alfred Hitchcock : « *Il n'y a pas de terreur dans un coup de fusil, seulement dans son anticipation* ». Cette citation nous rappelle ici une autre caractéristique de notre cerveau, à savoir sa capacité d'inférer le temps restant à parcourir d'un objet se rapprochant de nous et que nous souhaiterions éviter (Lee et Young, 1996). Pour se faire, doit être évalué le rapport entre la surface de l'objet (plus l'objet se rapproche de l'œil et plus sa taille sur la rétine est grande) et sa vitesse de dilatation. A l'issue de cette opération, peut alors être effectuée une estimation du temps restant à parcourir.

L'anticipation participe ainsi à toute action que nous entreprenons. Les exemples donnés ci-dessus montrent que ce mode de fonctionnement s'applique au quotidien. En outre, ils mettent en évidence une autre spécificité de notre cerveau, celle d'extraire du monde environnant les informations pertinentes pour l'action. Ce dernier point, à savoir que la perception peut être modulée par l'interaction de l'agent avec son environnement, sera développé dans la théorie écologique de la perception (Gibson, 1979).

### **3.1.2. Une théorie écologique de l'anticipation**

L'interaction entre l'agent et son environnement est à la base de la théorie écologique de la perception proposée par Gibson (1979). Portant sur à la perception visuelle de l'espace, elle s'oppose en partie aux théories inférentielles, cognitivistes. Ces dernières postulent l'existence d'un enregistrement passif de l'image rétinienne, enrichie

secondairement par des processus inférentiels sur la base de représentations stockées en mémoire. La théorie écologique suggère pour sa part que l'observateur, par son mouvement et ses actions, dynamise la configuration visuelle ambiante. La perception de l'espace ne se limite plus à une analyse comparative quelque peu figée mais s'exprimerait désormais en termes de potentialité d'action. C'est ainsi que l'exploration visuelle des objets environnants se fait désormais en fonction des ressources qu'ils constituent pour agir. Ces ressources constitueraient des invariants perceptifs spécifiant à la fois l'agencement des surfaces et des objets, les mouvements des objets dans l'espace ainsi que les mouvements que l'agent devra accomplir. L'information est donc saisie dans un environnement donné en vue de la réalisation d'une action donnée. Perception et action se trouvent ainsi étroitement liées.

Gibson (1979) introduira la notion d'affordance, de l'anglais « to afford » (permettre, offrir), pour appuyer cette notion de potentialité d'action. Celle-ci peut se définir comme *« l'utilité fonctionnelle d'un objet, d'une surface, d'un événement pour un animal présentant des caractéristiques physiques données et certaines capacités d'action définies en fonction de l'espèce, du développement ontogénétique ou de caractéristiques idiosyncrasiques »* (Regia-Corte et al., 2004 ; Luyat et Regia-Corte, 2009). Elle désigne la faculté que l'organisme a de percevoir les actions potentielles offertes par l'environnement, en fonction des propriétés de cet environnement et également en fonction des propriétés intrinsèques de l'organisme. Percevoir une affordance revient ainsi à percevoir l'espace en fonction de ses dimensions et capacités physiques propres, prérogative nécessaire à l'adaptation du sujet à son environnement. Percevoir correctement une affordance revient à anticiper l'action dont elle dépend et ainsi la réussir. A l'inverse, si l'affordance est perturbée, il y a de grandes chances pour que les actions entreprises échouent (figure 42).

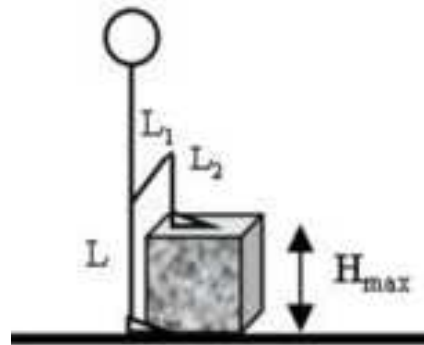


Figure 42. Illustration d'une affordance de passabilité perturbée.

### 3.1.3. Invariants perceptifs et métrique du corps

En 1984, Warren est l'un des premiers à mettre en évidence la perception d'une affordance chez l'homme. La tâche consiste à évaluer, sans faire l'action, la hauteur critique d'une marche au-delà de laquelle elle ne peut plus être franchie sans l'aide des mains (figure 43). Au préalable, l'auteur aura pris soin de constituer deux groupes de participants en fonction de leur taille : petite taille *versus* grande taille. Comme pressenti, le seuil critique de franchissement de la marche est plus grand dans le groupe de grande taille. Cependant, lorsque la longueur de jambe des participants est prise en compte, cette différence s'efface. Le rapport entre la hauteur de la marche et la hauteur de jambe apparaît similaire dans les deux groupes (ici,  $\pi \approx 0,88$ ). Le premier invariant perceptif est découvert. Warren tente alors de généraliser ce résultat sous la forme d'un ratio entre la valeur critique d'une propriété de l'environnement (E) et la valeur optimale de la propriété intrinsèque de l'agent (A) :  $\pi = E/A$ . Ce ratio étant invariant, l'agent peut ainsi évaluer, en prenant directement l'information de la scène visuelle, la probabilité de réussite de l'action à mener. Les études ultérieures s'attacheront à identifier d'autres invariants perceptifs employés dans des schémas moteurs tels que l'identification de la hauteur maximale d'un siège permettant à l'agent de s'asseoir (Mark, 1987), de la hauteur critique d'un obstacle compatible avec son franchissement (van der Meer, 1997 ; Marcilly et Luyat, 2008 ; Wagman et Malek, 2009 ; Bourrelly et al., 2009 ; Steffanucci et Geuss, 2010) ou du seuil critique de passabilité à travers une ouverture (Warren et Whang, 1987 ; Higushi et al., 2006 ; Bakker et al., 2008). Cependant, outre la

hauteur des jambes, la hauteur des yeux semble également impliquée, cette dernière jouant un rôle primordial dans la perception de la scène visuelle.

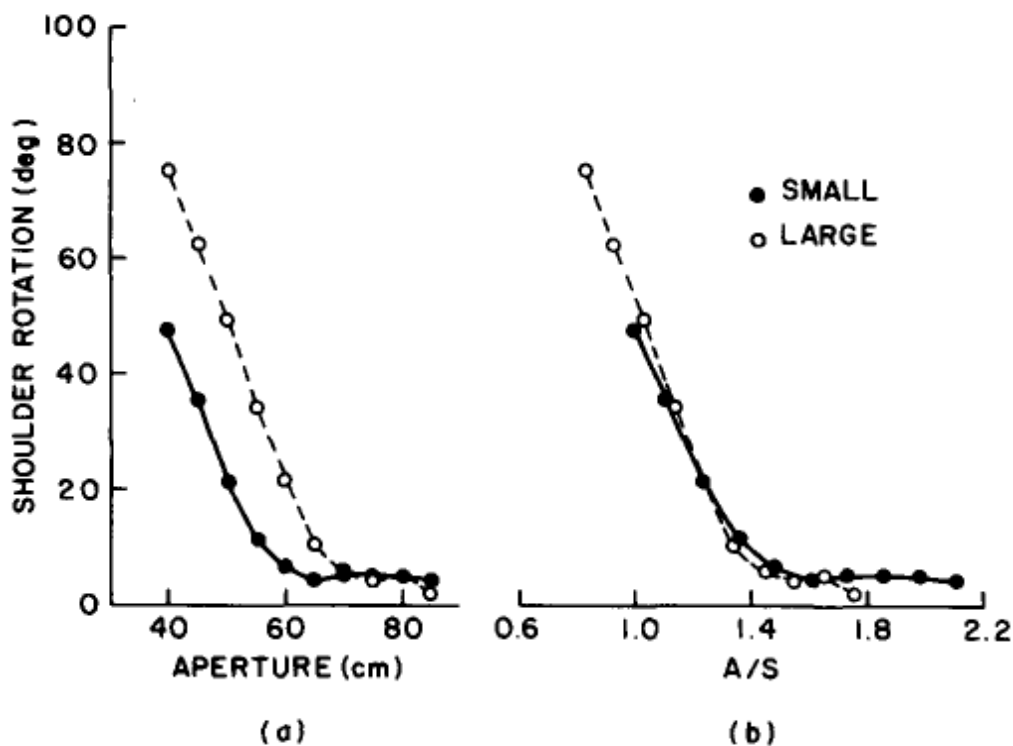


**Figure 43.** Estimer la hauteur maximale d'une marche à gravir ( $H_{\max}$ ) revient à identifier la proportion invariante de longueur de Jambe nécessaire :  $H_{\max} = 0.88 \times L$  (d'après Warren, 1984).

**Largeur d'épaule.** En 1987, Warren et Whang s'intéresseront à une nouvelle affordance : le jugement visuel de passabilité d'une ouverture lors de la marche. Les auteurs s'attachent cette fois-ci à identifier le point de transition critique entre le maintien d'une marche constante compatible avec un passage de face à travers une ouverture de type « ouverture de porte » et l'amorçage d'une rotation des épaules afin d'assurer le franchissement sans collision. Percevoir l'affordance de passabilité revient à estimer sa faisabilité afin d'adapter son comportement au mieux, ce dernier ayant alors trois possibilités en fonction de la largeur de l'ouverture : (i) maintenir une allure de marche identique et traverser l'espace sans encombre, (ii) réorganiser son schéma moteur et engager une rotation des épaules afin de faciliter le passage, ou (iii) se détourner de la zone afin d'éviter la collision. Lorsque la largeur d'une ouverture diminue et tend à égaler la largeur des épaules du sujet, une modification du schéma moteur se produit alors, le sujet devant engager une rotation des épaules. Pour les auteurs, cette relation est décrite par l'expression d'un invariant défini comme le rapport de la largeur de l'ouverture sur la largeur des épaules (Warren et Whang, 1987), la largeur des épaules étant la dimension corporelle la plus large en moyenne chez l'homme. Cet invariant devra être supérieur à 1 afin d'assurer une marge de sécurité au sujet et présenter une variabilité intra-individuelle faible. La tâche consistera donc à simuler puis réaliser le passage à travers une ouverture dans le but

d'identifier cet invariant de passabilité. La dimension des segments corporels étant proportionnels chez l'homme, plus l'individu est grand et plus larges sont ses épaules. Deux groupes seront donc formés en tenant compte de la taille des sujets : petits *versus* grands.

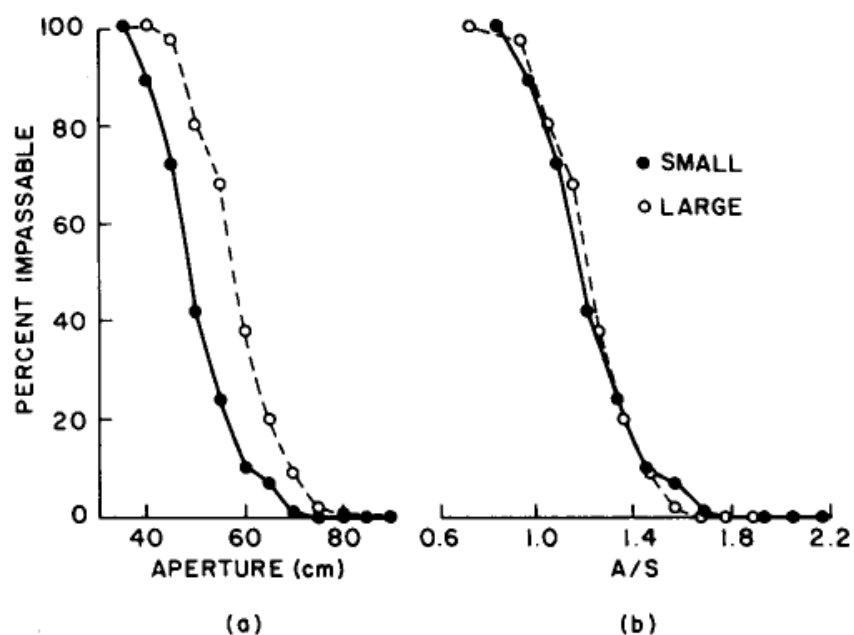
Les résultats montrent que l'ouverture critique permettant le passage réel sans rotation des épaules est plus large dans le groupe des grands. En revanche, cette différence entre les groupes disparaît lorsque l'on s'intéresse au ratio de passabilité ( $\pi$  = ouverture critique / largeur d'épaules), indiquant que les sujets quelle que soit leur taille possède un comportement similaire (figure 44). Le ratio avoisine la valeur 1,3 dans les deux groupes, soit une marge de sécurité d'environ 30% lorsque les participants doivent réellement effectuer l'action c'est-à-dire passer au travers des ouvertures.



**Figure 44.** Angle moyen de rotation des épaules lors d'une marche à vitesse normale en fonction de la largeur d'ouverture de la porte (a) et rapporté à la largeur des épaules (b) pour chaque groupe (petits versus grands ; d'après Warren et Whang, 1987).

S'agissant de la simulation d'action (dans la deuxième expérience de l'étude, les sujets devaient mentalement imaginer passer au travers de l'ouverture proposée mais sans faire réellement l'action), des résultats similaires sont observés, à savoir une ouverture critique permettant le passage plus large dans le groupe des grands et la disparition de cette différence lorsqu'on s'intéresse au ratio de passabilité ( $\pi$  = ouverture critique / largeur

d'épaules). Par ailleurs, le ratio dans l'ensemble de la cohorte avoisine la valeur 1,16, soit une marge de sécurité plus faible d'environ 16% (figure 45) que le ratio obtenu lorsque l'action est réellement exécutée (expérience 1 de l'étude). Cette plus grande précision du jugement est sans doute liée au fait qu'il s'agit d'une anticipation d'action. L'agent n'étant pas impliqué directement dans cette action, il s'octroie une marge de sécurité plus faible, les conséquences d'une erreur de prédiction (dire qu'il peut passer alors que l'ouverture est trop petite pour lui) n'ayant pas de conséquences dommageables (l'action n'est pas réellement faite).



**Figure 45.** Pourcentage moyen de passabilité en position statique en fonction de la largeur d'ouverture (a) et du rapport largeur d'ouverture sur largeur d'épaules (A / S) (b) d'après Warren et Whang, 1987.

D'autres études montreront que cet invariant possède un certain degré de plasticité. Lorsque les dimensions corporelles sont modifiées, soit par l'ajout d'un objet porté en latéral (Wagman et Taylor, 2005), soit lors de modifications physiologiques du corps (Franchak et Adolph, 2007), les sujets ajustent leur comportement en tenant compte de ces nouvelles dimensions. Ainsi, Franchak et Adolph (2007) ont proposé à des femmes enceintes de réaliser mensuellement une épreuve de passabilité, à partir du troisième mois de grossesse et ce jusqu'à un mois après l'accouchement. Face à une porte réglable située à 3 m de distance, les femmes devaient juger de la passabilité sans contact de l'ouverture. La taille de l'ouverture variait de 0 à 74 cm avec un incrément de 0,5 cm. Les participantes devaient



émettre leur jugement à mesure qu'elles approchaient de la porte. Soit le sujet tentait le passage, soit il refusait de passer et détournait alors sa trajectoire. Les auteurs mirent en évidence une augmentation des seuils de passabilité au fil de la grossesse et une forte diminution après l'accouchement. Les mécanismes sous-tendant cette adaptabilité du sujet restent néanmoins à élucider.

**Taille.** D'autres études se sont intéressées au franchissement en hauteur (Marcilly et Luyat, 2008 ; Malek et Wagman, 2008 ; Wagman et Malek, 2009 ; Stefanucci et Geuss, 2010). Là encore des invariants perceptifs tenant compte de la taille de l'agent permettrait d'estimer avec une certaine justesse la hauteur minimale d'une barre à franchir sans baisser la tête (figure 46). Les performances sont dépendantes de la vitesse de déplacement imaginé (la marche ou la course) pour le franchissement de barre (Wagman et Malek, 2009) et qui plus est lors de la réalisation du mouvement (van der Meer, 1997). Lors du franchissement dynamique d'une barre, l'agent commence à baisser la tête pour passer lorsque le ratio ( $\pi =$  hauteur de barre / taille de l'agent) est égal à 1,04, pour une marche à vitesse normale. On observe une augmentation de ce ratio lors de la course ( $\pi = 1,06$ ). Le port de chapeau ou de talons affecte également l'affordance (Stefanucci et Geuss, 2010). Il semble à l'issue de ces travaux que la hauteur des yeux soit également une variable à prendre en compte.

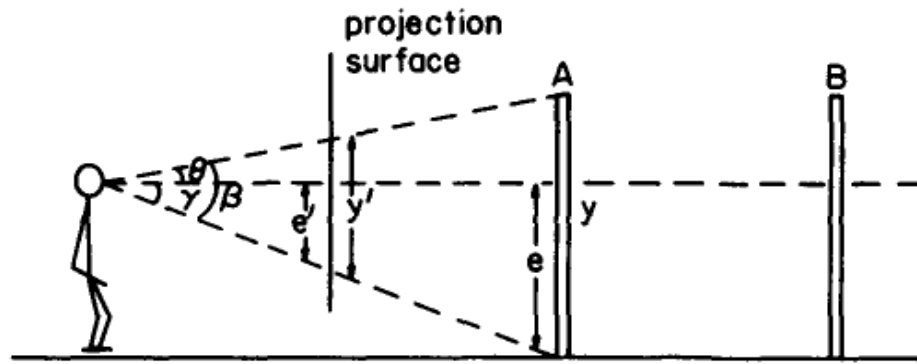


**Figure 46.** Dispositif expérimental de franchissement statique dans lequel les sujets doivent estimer à partir d'un point d'observation fixe s'ils pensent passer sans se pencher sous une barre dont la hauteur varie (d'après Marcilly et Luyat, 2008).

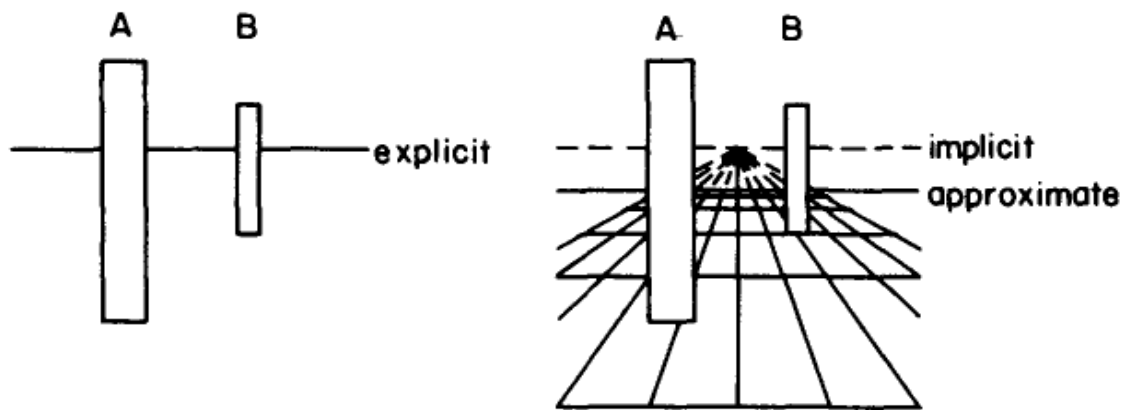
**Hauteur des yeux.** Les premiers à s'y être intéressé sont Gibson (1950), puis Warren et Whang (1987). D'autres études souligneront l'importance de la hauteur des yeux dans

l'estimation de la taille des objets (Bertamini et al., 1998 ; Wraga, 1999). Il semble que lorsque nous évaluons la taille d'un objet, nous tenons compte de l'angle visuel défini entre l'horizon et le point d'intersection de l'objet avec le sol ( $\gamma$ ) et l'angle visuel entre l'horizon et le haut de l'objet ( $\theta$  ; figure 47). La hauteur des yeux étant une constante propre à chaque individu, elle pourrait également être utilisée pour percevoir une affordance.

Pour ce faire, Warren et Whang (1987) proposent de faire varier, à l'insu du sujet, la hauteur du sol (expérience 3 de l'étude). Le jugement de passabilité d'une ouverture est alors étudié en fonction de la hauteur des yeux par rapport au sol. Les résultats mettent en évidence une surestimation de la largeur des ouvertures lorsque la hauteur des yeux par rapport au sol est accrue. Cependant, l'étude du ratio défini par le rapport entre l'ouverture critique et la hauteur effective des yeux fait disparaître cette différence. Selon toute vraisemblance deux invariants influenceraient donc l'affordance de passabilité : le rapport entre la hauteur des yeux et le seuil critique de passabilité d'une part et le rapport entre la largeur des épaules et le seuil critique de passabilité d'autre part.



(a)



(b)

(c)

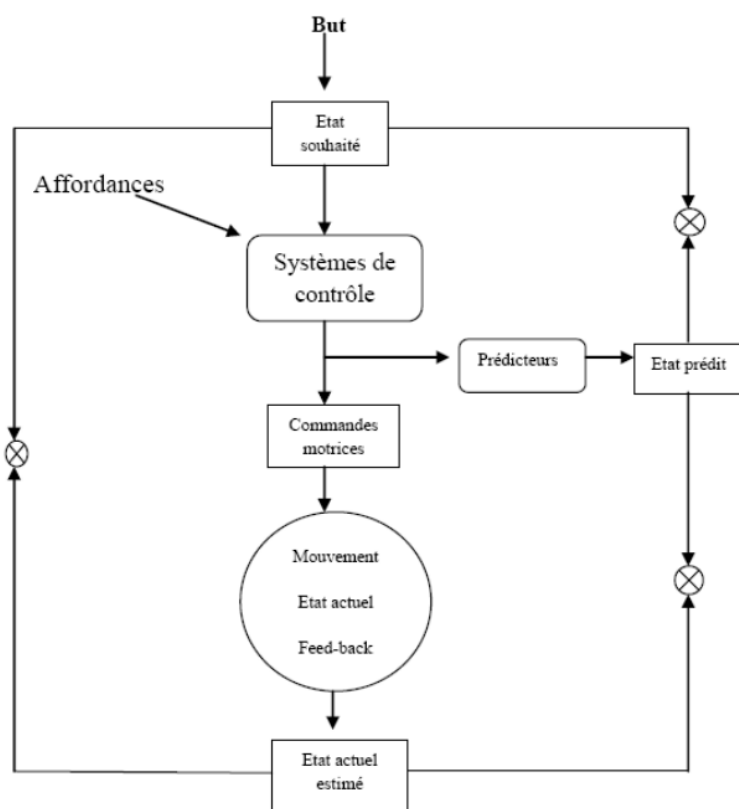
**Figure 47.** Influence de la hauteur des yeux sur la mise à l'échelle des objets observés. (a) : la hauteur apparente de l'objet est fonction de la partie de l'objet apparaissant sous la hauteur des yeux. Le rapport entre hauteur de l'objet ( $y$ ) et hauteur des yeux ( $e$ ) est équivalent au rapport de la hauteur projetée de l'objet ( $y'$ ) avec la partie de la hauteur projetée placée sous la hauteur des yeux ( $e'$ ). Le rapport est le même pour un objet B identiques à une distance différente. (b) : quelle que soit la distance à laquelle on place l'objet de l'observateur, il sera toujours coupé par l'horizon dans les mêmes proportions, ainsi les hauteurs de A et B sont toutes les deux égales à 1,5 fois la hauteur des yeux et leur hauteur à 0,25 fois la hauteur des yeux. (c) : horizons estimée et implicite. L'emplacement de l'horizon vrai est donné par la limite de convergence entre texture optique et texture sur le terrain, semblable à la hauteur du point de fuite dans la perspective linéaire (d'après Warren et Whang, 1987).

### 3.1.4. De la théorie écologique aux sciences cognitives

**Base neurale des affordances.** La manipulation d'objets dépend du fonctionnement d'un large réseau frontopariétal. Au-delà de leur implication dans l'exécution des actions, les neurones des régions prémotrices et pariétales de ce réseau auraient des propriétés particulières qui leur permettraient d'être activés en dehors de toute action réelle (Rizzolatti et al., 1988 ; Jeannerod et al., 1995). Tout d'abord, le système visuomoteur aurait pour rôle de coder les transformations visuo-motrices nécessaires à l'exécution du geste, la représentation interne de cette action (Jeannerod, 1994 ; Rizzolatti et Fadiga, 1998). Pour cela, certaines populations de neurones visuo-moteurs dits « canoniques » des cortex préfrontal et pariétal seraient activées dès lors que la potentialité d'action (i.e. l'affordance) est reconnue, c'est-à-dire lorsqu'un objet potentiellement manipulable est détecté, ceci avant même qu'une action ne soit effectivement réalisée (Murata et al., 1997 ; Fadiga et al., 2000). En effet, lors de la présentation d'un outil, la simple vision de l'objet active le cortex prémoteur et le cortex pariétal postérieur, principalement dans l'hémisphère gauche (Chao et Martin, 2000). Ces activations frontopariétales sont le plus souvent associées à l'activation de régions temporo-occipitales, notamment du gyrus temporal moyen postérieur, de la partie médiale du gyrus fusiforme et de la jonction occipito-temporale (Chao et al., 1999).

Un deuxième type de neurones, appelés neurones-« miroirs », s'activeraient lors d'actes moteurs spécifiques dirigés vers un but (Gallese et Goldman, 1998), que le sujet soit acteur ou observateur de cette action. C'est ainsi que des neurones de saisie avec la main ou avec la bouche ont entre autres pu être identifiés (Rizzolatti et al., 1988). Initialement découverts chez le macaque (di Pellegrino et al., 1992), ces neurones miroirs semblent être également présents dans le cerveau humain, en particulier au niveau de la pars opercularis de la partie dorsale du gyrus frontal inférieur et au niveau du gyrus supramarginal de la partie rostrale du lobule pariétal inférieur (Iacoboni et Dapretto, 2006). En l'absence d'action réelle, le système visuomoteur peut donc être recruté à partir d'informations de nature perceptive, qu'il s'agisse d'un objet manipulable (neurones canoniques) ou d'une action (neurones miroirs). Ainsi, bien que controversée par l'approche cognitiviste, la théorie écologique semble en partie vérifiée par la mise en évidence de neurones sensibles aux potentialités d'action.

**Place des affordances dans le contrôle moteur.** Pour Garbarini et Adenzato (2004), une troisième composante doit être intégrée dans la boucle perception-action : la simulation de l'action. Comme nous l'avons vu, lors de l'observation d'un objet, le système cérébral est activé comme si l'observateur interagissait déjà avec cet objet. Ce concept de simulation permet de mieux comprendre le lien entre le contrôle et la représentation de l'action. En examinant le concept d'affordance en termes de schéma de simulation basé sur les neurones canoniques, une partie de la théorie écologique se voit remise en cause. Alors que Gibson conçoit les processus cognitifs comme la perception directe des affordances offertes par un objet (1979), l'hypothèse de schémas de simulation met en avant le rôle de l'anticipation dans la construction de l'objet perceptuel et donc d'un point de vue cognitiviste de « représentation » mentale. Un dialogue s'instaure dès lors entre la représentation de l'objet et la simulation de l'action qui lui est associée (Gallese, 2007). Frith et ses collaborateurs (2000) proposeront un modèle permettant d'intégrer les affordances dans le contrôle moteur (figure 48).



**Figure 48.** Les composants du système de contrôle moteur inspiré des principes d'ingénierie (d'après Frith et al., 2000).

Sur la base de ce modèle (Frith et al., 2000), une simple action impliquera donc les étapes suivantes. Les souhaits et les buts attendus seront utilisés pour formuler l'état désiré (i.e. objectif instantané) du système. Des systèmes de contrôle permettront de générer des commandes motrices appropriées en tenant compte de la différence existant entre l'état actuel du système et le résultat désiré. Un ensemble de calculs sera effectué par ces mêmes systèmes de contrôle et qui visera à affiner la séquence motrice par la prise en compte du contexte dans lequel l'action est en cours. Par exemple, si l'action nécessite la saisie d'un objet, la connaissance de la forme et la position de l'objet fournira une affordance qui permettra de préciser les commandes motrices les plus appropriées (Greeno, 1994). Une fois la commande motrice générée, les prédicteurs estimeront l'état attendu du système à l'issue de cette action. Par la suite ou de manière concomitante, l'action est effectuée. Une nouvelle estimation de l'état du système peut être effectuée, celle-ci tiendra compte non seulement de la commande motrice employée mais également du *feedback* sensoriel. En cas de divergence entre le résultat obtenu et les résultats prédit ou désiré, un réajustement peut dès lors avoir lieu via les contrôleurs et les prédicteurs. Les représentations corporelles de premier ordre se trouvent être systématiquement interrogées lors de ces phases de contrôle et de prédiction.

### **3.1.5. Pertinence du paradigme d'anticipation d'action dans l'exploration du schéma corporel**

L'imagerie motrice consiste donc en la simulation mentale d'une action sans exécution réelle (Jeannerod, 2006). Les tâches faisant appel à une telle opération ont été fréquemment utilisées pour étudier la génération d'un plan moteur en l'absence de rétroaction sensorielle (Lotze et Halsband, 2006). Cette approche repose sur l'idée que l'imagerie motrice implique une planification intégrale de l'action dépourvue de toute commande effectrice (Jeannerod, 2006). Il a été démontré que l'état actuel de son propre corps influençait ces performances d'imagerie motrice (Parsons, 1994 ; Sirigu et Duhamel, 2001 ; Shenton et al., 2004 ; de Lange et al., 2006). De même, bien qu'à des niveaux d'intensité d'activation différents, l'imagerie, la préparation, et la réalisation de l'action partagent les mêmes corrélats cérébraux et physiologiques (Lang et al., 1994 ; Stephan et al., 1995 ; Porro et al., 1996 ; Roth et al., 1996 ; Deiber et al., 1998).

C'est dans ce contexte et après avoir découvert les potentialités d'action infinies qui nous sont offertes par notre environnement (Gibson, 1979), que nous nous sommes intéressés à l'implication du schéma corporel dans de telles opérations. Rappelons ici la définition qu'Ajuriaguerra (1970) en faisait : *« édifié sur les impressions tactiles, kinesthésiques, labyrinthiques et visuelles, le schéma corporel réalise dans une construction active constamment remaniée des données actuelles et du passé, la synthèse dynamique, qui fournit à nos actes, comme à nos perceptions, le cadre spatial de référence où ils prennent leur signification »*.

Plusieurs situations physiologique et pathologique ont été étudiées au moyen de paradigmes expérimentaux d'imagerie motrice tels que la passabilité. Parmi les modèles physiologiques étudiés, la grossesse en constitue un de choix en ceci qu'elle s'accompagne d'un constant remaniement du schéma corporel. Les femmes enceintes subissent tout au long de la grossesse d'importants remaniements de la métrique : largeurs d'épaule et de hanche, périmètre abdominal... Rappelons que lors d'une tâche d'imagerie motrice, les participantes alors enceintes avaient pu juger de la passabilité sans contact de différentes ouvertures (Franchak et Adolph, 2007). Les seuils de passabilité avaient augmenté à mesure que la grossesse avançait puis avaient fortement diminué après l'accouchement. Ces seuils étaient fortement corrélés aux dimensions du corps : abdomen, poitrine et hanches. Toutefois, les sujets surestimaient leur capacité, en essayant de passer à travers des ouvertures légèrement plus petites que leurs seuils d'affordance.

Des perturbations des processus d'anticipation et de réalisation d'une épreuve de passabilité ont également pu être observées en situation pathologique. Ce fut notamment le cas pour des sujets souffrant de maladie de Parkinson (MP ; Almeida et Lebold, 2010 ; Cohen et al., 2011). La MP est une maladie neurologique chronique dégénérative affectant le système nerveux central responsable de troubles essentiellement moteurs d'évolution progressive. Ses causes restent mal connues. Le tableau clinique est la conséquence de la perte de neurones du locus niger (ou « substance noire ») et d'une atteinte des faisceaux nigro-striés. La maladie débute habituellement entre 45 et 70 ans. Parmi les symptômes, on observe un ralentissement des mouvements (également appelé bradykinésie). Les mouvements sont difficiles à initier, avec des hésitations au moment du démarrage. De ce fait, le nombre de mouvements effectués par le patient tend à diminuer : sa marche est lente et à petits pas, son visage est impassible, il cligne moins souvent des yeux et son regard

est relativement fixe. Il a du mal à effectuer les tâches qui exigent une certaine dextérité : boutonner un vêtement, se raser, nouer ses lacets, etc. Les mouvements peuvent temporairement devenir impossibles (akinésie).

Un des symptômes caractéristiques de la maladie de Parkinson est le *freezing of gait* (FoG) qui se caractérise par une immobilité soudaine et brève (quelques secondes à quelques minutes), habituellement accompagnée d'un piétinement sur place, les pieds restant collés au sol. Ce symptôme est une cause importante de chutes et de limitation de la mobilité (Hely et al., 2008). L'étiologie du FoG est méconnue. Il peut être déclenché par des facteurs cognitifs (distraction, anxiété...) ou moteurs (lancement d'une démarche, rotation, passage par une portes ou un espace confiné) (Bloem et al., 2004).

Il a été suggéré que le FoG serait lié à une difficulté des patients à juger de la passabilité d'une ouverture (Almeida et Lebold, 2010). Une première étude de passabilité avait révélé que les sujets souffrant d'une maladie de Parkinson dont l'expression clinique était principalement portée sur l'hémicorps gauche (cerveau droit) avaient besoin d'une plus grande ouverture à gauche que les sujets sains ou que les sujets parkinsoniens dont le déficit était principalement porté sur l'hémicorps droit (cerveau gauche) (Lee et al., 2001). Les auteurs concluaient à une réduction de l'espace visuel péripersonnel.

Il est également possible que les sujets présentent de plus grande difficultés à planifier et monitorer certaines séquences d'actions (Ivanenko et al., 2011). Comme nous l'avons vu, simuler une action active un vaste réseau neuronal dont l'aire motrice supplémentaire (Roland et al., 1980). Parmi les connections d'amont de l'aire motrice supplémentaire, on retrouve les noyaux gris centraux que l'on sait être dysfonctionnels dans la maladie de Parkinson (Jacobs et al., 2009 ; Roland et al., 1980). Il ne serait donc pas étonnant que l'imagerie motrice puisse être également affectée.

Récemment, Cohen et ses collaborateurs (2011) ont voulu évaluer ces deux hypothèses au moyen de deux paradigmes expérimentaux. Lors d'une épreuve de passabilité, des sujets sains et des sujets atteints de la MP (avec ou sans FoG) devaient juger de la passabilité d'ouvertures de porte de différentes largeurs. En cas d'atteinte du schéma corporel, une surestimation du seuil de passabilité était alors attendue. Dans un deuxième temps, une épreuve d'imagerie mentale était proposée. Les participants devaient se chronométrer alors qu'ils imaginaient franchir ces mêmes ouvertures à des distances variables. La durée de simulation était alors rapportée à celle de la marche effective. En cas d'atteinte de la



capacité de simulation, une baisse de performance aurait alors du être observée. Les résultats montraient une baisse de performance dans les deux tâches. En effet, le seuil de passabilité rapporté par les sujets parkinsoniens était significativement supérieur aux sujets témoins, que les sujets présentent ou non un FoG. Lors de la tâche de simulation d'action, l'ensemble des participants augmentaient leur temps de passage pour les portes les plus étroites. Toutefois, les sujets parkinsoniens avec FoG marchaient beaucoup plus lentement que les autres et présentaient une grande divergence entre le temps réel et simulé (Cohen et al., 2011). Ces résultats viennent confirmer ceux de Almeida et Lebold (2010) qui retrouvaient une perturbation de la simulation d'action et notamment lorsque celle-ci impliquait le schéma corporel.

Nous avons donc souhaité étudier les processus d'anticipation et de réalisation d'une épreuve de passabilité dans un contexte pathologique différent. Comme nous l'avons mentionné précédemment, les patientes souffrant d'AM ont une perception de leur propre corps profondément altérée, celles-ci se percevant plus grosses qu'elles ne le sont en réalité (Gardner et al., 1999 ; Skrzypek et al., 2001). Nous souhaitons donc évaluer le retentissement d'un tel biais sur l'action.

### **3.1.6. Utilisation d'une tâche d'imagerie motrice impliquant les dimensions du corps pour évaluer l'implication du schéma corporel dans l'anorexie mentale**

Comme nous l'avons vu précédemment dans le premier chapitre, cette perturbation du schéma corporel pourrait être liée à un dysfonctionnement du cortex pariétal droit (Kinsbourne et Bemporad, 1984 ; Grunwald et al., 2001 ; Wagner et al., 2003 ; Nico et al., 2010). À ce titre, une diminution du débit sanguin régional a été observée dans le lobe pariétal droit de patientes souffrant d'anorexie mentale lors de période de restriction (Komatsu et al., 2010). Ce dysfonctionnement pariétal droit est à l'origine d'une variété d'expériences corporelles anormales, telles que la négligence, ou l'anosognosie. Dans le cas de l'anorexie mentale, rappelons que Kinsbourne et Bemporad évoqueront même l'existence d'une «négligence anorexique» (1984), laquelle a été soutenue par Nico et al. (2010) qui ont récemment comparé les résultats comportementaux de sujets sains, de patients souffrant d'anorexie mentale et de patients héminégligents. La tâche consistait en un pointage laser, les participants devant alors prédire si le stimulus allait toucher ou

manquer leur corps, s'il avait poursuivi son mouvement de façon linéaire. Les patientes anorexiques sous-estimaient la partie gauche de leur corps, à l'image des patients hémipariétaux atteints de lésions du lobe pariétal droit. Pour les auteurs, les résultats reflètent un dysfonctionnement des boucles cortico-sous-corticales impliquées dans la représentation du corps.

Dans la continuité de ces travaux, nous souhaitons évaluer si ce dysfonctionnement du cortex pariétal pouvait avoir des répercussions sur l'anticipation d'une action impliquant le schéma corporel. Lors de notre première étude, 50 participantes (25 sujets souffrant d'anorexie mentale et 25 sujets contrôles) ont été invitées à juger de la passabilité d'ouvertures de plus ou moins grande taille (Article 3).

Il s'agissait d'une méthode de présentation psychophysique aléatoire. Des ouvertures simulant un passage d'écart variables (de 30 cm à 80 cm avec un pas de 1 cm, soit 51 ouvertures différentes) étaient « vidéo-projetées » sur un mur, selon un ordre aléatoire (ordre aléatoire entre les séries et au sein de chaque série). De manière à conserver des dimensions écologiques de présentation, le vidéo projecteur était placé à une distance de 5,5 m. Quatre séquences, chacune constituée de 51 projections, se succédèrent. À chaque présentation d'une ouverture, le sujet, placé à une distance de 5,9 m, devait juger verbalement, sans faire réellement l'action, si l'ouverture présentée lui permettait le passage sans rotation des épaules ou du corps (figure 49). La variable de traitement était le seuil perceptif (ouverture minimale critique de « passabilité »), correspondant à l'ouverture pour laquelle nous obtenions 50% de réponse positive.



**Figure 49.** Schéma du dispositif expérimental de la tâche d'imagerie motrice.

Nous avons mis en évidence une perturbation de l'anticipation de l'action chez les patientes atteintes d'anorexie mentale. Non seulement les patientes se représentent comme étant plus grosses, mais elles semblent également agir comme tel. Ces résultats sont en adéquation avec les plaintes cliniques des patientes qui se perçoivent bien souvent comme plus grosses qu'elles ne le sont en réalité. Afin d'étudier la relation existant entre les performances d'imagerie motrice et les préoccupations corporelles relevées dans le groupe anorexie mentale, une analyse de corrélation fut réalisée et a permis de mettre en évidence une corrélation positive et significative avec les différents scores de préoccupations corporelles (BSQ, EDI-2), ainsi que la durée d'évolution des troubles. La question de la valeur pronostique de telles perturbations se pose dès lors. Il est notamment possible que de tels comportements viennent renforcer de fausses croyances s'agissant des dimensions du corps, et venir renforcer du même coup les velléités de maigrir et les restrictions alimentaires.

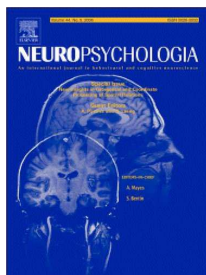
Prédire les effets des actions est une fonction cérébrale cruciale pour optimiser les décisions motrices (Wolpert et al., 1995). De même, sa réalisation vient confirmer ou infirmer cette prédiction et actualiser l'état du système (Frith et al., 2000). Le schéma corporel est donc mis à jour sur la base d'informations afférentes et efférentes. Celui-ci se base à la fois sur les afférences somesthésiques, visuelles et les efférences motrices de son corps (Warren et Whang, 1987 ; Higuchi et al., 2006). Comme mentionné précédemment, les personnes souffrant d'AM présenteraient une perturbation des informations afférentes quelles soient proprioceptives (Keizer et al., 2011 ; Keizer et al., 2012) ou visuelles (Eshkevari et al., 2012). La question reste entière s'agissant des efférences motrices. Il est en effet possible que le fait d'effectuer une action entraîne un réajustement du schéma corporel et que le trouble du schéma corporel observé n'ai *in fine* pas d'impact sur le corps en mouvement. Afin de poursuivre notre réflexion, nous avons souhaité confronter nos premiers résultats en situation d'action réelle.

## Article 3

### **Anticipation of Body-Scaled Action is Modified in Anorexia Nervosa**

**Guardia D**, Lafargue G, Thomas P, Dodin V, Cottencin O, Luyat M

*Neuropsychologia* 2010; 48(13):3961-6.



### 3.2. Anticipation et réalisation d'action altérées dans l'anorexie mentale

L'étude précédente a permis de mettre en évidence une perturbation de l'imagerie motrice (jugement de passabilité d'une ouverture) en lien avec une perturbation du schéma corporel. Les patientes souffrant d'anorexie mentale se percevant plus larges qu'elles ne le sont en réalité et anticipent l'action comme telle.

Cette tâche d'imagerie motrice nous semblait pertinente dans la mesure où action et simulation d'action partagent les mêmes corrélats cérébraux et physiologiques (Lang et al., 1994 ; Stephan et al., 1995 ; Porro et al., 1996 ; Roth et al., 1996 ; Deiber et al., 1998). Nos résultats confirmaient par ailleurs l'idée selon laquelle l'état actuel de son propre corps influencerait la performance imagerie motrice (Parsons, 1994 ; Sirigu et Duhamel, 2001 ; Shenton et al., 2004 ; de Lange et al., 2006).

Prédire les effets des actions est une fonction cérébrale cruciale pour optimiser les décisions motrices (Wolpert et al., 1995). Nous souhaitions donc poursuivre cette étude par la réalisation d'une tâche motrice. En effet, dans un fonctionnement normal, le schéma corporel est mis à jour sur la base d'informations afférentes et efférentes. Celui-ci se base à la fois sur les afférences somesthésiques, visuelles et les efférences motrices de son corps (Warren et Whang, 1987 ; Higuchi et al., 2006). Comme mentionné précédemment, les personnes souffrant d'AM présenteraient une perturbation des informations afférentes quelles soient proprioceptives (Keizer et al., 2011 ; Keizer et al., 2012) ou visuelles (Eshkevari et al., 2012). La question reste entière s'agissant des efférences motrices. Il est en effet possible que le fait d'effectuer une action entraîne un réajustement du schéma corporel et que le trouble du schéma corporel observé n'ai *in fine* pas d'impact sur le corps en mouvement.

Afin de poursuivre notre réflexion, nous avons souhaité confronter nos premiers résultats en situation d'action réelle. Il s'agissait cette fois d'utiliser un matériel identique pour les deux types de tâches : simulation d'action et action réelle. Nous avons donc conçu un protocole en trois parties. Dans un premier temps, les participants devaient réaliser une tâche d'imagerie motrice de passabilité, en situation écologique. Dans un second temps, était réalisée une tâche motrice de passage réel.

### 3.2.1. Matériel et méthode

**Déclaration éthique.** Cette étude répondait aux principes de la Déclaration d'Helsinki et fut approuvée par un comité d'éthique indépendant (Rickham, 1964). Chaque participant recevait une fiche d'information et devait donner son consentement écrit avant toute participation. Le consentement parental était nécessaire pour les participants âgés de moins de 18 ans.

**Participants.** Lors de cette étude 22 jeunes participants de sexe féminin furent recrutées (7 patientes souffrant d'AM rencontrées lors de leur séjour dans le service d'addictologie du CHRU de Lille et 15 sujets sains étudiant à l'université Lille II). Les deux groupes ont été appariés pour l'âge. L'évaluation clinique préalable des participantes n'a pas révélé de déficience perceptuelle, attentionnel ou intellectuelle. Les patientes présentaient les critères diagnostiques d'AM précisés dans le DSM IV-TR (American Psychiatric Association, 2000). Un entretien semi-structuré a été réalisé avant l'inclusion à l'aide du *Mini-International Neuropsychiatric Interview* (Sheehan et al., 1998), confirmant l'absence de comorbidité dans les deux groupes. Les sujets contrôles avaient tous un IMC normal, compris entre 18,5 et 25 kg/m<sup>2</sup>. Compte tenu de leur faible prévalence et du taux élevé de comorbidités psychiatriques dans cette population, les hommes furent exclus de l'étude, de même que les personnes ayant des antécédents de troubles neurologiques, ophtalmologiques, ostéoarticulaires ou bénéficiant d'un traitement psychotrope.

**Evaluation morphologique et psychométrique.** La mesure de la taille, de la largeur d'épaule et du poids était standardisée. L'intensité du trouble du comportement alimentaire et les préoccupations corporelles ont été évalués à l'aide du Body Shape Questionnaire (BSQ) et de l'Eating Disorder Inventory-2 (EDI-2). Le BSQ est un auto-questionnaire (Cooper et al., 1987), composé de 34 items, qui évalue l'intensité des préoccupations corporelles au cours des 4 dernières semaines. La cotation des items est faite selon une échelle de Likert de 6 points (un score de 0 signifie que la préoccupation n'est pas présente et 5 signifie qu'elle est toujours présente). L'EDI-2 se compose de 11 sous-échelles mesurant les caractéristiques psychologiques communément associés aux troubles alimentaires (Garner, 1991). Cet auto-questionnaire est constitué de 91 items dans la cotation est faite également à l'aide d'une échelle de Likert de 1 (jamais) à 6 (toujours).

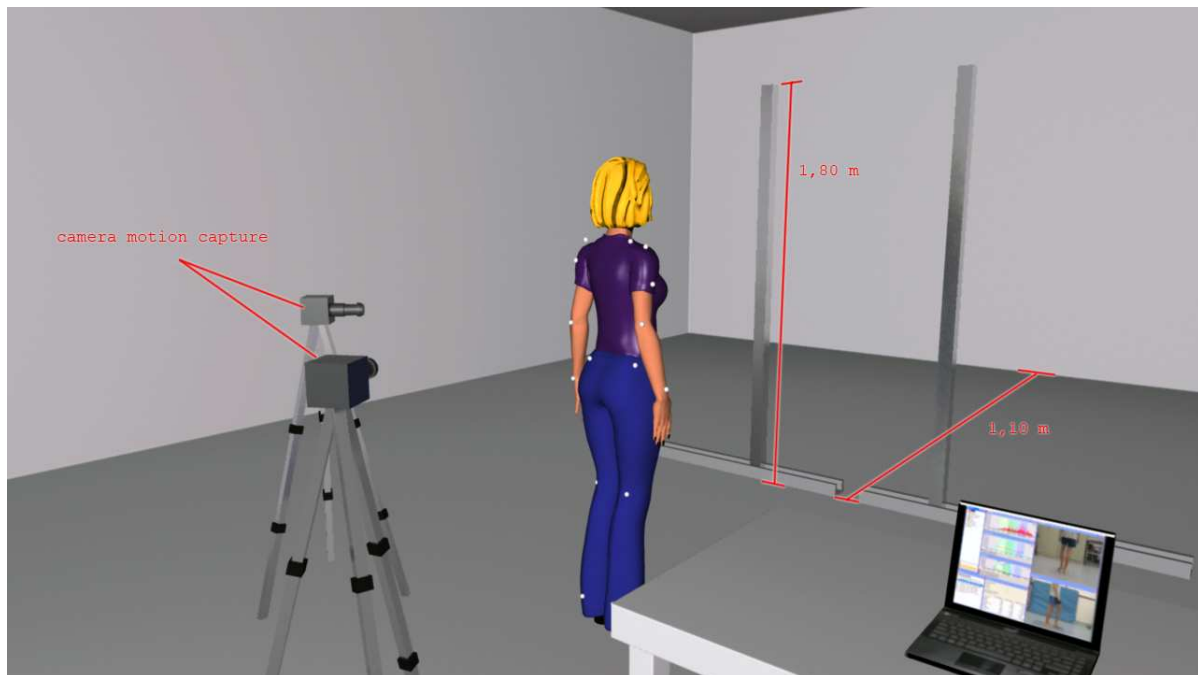
L'évaluation du biais de surestimation corporelle était réalisée au moyen d'une échelle de silhouettes adaptée du *Contour Drawing Rating Scale* (CDRS) de Thompson et Gray (1995). Les mesures ont été effectuées grâce à une version informatisée, constitué de neuf silhouettes photographiées et non plus dessinées, allant d'un IMC de 12 à 23 (figure 50). Pour chacune des silhouettes, le sujet devait dire si son corps était plus gros, plus mince ou de la même taille que celui de la photo. Nous obtenions ainsi un IMC estimé duquel l'on soustrayait l'IMC réel. La différence obtenue correspondait à l'indice de surestimation corporelle.



**Figure 50.** Echelle de silhouettes en fonction de l'indice de masse corporelle.

**Epreuve d'anticipation d'action.** Dans la première partie de l'expérience, les sujets réalisait une tâche d'imagerie motrice : jugement de passabilité. Le sujet se plaçait debout face à deux barres métalliques, à une distance de 4 mètres. La largeur de l'ouverture dans laquelle les sujets devaient passer, ou s'imaginer passer, était matérialisée par deux barres métalliques, mesurant 180 cm de hauteur, soutenues par des équerres au sol et lestées (figure 51). L'augmentation ou la diminution de l'écart entre les barres était symétrique, avec une variation de 1 cm de part et d'autre du point médian. L'expérimentateur faisait varier la taille de l'ouverture de la porte de 36 à 78 cm avec un pas de 2 cm (2 séries croissantes et 2 décroissantes en alternance). Pour chaque ouverture, la participante fermait les yeux pendant que l'expérimentateur modifiait la distance entre les barres, afin que le sujet ne puisse tenir compte de la taille du corps de l'examineur pour émettre un jugement sur la taille de l'ouverture. Une fois les yeux ouverts, le sujet devait dire si «oui» ou «non», il pouvait passer à travers cette ouverture. La consigne était la suivante : « *Imaginez que vous marchez à vitesse normale en direction de l'ouverture. Est-ce que vous pourriez passer à travers cette ouverture sans ralentir, sans avoir à tourner, ni à resserrer les*

épaules ? ». L'ouverture critique était définie par le seuil critique de changement de réponse (deux réponses successives opposées aux précédentes). Ainsi, si le sujet répondait « oui » pour 54cm, « non » pour 52, et « non » pour 50 cm, l'ouverture critique pour cette série était définie par la moyenne entre 52 et 54, soit 53 cm.



**Figure 51.** Dispositif expérimental pour l'épreuve d'anticipation et de réalisation d'action : passage à travers une ouverture.

**Epreuve motrice.** Dans la seconde partie de l'expérience, les sujets effectuaient l'action de passer à travers l'ouverture. Celle-ci était réalisée après la tâche de perception, pour éviter que l'expérience du passage réel n'influe sur le jugement perceptif. Le sujet était équipé de deux réflecteurs : un à l'extrémité de l'épaule gauche, l'autre à l'extrémité de l'épaule droite, ceci afin de pouvoir suivre le mouvement des épaules grâce au logiciel SIMI Motion Capture 3D (SimiMotion<sup>®</sup>). Le sujet se plaçait, de la même façon qu'en condition perceptive, debout face aux deux barres métalliques, à une distance de 4 mètres (figure). L'expérimentateur faisait varier la taille d'ouverture de la porte de 36 à 78 cm avec un pas de 2cm (1 série croissante et 1 décroissante). Seules deux séries étaient réalisées en condition action, car il s'avère que l'ouverture critique est plus stable d'un essai à l'autre pour la condition en passage réel que lors de la tâche d'imagerie motrice. Le sujet fermait également les yeux lors de l'ajustement des barres. L'expérimentateur enregistrait la séquence vidéo sur le logiciel SIMI Motion Capture 3D (SimiMotion<sup>®</sup>) pour chacune des



ouvertures proposées. La consigne était la suivante : « *Allez-y, avancez à marche normale, le plus naturellement possible, sans ralentir, passer entre les barres métalliques et allez jusqu'au mur* ». Dans cette condition, nous ne précisons pas au sujet qu'il ne devait pas tourner les épaules et changer la vitesse de son pas. En effet, nous savons que la vitesse est aussi une variable d'ajustement du corps en action, à l'approche d'une ouverture, et que celle-ci dépend aussi du schéma corporel (Wilmot et Barnett, 2010). Nous avons donc voulu contrôler cette variable puisque nous ne mesurons pas la vitesse des participants à l'approche de l'ouverture. En effet, seul l'angle de rotation des épaules nous a servi pour déterminer l'ouverture critique. Celle-ci était considérée comme l'écart entre les barres pour lequel un angle significatif, entre les épaules et le plan XZ, se forme, soit un angle entre les épaules et la porte représentée par les barres métalliques.

Pour chaque ouverture, nous calculions la moyenne, l'angle maximum et l'écart moyen de la série d'angle extraite. Etant donné que la vitesse des pas selon les sujets et les ouvertures varient sans cesse, le nombre d'angles extraits par ouverture, entre le départ et le passage de l'ouverture, n'était pas toujours le même. Nous avons donc dû trouver un indice qui permette d'éviter les faux positifs (dire que le sujet a effectué une rotation d'épaule alors que ce n'est pas le cas), comme les faux négatifs (dire que le sujet n'a pas tourné les épaules alors qu'en réalité il y a bien eu un angle). Par exemple, si nous nous contentions de prendre en compte la moyenne de la série d'angle, nous n'aurions pas pu rendre compte de la rotation pourtant réelle des épaules du sujet pour les ouvertures où nous constatons une valeur d'angle très élevée, mais unique. Pour signifier l'angle représentatif d'une série, nous avons donc retenu l'indice suivant : angle maximum de la série – écart moyen.

Afin de valider cette méthode d'évaluation de l'ouverture critique, deux observateurs ont estimé l'ouverture critique, en aveugle et séparément, et ce pour chaque sujet. Nous avons obtenu un coefficient de corrélation de 0.98 entre les données extraites par les deux expérimentateurs ( $ddl=22$  ; seuil de significativité à 0.05), soit un très fort coefficient de fidélité entre ces deux évaluateurs. Ceci nous a permis de valider notre méthode de traitement des données. Pour chaque sujet, nous obtenions deux ouvertures critiques (condition ascendante et descendante) à partir des graphiques. Nous pouvions alors calculer une moyenne à partir de ces deux valeurs. C'est cette ouverture critique moyenne que nous avons rapporté à la largeur des épaules des participantes.

**Matériel employé.** Le logiciel d'analyse du mouvement était SIMI Motion Capture 3D (SimiMotion<sup>®</sup>). Il s'agit d'un logiciel permettant l'enregistrement et l'analyse écologique en trois dimensions du mouvement humain, grâce à un dispositif comprenant deux caméras. L'espace de travail défini, c'est-à-dire l'espace dans lequel les mouvements vont être enregistrés était un parallélépipède rectangle de 90 cm de longueur, 80 cm de largeur et 170 cm de hauteur en amont de la porte, définie par deux barres verticales. Cet espace devait être calibré pour que le logiciel puisse ensuite analyser le mouvement des sujets, en ayant intégré les dimensions réelles de cet espace.

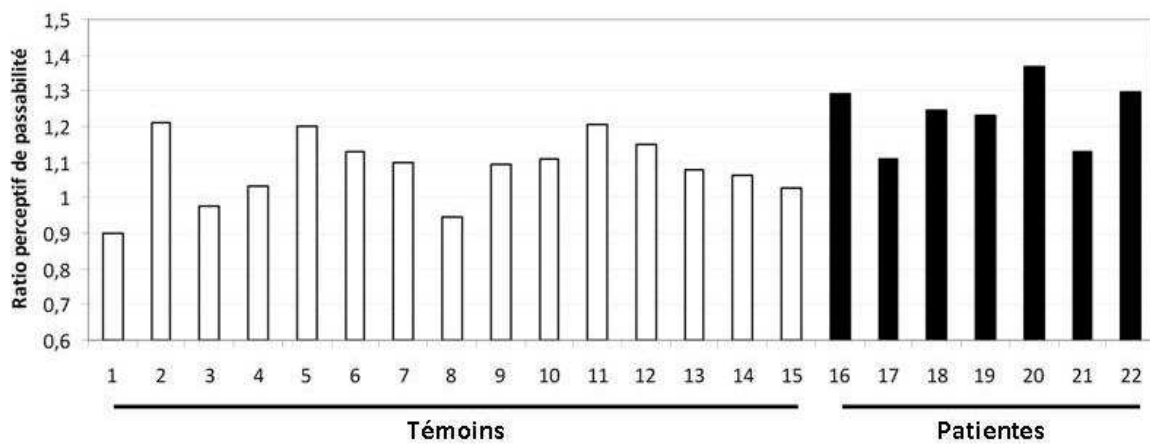
Le système de calibration que nous avons conçu était composé de trois axes définis par X (largeur), Y (profondeur) et Z (hauteur) formant entre eux un angle droit. Une capture vidéo de cet espace était réalisée. Durant cet enregistrement, nous déplaçons une barre verticale comportant deux réflecteurs de lumière, nous la maintenons perpendiculaire au sol, le long de 9 points dont nous avons préalablement mesuré les coordonnées X, Y et Z avec une origine arbitrairement choisie. La calibration était effectuée à l'aide des 18 points (9 positions au sol x 2 capteurs sur la barre), ceci pour les deux caméras gauche et droite (calibrage 3D). Le calibrage était réalisé avant chaque passation.

### 3.2.2. Résultats et discussion

**Données cliniques.** La moyenne (moy) d'âge dans le groupe AM était de 25,29 ans (déviatoin standard DS=13,15), contre 24,60 ans (DS=7,73) dans le groupe contrôle (U=38,50 ; Z=0,99 ; p=0,32). Nous n'avons pas observé de différence significative entre le groupe AM et le groupe contrôle pour la taille : moy<sub>AM</sub> = 1,66 m ± 0,06 *versus* moy<sub>C</sub> = 1,67 m ± 0,08 (t=0,19 ; ddl=20 ; p=0,85). Le poids et l'IMC étaient plus faibles dans le groupe AM : moy<sub>AM</sub> = 40,24 kg ± 3,8 *versus* moy<sub>C</sub> = 61,52 kg ± 8,69 (U=0 ; Z=3,70 ; p<0,001) et moy<sub>AM</sub> = 14,68 kg/m<sup>2</sup> ± 1,7 *versus* moy<sub>C</sub> = 22,2 kg/m<sup>2</sup> ± 2,83 (U=0 ; Z=3,70 ; p<0,001). De même, la largeur d'épaule était significativement inférieure chez les patientes : moy<sub>AM</sub> = 36,52 cm ± 1,41 *versus* moy<sub>C</sub> = 40,73 cm ± 3,11 (U= 9,5 ; Z= 3,04 ; p<0,001). Le score total à l'EDI-2 était significativement plus élevé chez les patientes : moy<sub>AM</sub> = 102,42 ± 39,87 *versus* moy<sub>C</sub> = 36,27 ± 17,99 (t=-5,45 ; ddl=20 ; p<0,001). Un biais de surestimation de son propre corps était retrouvé chez les patientes contrairement au groupe témoin : moy<sub>AM</sub> = +3,18 kg/m<sup>2</sup> ± 1,43 *versus* moy<sub>C</sub> = -2,53 kg/m<sup>2</sup> ± 5,41 (U=1 ; -3,63 ; p<0,001). En revanche, nous n'avons pas

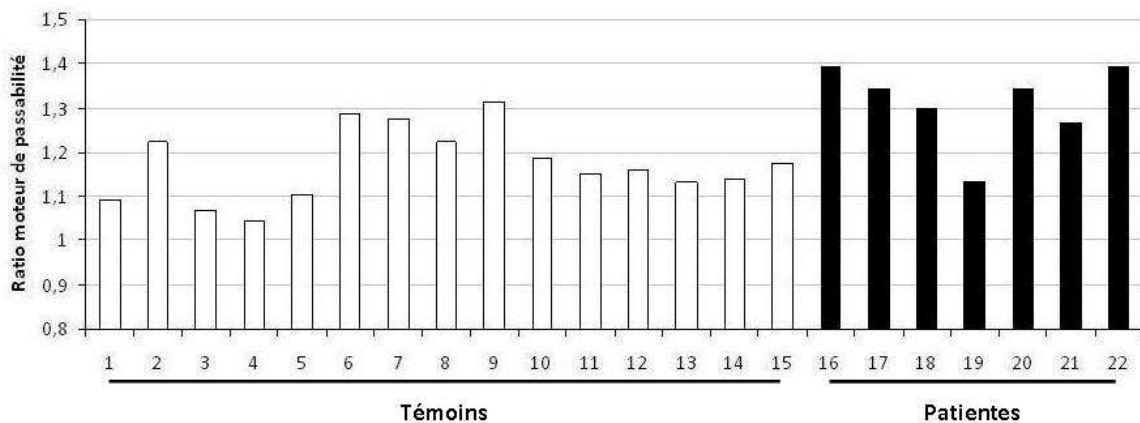
observé de différence significative concernant les préoccupations corporelles rapportées par la BSQ : moy<sub>AM</sub> = 100,57 ± 23,76 *versus* moy<sub>C</sub> = 80,8 ± 23,76 (U=37,50 ; Z=-1,06 ; p=0,29).

**Données comportementales.** L'analyse statistique révèle une différence significative entre les deux groupes. Le ratio perceptif moyen était significativement plus élevé dans le groupe AM que dans le groupe contrôle : moy<sub>AM</sub> = 1,24 ± 0,09 *versus* moy<sub>C</sub> = 1,08 ± 0,09 ; t=-3,67 ; ddl=20 ; p=0,002 (figure 52).



**Figure 52.** Ratio perceptif de passabilité ( $\pi_p$  = ouverture critique / largeur des épaules) de chacune des participantes en fonction du groupe.

S'agissant de la tâche d'action, l'analyse statistique révèle également une différence significative entre les deux groupes, avec un ratio moyen significativement plus élevé dans le groupe AM que dans le groupe contrôle : moy<sub>AM</sub> = 1,31 ± 0,09 *versus* moy<sub>C</sub> = 1,17 ± 0,08 ; t=-3,60 ; ddl=20 ; p=0,002 (figure 53).



**Figure 53.** Ratio moteur de passabilité ( $\pi_m$  = ouverture critique / largeur des épaules) de chacune des participantes en fonction du groupe.

Une analyse de corrélation (coefficient de Spearman) sur l'ensemble de l'échantillon a été réalisée et retrouvait une corrélation significative et positive entre : (i)  $\pi_p$  et  $\pi_a$  ( $r=0,57$  ;  $p<0,05$ ) ; (ii)  $\pi_p$  et le score EDI-2 total ( $r=0,51$  ;  $p<0,05$ ). En revanche, l'analyse ne montrait pas de corrélation entre l'indice de surestimation et  $\pi_p$ , d'une part, et entre cet indice et  $\pi_a$  d'autre part (respectivement  $r=0,21/0,28$  ;  $p>0,05$ ).

**Discussion.** Nous avons confirmé les résultats de l'étude précédente quant au fait que les patientes souffrant d'AM surestimaient de manière significative la taille nécessaire à leur passage à travers une ouverture, ce quel que soit le dispositif expérimental en place (vidéoprojection ou ouverture réelle). En outre, il apparaît que le trouble du schéma corporel se répercute sur l'action réelle et qu'il n'est pas corrigé par les efférences motrices. Enfin, une corrélation significative était observée entre les performances comportementales et l'intensité du trouble du comportement alimentaire représentée par le score total à l'EDI-2.

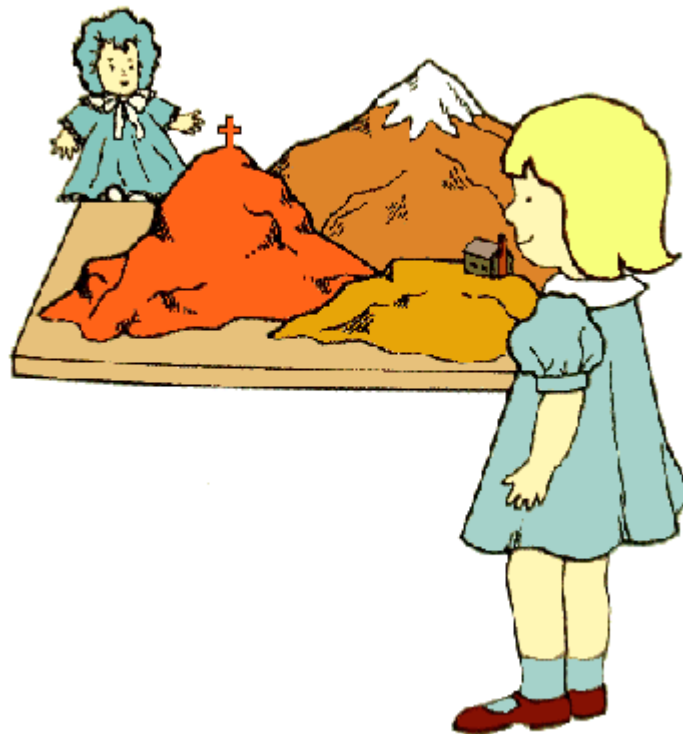
Cependant, nous avons pu constater que les scores à la BSQ des jeunes participantes du groupe contrôle, qui n'avaient pourtant pas reçu de diagnostic d'AM et qui ne présentaient pas de maigreur pathologique, étaient élevés et comparables au groupe AM. Un biais de recrutement ne doit pas être écarté notamment au vu de la faible importance de l'effectif. En effet, une enquête menée en population générale retrouvait que 7 femmes sur 10 espéraient perdre du poids que l'IMC soit normal ou témoigne d'un surpoids (Charles et al., 2008). Ces scores élevés chez les participantes contrôles ont donc certainement contribué à masquer le lien qui existe, chez les patientes souffrant d'AM, entre les distorsions du schéma corporel et l'évaluation psychométrique du trouble du comportement alimentaire. Il serait donc pertinent de reproduire l'étude avec de plus grands échantillons et de contrôler l'insatisfaction par rapport au corps chez les participantes du groupe contrôle.

Comme mentionné précédemment, notre étude nous a permis de mettre en évidence les retentissements de ce trouble du schéma corporel dans cette pathologie, mais ne nous permet pas encore de faire la lumière quant aux mécanismes qui le sous-tendent. Une nouvelle question se pose d'ailleurs, celle de savoir s'il s'agit d'un biais touchant la représentation du corps propre ou d'une anomalie plus globale de la représentation du corps. Autrement dit, cette surestimation des dimensions influence-t-elle leur vision du monde ?

### 3.3. Une question de perspective

#### 3.3.1. Adopter le point de vue de l'autre : une compétence acquise

Les enfants de moins de 2 ans ne font pas la différence entre leur perspective et celle d'un autre individu. Ils ne prennent en considération que la leur. Pour un enfant de cet âge, ce qu'il voit, pense et aime ne peut être que la règle et être partagé par tous. Piaget sera le premier à mettre en évidence ce biais dans le domaine visuel à l'aide de la tâche dites des 3 montagnes (Figure 54).



**Figure 54.** Illustration de la tâche des trois montagnes. Durant cette tâche, l'enfant doit indiquer ce que la poupée voit. La fillette en phase préopératoire pense que la poupée voit la scène telle que elle la voit. Selon l'enfant, la poupée voit donc la petite maison qui est en réalité inaccessible au regard de la poupée (d'après Piaget et Inhelder, 1948).

Un enfant placé devant trois montagnes doit déterminer la perspective de l'expérimentateur placé en face de lui. Pour ce faire, 4 images représentant des points de vue différents de la même scène visuelle sont présentées. Avant l'âge de 4 et 5 ans, les

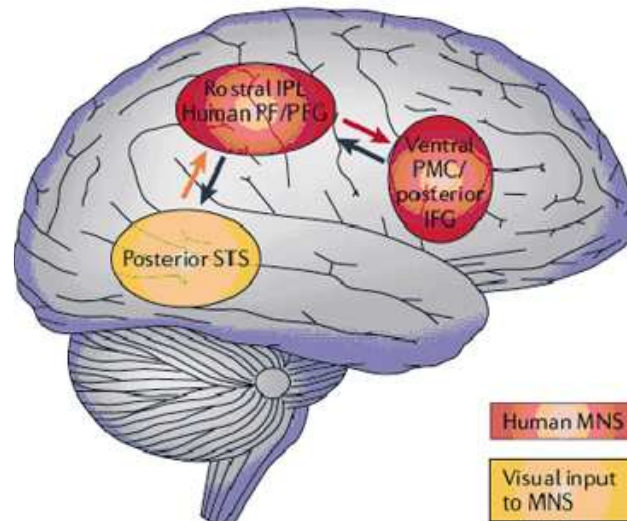
enfants choisissent l'image correspondant à leur propre point de vue. L'enfant est fixé dans sa propre perspective, de telle sorte qu'il ne peut pas imaginer une autre perspective que la sienne. Piaget et Inhelder feront de cette aptitude de décentrage une étape importante du développement de l'enfant (1948).

Certains auteurs ont mis en évidence une variabilité intra-individuelle importante des performances de prise de perspective réussies. Ainsi, Rochat (1995) a montré, lors d'une tâche d'atteignabilité, que des enfants de 3 ans avaient des performances similaires à celles des adultes quand on leur demandait de juger si un objet était atteignable pour eux et s'il l'était pour un autre individu. Repacholi et Gopnik (1997) montreront, à l'aide d'une tâche de préférence alimentaire, les enfants de 18 mois réussissaient à prendre en compte la préférence de l'expérimentateur dans leur réponse. La tendance à adopter un point de vue égocentré trouve donc son origine dans l'enfance. La compétence allocentrée ne se développant que secondairement, elle reste sujette à l'influence égocentrique (Davis et al., 1996).

### **3.3.2. Théorie de la simulation et neurones miroirs**

Comprendre autrui repose donc sur un processus de simulation qui consiste à épouser la perspective de l'autre, c'est-à-dire à se projeter dans la situation que rencontre autrui, et à produire de façon déconnectée les réponses que l'on produirait soi-même dans cette situation (Goldman, 1992 ; 2000). Comme nous l'avons vu précédemment, Gallese et Goldman (1998) ont mis en évidence l'implication possible d'un certain type de neurones, appelés "neurones-miroirs", dans le mécanisme de simulation.

Ces neurones s'activeraient lors d'actes moteurs spécifiques dirigés vers un but, que le sujet soit acteur ou observateur de la même action. C'est ainsi que des neurones de saisie avec la main ou avec la bouche ont entre autres pu être identifiés (Rizzolatti et al., 1988). Initialement découverts chez le macaque (di Pellegrino et al., 1992), ces neurones miroirs semblent être également présents dans le cerveau humain, en particulier au niveau de la pars opercularis (PO) de la partie dorsale du gyrus frontal inférieur (GFI) et au niveau du gyrus supramarginal (GSM) de la partie rostrale du lobule pariétal inférieur (LPI ; figure 55).



**Figure 55.** Localisation du système des neurones miroirs (d'après Iacoboni et Dapretto, 2006). MNS: miroir neuro system; IFG: inferior frontal gyrus; PMC: adjacent ventral premotor; IPL: inferior parietal lobule; STS: superior temporal sulcus; PF/PFG: areas in inferior parietal cortex.

Des études menées chez l'homme en imagerie fonctionnelle et utilisant des paradigmes expérimentaux d'imagerie mentale montrent que la simulation mentale d'une tâche, qu'elle soit visuelle, tactile, motrice ou émotionnelle, provoquait une activation des régions cérébrales impliquées dans la réalisation de cette tâche (Decety et al., 1994 ; Kosslyn et al., 1995 ; Damasio et al., 2000). Une correspondance physiologique entre réalisation et simulation mentale a ainsi pu être démontrée (Roth et al., 1996 ; Lotze et al., 1999 ; Stippich et al., 2002). Une dernière découverte viendra définitivement asseoir l'existence des neurones miroirs et par là même de la théorie de la simulation dans le champ des sciences cognitives. Il s'agira de la mise en évidence de l'activation de régions impliquées dans l'exécution de l'action, non plus lors de la simulation mentale de cette même action, mais au cours de l'observation de cette action réalisée par autrui (Bonda et al., 1996 ; Decety et al., 1997). Les travaux de Fadiga et de ses collaborateurs (1995) viendront conforter ce point. Lors d'études de stimulation magnétique transcrânienne menées chez l'homme, les chercheurs montreront que lorsqu'un sujet observait une action particulière, les potentiels évoqués moteurs des muscles correspondants étaient sélectivement amplifiés chez le sujet qui observe, comme s'il se préparait à accomplir l'action observée (Fadiga et al., 1995). Gallese et Goldman (1998) proposeront à l'issue de ces travaux le concept de « représentations motrices partagées », soit une représentation employée à la fois lors de l'action effectuée et lors de l'observation de cette même action.

Dans leur méta-analyse, Grèzes et Decety (2001) détailleront les niveaux de recouvrement des réseaux d'activation liée à l'exécution, la simulation mentale et l'observation d'une même action. Les aires impliquées comprenaient le cortex préfrontal, le cortex prémoteur, le cortex pariétal supérieur et inférieur. Les bases physiologiques de la théorie de la simulation et par la même de l'intentionnalité se trouvent ainsi posées. Toutefois, si des représentations partagées sont employées pour s'imaginer agir et voir autrui agir, comment distinguer alors nos actions de celles des autres ?

### **3.3.3. Perspective en 1ère personne et perspective en 3ème personne**

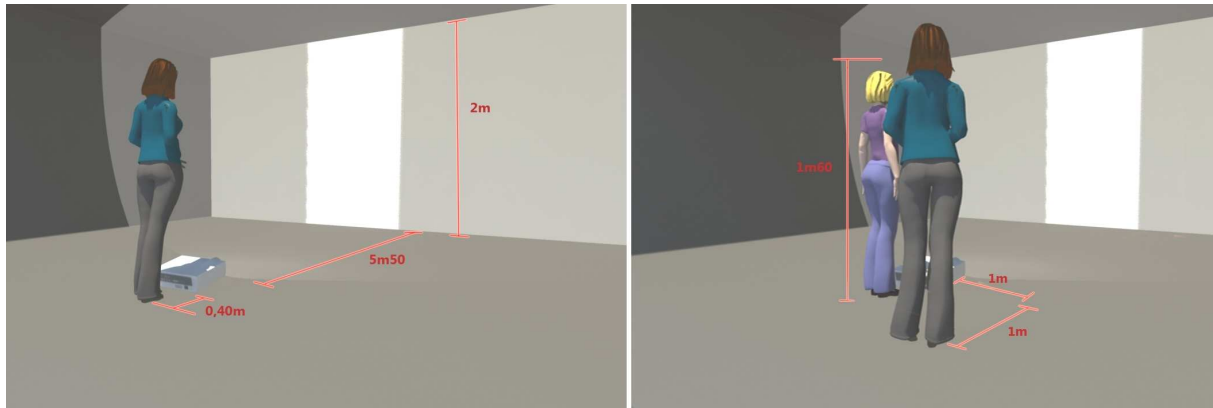
Ruby et Decety (2001) émirent l'hypothèse de l'existence d'un réseau neuronal permettant de faire cette distinction entre une représentation de l'action en 1ère personne et une représentation en 3ème personne. Pour ce faire, les auteurs testèrent l'effet d'un changement de perspective - perspective en 1ère personne (P1P) *versus* perspective en 3ème personne (P3P) - au cours d'une tâche d'imagerie motrice. L'activité cérébrale des sujets était mesurée à l'aide d'une tomographie par émission de positons pendant qu'ils s'imaginaient agir et pendant qu'ils imaginaient l'expérimentateur agir. Conformément à la théorie des représentations partagées, les deux conditions P1P et P3P partagent des bases communes. Le réseau d'activation comprend l'aire motrice supplémentaire, le gyrus précentral, le précuneus et la jonction occipito-temporale. En condition P3P, les auteurs retrouvent une activation préférentielle du cortex pariétal inférieur, le précuneus, et le cortex frontopolaire dans l'hémisphère droit et dans le gyrus cingulaire postérieur dans l'hémisphère gauche. A l'inverse, la P1P impliquerait préférentiellement le lobule pariétal inférieur et le cortex somatosensoriel dans l'hémisphère gauche. Au vu de ces résultats, les auteurs formuleront l'hypothèse d'une implication du cortex pariétal inférieur droit, du cortex somatosensoriel et du cortex frontopolaire dans le processus de distinction soi-autre lors de la réalisation d'une tâche motrice.



### **3.3.4. Etude 5 : imaginer passer à travers une ouverture et imaginer autrui passer à travers une ouverture**

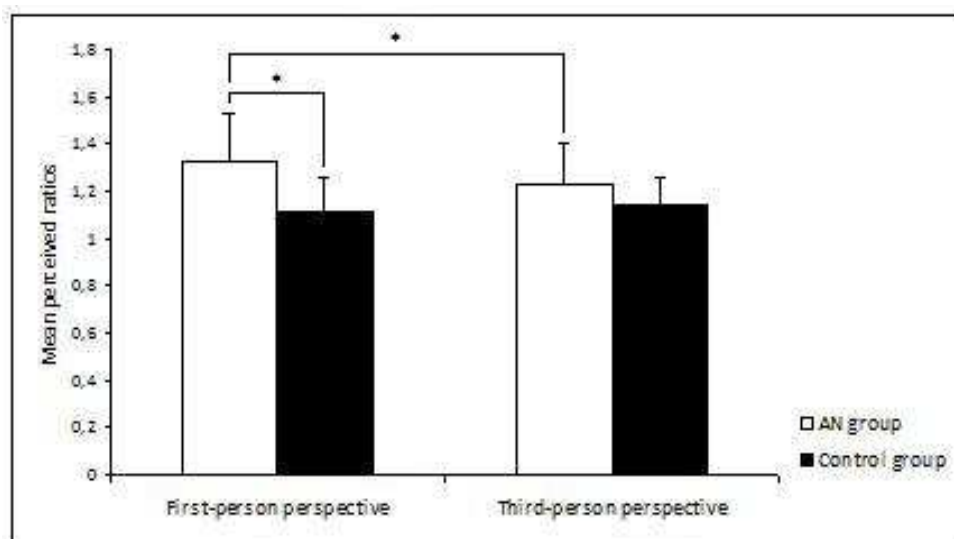
Il est donc maintenant bien établi que l'anticipation d'une action et la réalisation de cette même action possèdent des bases cérébrales et dynamiques communes (Sirigu et al., 1996 ; Grèzes et Decety, 2001 ; Hesslow, 2002). Ces résultats confirment l'idée que des tâches d'imagerie motrice sont appropriées pour évaluer l'intégrité schéma corporel (Schwoebel et Coslett, 2005 ; de Vignemont, 2010). En outre, les tâches de simulation semblent pertinentes pour tester les différences ou les similitudes entre la représentation que l'on a de soi et celle que l'on a des autres (Decety et Grèzes, 2006). Afin d'anticiper nos actions ou celles d'individus à proximité, nous sommes en mesure d'effectuer diverses opérations cognitives et en particulier d'adopter des perspectives différentes. Nous sommes donc en mesure d'adopter tantôt une perspective en première personne centré sur son propre corps et sa propre action, tantôt une perspective en troisième personne, dans lequel nous pouvons prendre le point de vue de quelqu'un d'autre et ainsi anticiper son action.

Afin de répondre à cette nouvelle interrogation, celle de savoir si le biais de surestimation toucherait la représentation du corps propre ou témoignerait d'une anomalie plus globale de la représentation du corps, nous avons utilisé une version modifiée du paradigme écologique développé dans notre précédente étude en ajoutant une condition supplémentaire. Dans un premier temps, chaque participante devait juger si oui ou non une ouverture était assez large pour qu'elle puisse passer à travers (figure 56). Dans un second temps, le jugement portait sur une autre personne présente dans la salle (figure 56). A ce titre, juger de la passabilité d'une ouverture peut être considéré comme une tâche de simulation d'action menée en première personne lorsque le jugement porte sur sa propre action et en troisième personne lorsque le jugement porte sur l'action du témoin.



**Figure 56.** Protocole expérimental de jugement de passabilité selon une perspective en première personne (image de gauche) et selon une perspective en troisième personne (image de droite).

Nos résultats confirment ceux de l'étude précédente avec une surestimation du seuil de passabilité dans le groupe des patientes par rapport au groupe témoin lorsque le jugement était réalisé en première personne. S'agissant de la différence de perspective, le jugement des patientes souffrant d'anorexie mentale est altéré lors de la condition première personne et non lors de la condition contrôle en troisième personne (Figure 57). En revanche, le groupe contrôle juge de manière comparable la passabilité d'une ouverture pour soi ou pour une autre personne (Figure 57).



**Figure 57.** Ratios perceptifs moyens (rapport de l'ouverture critique sur la largeur d'épaule) dans les deux groupes en fonction de la perspective prise lors de la simulation d'action.

Des études évaluant l'activité du cortex moteur lors de l'exécution d'une action ou d'une simulation d'action en première et en troisième personne ont révélé des réseaux d'activation similaires dans les trois conditions (Anquetil et Jeannerod, 2007). Cependant,

s'agissant des patientes, la simulation d'action ne semble que partiellement touchée et ne concerner que le jugement en première personne. Ce résultat nous amène à suggérer que le biais observé pourrait être lié à des régions spécifiques impliquées dans la perspective en première personne et l'élaboration du schéma corporel, telles que le lobule pariétal inférieur gauche, le cortex somatosensoriel (Decety et Grèzes, 2006) et le cortex pariétal (Tomasino, 1996 ; Grunwald et al., 2002 ; Nico et al., 2010).

Une seconde série de résultats obtenus lors de l'analyse de corrélation réalisée entre les performances d'imagerie motrice et l'état nutritionnel attireront notre attention. En effet, les variations pondérales importantes et les modifications des dimensions corporelles (épaules, taille ou hanches) résultant de la restriction alimentaire pourraient constituer des sources potentielles de biais. En effet, les dimensions du corps ont un rôle dans la mise à l'échelle des paramètres environnementaux observés (Warren, 1984 ; Warren et Whang, 1987 ; Stefanucci et Geuss, 2009 ; Stefanucci et Geuss, 2010). Les tailles apparentes sont perçues par rapport à la hauteur des yeux (Warren et Whang, 1987 ; Stefanucci et Geuss, 2010) et la taille de son corps (Stefanucci et Geuss, 2009 ; Linkenauger et al., 2010). Lors des phases de décompensation, les dimensions du corps se trouvent profondément modifiées. Or, nous constatons que les performances des patients lors de la P1P seraient liées à leur poids avant décompensation. En outre, pour les patientes en phase de dénutrition, une corrélation entre la performance d'imagerie motrice et la perte de poids est retrouvée. Plus grande était cette perte de poids, plus important était le seuil perceptif de passabilité. Ce résultat pourrait fournir une explication des perturbations de l'anticipation et de la réalisation d'action impliquant la prise en compte des dimensions corporelles chez les patientes souffrant d'anorexie : le schéma corporel, modifié par une perte de poids rapide et massive, pourrait ne pas être mis à jour par le système nerveux central (Case et al., 2012). Comme souligné précédemment, L'anorexie mentale touche principalement les jeunes femmes dans la tranche d'âge des 15-19 ans (Lucas et al., 1991 ; Wentz et al., 2009). Nombreux seront les changements morphologiques et psychologiques durant la puberté qui auront un impact sur le schéma corporel. Les variations pondérales induites par les troubles alimentaires pourraient venir renforcer ces bouleversements.

L'étude de phénomènes neurologiques tels que le syndrome du membre fantôme amène des renseignements précieux sur le sujet. En effet, de nombreux sujets ayant subi

une amputation de membre rapportent l'impression que le membre manquant est toujours présent. Ce sentiment est souvent associé à des perceptions sensorielle et kinesthésique spécifiques, telles que des douleurs perçues dans le membre manquant ou l'impression que celui-ci peut être mobilisé volontairement (Ramachandran et al., 1995 ; Giummarra et al., 2010). De nombreux modèles explicatifs de syndrome du membre fantôme ont émergé ces dernières années. L'un d'entre eux postule l'existence d'une inadéquation entre les informations sensorielles émanant du membre fantôme et les régions corticales représentant le membre (Flor et al., 2006). Chez les patientes anorexiques, un conflit similaire pourrait voir le jour entre le schéma corporel antérieur (c'est-à-dire avant le changement de poids) et l'influx d'informations sensori-motrices émanant du corps. Comme le précise Riva dans son hypothèse de blocage allocentrique (2012), *« l'expérience que nous avons de l'espace, incluant le corps, implique l'intégration de différentes modalités sensorielles en fonction de deux cadres de référence différents, l'un dit égocentrique, dans lequel le corps devient la référence de l'expérience en première personne, et l'autre dit allocentrique, dans lequel le corps est considéré comme un objet intégré dans le monde physique. (...) S'agissant des cognitions spatiales, ces cadres de référence s'influencent mutuellement lors de l'interaction entre les processus mnésiques à court et long terme. Si, pour une raison ou pour une autre, ce dialogue est perturbé, les entrées sensorielles égocentriques ne sont pas plus en mesure de mettre à jour le contenu de la représentation du corps allocentrique : le sujet s'y trouve alors enfermé »*. Ainsi, les patientes se trouveraient enfermés dans un corps plus gros.

## Article 4

### Imagining One's Own And Someone Else's Body Actions: A Dissociation In Anorexia Nervosa

**Guardia D**, Conversy L, Jardri R, Lafargue G, Thomas P, Dodin V, Cottencin O,  
Luyat M

*PLoS One* 2012; 7(8): e43241



### 3.4 L'hypothèse d'un défaut d'actualisation

Comme nous l'avons vu, les dimensions du corps influence l'étalonnage des paramètres environnementaux observés (Warren, 1984 ; Warren et Whang, 1987 ; Stefanucci et Geuss, 2009 ; Stefanucci et Geuss, 2010). De nombreuses variables sont ainsi à prendre en compte en fonction du type de tâche employée. S'agissant des épreuves de passabilité, la hauteur des yeux (Warren et Whang, 1987 ; Stefanucci et Geuss, 2010) et les dimensions de son corps (Stefanucci et Geuss, 2009 ; Linkenauger et al., 2010) sont des variables essentielles pour optimiser l'affordance.

En situation pathologique, telle que peut l'être la dénutrition sévère, les dimensions du corps se trouvent profondément modifiées, en particulier la largeur d'épaules. Il a été démontré que l'intégrité du corps influençait grandement la performance d'imagerie motrice (Parsons, 1994 ; Sirigu et Duhamel, 2001 ; Shenton et al, 2004 ; de Lange et al, 2006). Or, nous constatons que les performances des patientes souffrant d'anorexie mentale baissaient significativement lors des périodes de décompensation dans les tâches d'imagerie motrice sans que les efférences motrices ne puissent corriger celles-ci lors de l'action réelle. D'autre part, ces performances seraient corrélées à l'importance de la perte de poids et à sa cinétique. L'hypothèse d'un défaut de réactualisation du schéma corporel a été avancée par plusieurs équipes pour expliquer ce phénomène (Case et al., 2012). Le fait que cette distorsion corporelle ne soit pas à proprement parler un symptôme spécifique de l'anorexie mentale mais une résultante de la dénutrition induite par la restriction alimentaire doit, en tout état de cause, pouvoir être applicable à d'autres situations de profond bouleversement morphologique.

Il en est un des plus universels. La grossesse constitue en effet un modèle physiologique de constant remaniement du schéma corporel, la grossesse en constitue un de choix. Les femmes enceintes subissent tout au long de la grossesse d'importants remaniements de la métrique : largeurs d'épaule et de hanche, périmètre abdominal (figure 58).



**Figure 58.** Evolution des dimensions du corps au fil de la grossesse.

Comme nous l'avons vu, Franchak et Adolph (2007) ont pu mettre en évidence un certain degré d'adaptabilité des femmes tout au long de leur grossesse, comme en témoigne l'augmentation des seuils de passabilité au fil de la grossesse et leur diminution après l'accouchement. Il est à noter que ces performances étaient fortement corrélées aux dimensions du corps : abdomen, poitrine et hanches. Toutefois, il est important de noter que les sujets surestimaient leur capacité, en essayant de passer à travers des ouvertures légèrement plus petites que leur seuil de passabilité (Franchak et Adolph, 2007). Les femmes enceintes surestiment donc leur habileté du fait d'une sous-estimation de leurs dimensions corporelles. Ces résultats témoignent d'une prise en compte partielle des modifications du schéma corporel (largeur d'épaule et périmètre abdominal) qui s'opèrent tout au long de la grossesse et par la même d'un retard d'actualisation des représentations du corps.

Nous avons souhaité poursuivre cette réflexion en nous intéressant à une autre situation de changement corporel, celle induite lors de pertes de poids massives. En effet, il n'est pas rare d'observer des distorsions corporelles importantes après une perte de poids massive induite par la participation à des programmes d'éducation nutritionnelle ou la chirurgie bariatrique. Ces distorsions peuvent occasionner des rechutes notamment dans les deux premières années (Kalarchian et al., 2002). Bien que conscients de leur perte de poids, les patients continuent à se sentir obèses, comme si leur nouveau schéma corporel n'avait pas été pris en compte ou acceptée. Les représentations de deuxième ordre, les connaissances à l'égard de ce corps, semblent être préservées. En revanche, les représentations de premier ordre, c'est-à-dire les perceptions du corps, se trouvent elles altérées ou tout au moins obsolètes.

Nous rapportons le cas d'une patiente qui a vécu une perte rapide et massive de poids au décours d'un traitement comportemental de l'obésité. La patiente, âgée de 40 ans, était suivie pour un trouble hyperphagique. Le programme nutritionnel lui permit de perdre 60 kg, passant d'un IMC de 45,9 kg/m<sup>2</sup> (poids : 125 kg, taille : 1,65 m) à 23,9 kg/m<sup>2</sup>. Cependant, les changements liés à la perte de poids furent mal tolérés et générèrent une profonde insatisfaction corporelle. Et, rapidement la patiente commença à reprendre du poids.

Nous avons donc cherché à quantifier le degré de préoccupations et d'insatisfaction corporelles générées au moyen de deux auto-questionnaires : le Body Shape Questionnaire (BSQ ; Cooper et al., 1987) et le Eating Disorder Inventory-2 (EDI-2 ; Garner, 1991). Trois tâches expérimentales furent utilisées pour évaluer l'impact de la perte de poids sur la représentation du corps.

La première tâche consistait en l'évaluation du biais de surestimation corporelle au moyen d'une échelle de silhouettes adaptée du CDRS de Thompson et Gray (1995). Les mesures ont été effectuées grâce à une version informatisée, constitué de 11 silhouettes photographiées, allant d'un IMC de 12 à 23 (figure 50). Pour chacune des silhouettes, le sujet devait dire si son corps était plus gros, plus mince ou de la même taille que celui de la photo. Nous obtenions ainsi un IMC estimé duquel l'on soustrayait l'IMC réel. La différence obtenue correspondait à l'indice de surestimation corporelle.

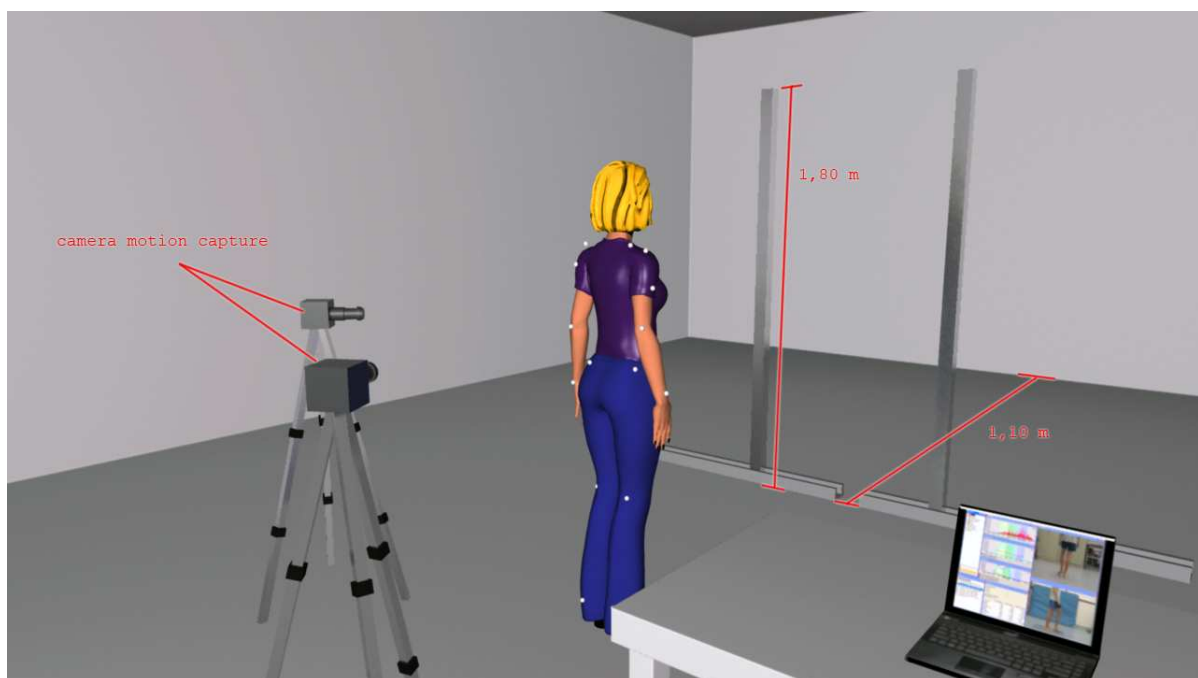


**Figure 50.** Echelle de silhouettes en fonction de l'indice de masse corporelle.

La seconde tâche consistait en une épreuve d'anticipation puis de réalisation d'action. Dans un premier temps, le sujet réalisait un jugement de passabilité. La méthode utilisait était similaire à celle utilisée dans l'étude 2. Le sujet se plaçait debout face à deux barres métalliques, à une distance de 4 mètres. La largeur de l'ouverture dans laquelle les sujets devaient passer, ou s'imaginer passer, était matérialisée par deux barres métalliques,



mesurant 180 cm de hauteur, soutenues par des équerres au sol et lestées (figure 51). L'expérimentateur faisait varier la taille de l'ouverture de la porte de 36 à 78 cm avec un pas de 2 cm (2 séries croissantes et 2 décroissantes en alternance). Pour chaque ouverture, la participante fermait les yeux pendant que l'expérimentateur modifiait la distance entre les barres, afin que le sujet ne puisse tenir compte de la taille du corps de l'examineur pour émettre un jugement sur la taille de l'ouverture. Une fois les yeux ouverts, le sujet devait dire si «oui» ou «non», il pouvait passer à travers cette ouverture. La consigne était la suivante : « *Imaginez que vous marchez à vitesse normale en direction de l'ouverture. Est-ce que vous pourriez passer à travers cette ouverture sans ralentir, sans avoir à tourner, ni à resserrer les épaules ?* ». L'ouverture critique était définie par le seuil critique de changement de réponse (deux réponses successives opposées aux précédentes). Ainsi, si le sujet répondait « oui » pour 54 cm, « non » pour 52, et « non » pour 50 cm, l'ouverture critique pour cette série était définie par la moyenne entre 52 et 54, soit 53 cm.

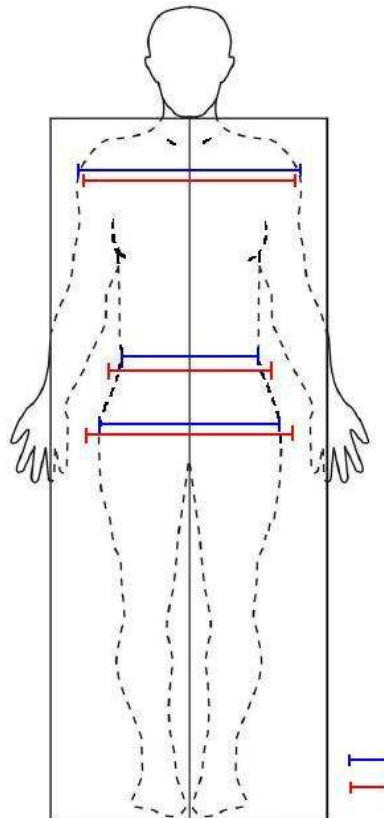


**Figure 51.** Dispositif expérimental pour l'épreuve d'anticipation et de réalisation d'action : passage à travers une ouverture.

Dans un second temps, le sujet effectuait l'action de passer à travers l'ouverture. Il était équipé de deux réflecteurs : un à l'extrémité de l'épaule gauche, un à l'extrémité de l'épaule droite, ceci afin de pouvoir suivre le mouvement des épaules grâce au logiciel SIMI Motion Capture 3D (SimiMotion<sup>®</sup>). Le sujet se plaçait, de la même façon qu'en condition

perceptive, debout face aux deux barres métalliques, à une distance de 4 mètres (figure X). L'expérimentateur faisait varier la taille d'ouverture de la porte de 36 à 78 cm avec un pas de 2cm (1 série croissante et 1 décroissante). L'expérimentateur enregistrait la séquence vidéo sur le logiciel SIMI Motion Capture 3D (SimiMotion<sup>®</sup>) pour chacune des ouvertures proposées. La consigne était la suivante : « *Allez-y, avancez à marche normale, le plus naturellement possible, sans ralentir, passer entre les barres métalliques et allez jusqu'au mur* ». L'ouverture critique était déterminée en tenant compte de l'angle de rotation des épaules. Celle-ci était considérée comme l'écart entre les barres pour lequel un angle significatif, entre les épaules et le plan XZ, se forme, soit un angle entre les épaules et la porte représentée par les barres métalliques. Pour chaque ouverture, nous calculions la moyenne, l'angle maximum et l'écart moyen de la série d'angle extraite. Pour signifier l'angle représentatif d'une série, nous avons donc retenu l'indice suivant : angle maximum de la série – écart moyen. Nous obtenions deux ouvertures critiques (condition ascendante et descendante) à partir des graphiques. Nous pouvions alors calculer une moyenne à partir de ces deux valeurs. C'est cette ouverture critique moyenne que nous avons rapporté à la largeur des épaules de la participante.

La troisième tâche s'inspirait du test de Hach et Schütz-Bosbach (2010). Le sujet, qui se tenait debout à une distance de 4 mètres de l'expérimentateur, devait estimer les limites de son corps alors masqué par un tableau blanc (dimensions : 1m50 x 1m). L'expérimentateur (positionné en face du participant à une distance de 4 mètres) effectuait un pointage laser sur des lignes correspondant à la hauteur des épaules, de la taille et des hanches. Le sujet indiquait verbalement quand elle pensait que le faisceau laser les limites de son corps. Six points étaient retenus correspondant à la largeur d'épaule, de taille et de hanche. Deux essais furent effectués. La moyenne des estimations fut alors comparée aux mensurations réelles (figure 59).



**Figure 59.** Mensurations estimées (lignes rouges) et réelles (lignes bleues).

Les scores obtenus à la BSQ et l'EDI-2 mettaient en évidence une importante insatisfaction corporelle. Lors de la première tâche, un biais de surestimation des dimensions corporelles de l'ordre de 9,5% était rapporté. Une baisse de performance était observée lors du jugement de passabilité, avec un ratio moyen de passabilité évalué à 1,35 contre 1,16 retrouvé par Warren et Whang (1987) et 1,08 retrouvé dans l'expérience 4 chez les sujets sains. Lors de l'action réelle, les efférences motrices ne lui permettent pas d'améliorer ses performances puisque le ratio moyen est cette fois de 1,52 contre 1,3 pour Warren et Whang (1987) et 1,17 dans l'expérience 4. Enfin, lors du pointage laser, nous retrouvons une surestimation de la largeur de la taille et des hanches. L'estimation de la largeur des épaules ne semblait en revanche pas affectée.

Ces résultats mettent en évidence le lien entre la perte de poids rapide et la baisse de performances dans plusieurs tâches impliquant des représentations implicites et explicites du corps. La patiente se comporte comme si son corps était plus gros qu'il ne l'est en réalité. Les limites de ce corps tel qu'elle se le représente possèdent les caractéristiques morphologiques observées dans l'obésité gynoïde et marquée par l'accumulation de tissu adipeux sur la partie inférieure du corps, au niveau de l'abdomen, des cuisses et des fesses.

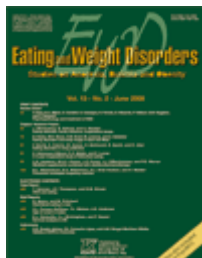
Il est possible que la cinétique de perte de poids ait empêché la mise à jour par le SNC du schéma corporel de cette patiente (Case et al., 2011).

## Article 5

### Body Distortions After Massive Weight Loss: Lack Of Updating Of The Body Schema Hypothesis

Guardia D, Metral M, Pigeyre M, Bauwens I, Cottencin O, Luyat M

Eat Weight Disord (en révision)



Dans un second temps, nous nous sommes donc intéressés aux limites du corps et en particulier à la prise en compte des dimensions corporelles dans la réalisation d'une action (franchir une ouverture). Lors de cette troisième étude, nous avons pu mettre en évidence une perturbation de l'anticipation de l'action chez les patientes atteintes d'anorexie mentale. Ces dernières anticipaient l'action comme si leur corps était plus large.

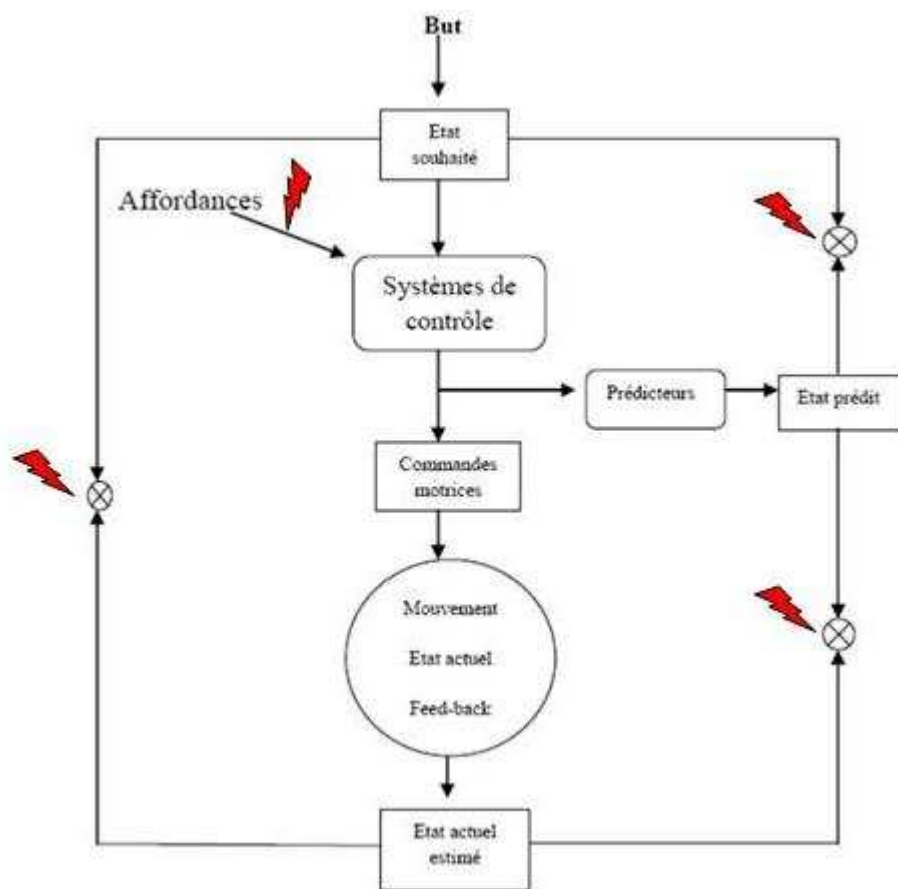
Les prédictions motrices pouvant être corrigé par les afférences motrices, nous avons souhaité poursuivre cette étude par la réalisation d'une tâche motrice. La question était notamment de savoir si le schéma corporel pouvait être mis à jour sur la base d'informations efférentes. Nous avons pu observer, lors de l'exécution réelle de l'action de passabilité, que les patientes anorexiques tournaient pour une ouverture critique plus large que les témoins, sans qu'une amélioration des performances n'ait été constatée au fil des séries. Ce résultat semble montrer que la surestimation du schéma corporel ne serait pas corrigée par les efférences motrices qui découlent de l'action réellement exécutée.

Le but de la cinquième étude fut d'évaluer si cette erreur d'appréciation d'une action impliquant les dimensions corporelles était spécifiquement observée lorsque le jugement portait sur son propre corps ou s'il traduisait une perturbation plus globale, touchant notamment l'anticipation de l'action pour une tierce personne. Afin d'anticiper nos actions ou celles d'individus à proximité, nous sommes en mesure d'effectuer diverses opérations cognitives et en particulier d'adopter des perspectives différentes. Nous sommes donc en mesure d'adopter tantôt une perspective égocentrée, tantôt une perspective plus allocentrée. Nos résultats ont confirmé l'existence d'une altération spécifique du jugement réalisé en première personne.

Les résultats des études 3 et 5 ayant mis en évidence l'influence de l'état nutritionnel antérieur et de la cinétique de dénutrition sur les performances motrices, il nous a donc semblé pertinent de poursuivre cette réflexion en nous intéressant à d'autres situations de changement corporel, et notamment celles induites lors de pertes de poids massives. Nous avons ainsi rapporté le cas d'une patiente ayant subi une perte rapide et massive de poids au décours d'un traitement comportemental de l'obésité et à laquelle nous avons proposé d'évaluer l'importance des distorsions corporelles au moyen de différentes tâches comportementales. Les résultats obtenus ont permis de mettre en lien entre la perte de poids rapide et la baisse de performances dans plusieurs tâches impliquant des

représentations implicites et explicites du corps. Il est vraisemblable que la cinétique de perte de poids ait empêché la mise à jour par le SNC du schéma corporel de cette patiente.

Nous sommes donc en mesure de confirmer l'existence de perturbations du contrôle moteur lié aux perturbations de la représentation sensori-motrice du corps. Les conséquences observées sont : une baisse des capacités d'affordance, une perturbation de l'état prédit et l'absence de correction par le système efférent (figure 60).



**Figure 60.** Modèle de contrôle moteur inspiré des principes d'ingénierie (d'après Frith et al., 2000). Les flèches rouges indiquent les perturbations de la représentation subjective de la verticale dans l'anorexie mentale.

L'ensemble de ces résultats soulèvent cependant de nouvelles questions. Elles ouvrent la voie à de nouvelles perspectives de recherche et de nouvelles pistes thérapeutiques.

## 4. SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES

---



*Photographie d'André Kertész  
Distorsion, 1933*



#### 4.1. Synthèse des résultats

L'objectif de ce travail de thèse visait à évaluer l'impact de l'anorexie mentale sur les représentations sensori-motrices du corps et leur implication dans l'action. Six grandes périodes ont jalonné notre réflexion.

**Prise en compte de la posture dans la perception des orientations.** La première fut d'étudier ce qui nous a semblé être un des niveaux les plus élémentaires d'interaction avec son milieu environnant et impliquant les processus de représentation du corps : l'orientation spatiale. Localiser son corps dans l'espace, définir son orientation à l'égard d'une cible, constitue une étape incontournable de la planification d'une action. Il nous semblait donc pertinent d'évaluer comment les patientes souffrant d'anorexie mentale intégraient les différentes informations sensorielles nécessaires au codage de l'orientation de leur corps afin de maintenir un percept de verticalité cohérent. Notre première étude porta donc sur la perception haptique de la verticale subjective (VS) en fonction de l'inclinaison du corps (corps droit, corps incliné à droite  $+90^\circ$  et corps incliné à gauche  $-90^\circ$ ), celle-ci faisant référence à une caractéristique du schéma corporel : le codage de la posture (Head et Holmes, 1911 ; Longo et al., 2010). Trois résultats découlèrent de cette première étude. Le premier fut une baisse significative des performances haptiques de perception de la VS en position inclinée, c'est-à-dire lorsque le SNC doit prendre en compte l'inclinaison posturale pour adapter sa réponse. L'altération de la perception haptique observée par d'autres chercheurs (Tchanturia et al., 2001 ; Grunwald et al., 2001, 2002, 2004 ; Roberts et al., 2007), semblait se confirmer. A cela, nous pouvions ajouter la prise en compte de l'orientation du corps.

Le deuxième résultat important était une inclinaison quasi-systématique de la VS dans le sens de l'inclinaison du corps. La prépondérance de cet effet pourrait refléter une perturbation des référentiels spatiaux et d'une pondération accrue du SNC envers le vecteur idiotropique (Mittelstaedt, 1983, 1996), en d'autres termes d'un usage privilégié du référentiel égocentrique (Trousselard et al., 2004).

Enfin, le dernier point fut la découverte d'une relation entre le niveau de conscience intéroceptive, mesurée par le sous-score de l'EDI-2, et les performances comportementales : plus la conscience intéroceptive est altérée, moins la perception haptique des orientations

est bonne. Ces résultats confirment l'existence d'une altération de la conscience intéroceptive (Pollatos et al., 2008) et soulève la question de l'influence de celle-ci sur la perception de l'orientation du corps dans l'espace (Barra et al., 2012).

A l'issue de ce premier travail, plusieurs questions se sont posées. La baisse de performances (diminution de la constance d'orientation) chez les patientes anorexiques était-elle le seul fait d'une perception haptique altérée ? Ce déficit s'étendait-il à d'autres modalités sensorielles, telles que la vision ? L'effet Aubert (i.e. déviation de la Verticale subjective dans le sens du corps) accru chez les patientes témoignait-il d'une altération des référentiels allocentriques ? S'agissait-il d'un phénomène de compensation se faisant au profit de l'égoцентризм spatial ? Enfin, ayant mis en évidence un défaut de conscience intéroceptive ainsi que sa possible participation dans la perception des orientations, qu'en était-il de la sensibilité intéroceptive au vu des importantes modifications pondérales et donc graviceptives du corps des patientes ? Autant de questions nous conduisirent donc à la réalisation de notre deuxième étude.

**Prise en compte des référentiels spatiaux.** Dans la suite de nos travaux nous souhaitons évaluer les compétences des patientes souffrant d'anorexie mentale dans l'utilisation des référentiels spatiaux, selon deux modalités sensorielles. Pour ce faire, deux tâches comportementales ont été successivement proposées aux patientes, celles-ci visant à mesurer la perception de la VS et de l'axe Z (axe céphalocaudal), ceci au moyen de deux modalités sensorielles (visuelle et haptique), en fonction de la position du corps dans l'espace (corps droit, corps incliné à droite  $+90^\circ$  et corps incliné à gauche  $-90^\circ$ ). L'étude de la perception de la VS et de l'axe Z ont permis d'évaluer l'implication des référentiels spatiaux égoцентризм et/ou allocentrique. Enfin, deux tâches comportementales contrôles de discrimination d'objet selon la modalité haptique et visuelle ont été proposées afin de contrôler une éventuelle atteinte préalable de ces modalités sensorielles. Il s'agissait notamment d'identifier si le carré présenté était plus grand, égal ou plus petit qu'un carré standard, selon les modalités haptique et visuelle.

Lors de la tâche de discrimination d'objets de forme simple, nous retrouvons des performances comparables entre le groupe anorexie mentale et le groupe contrôle, quelle que soit la modalité d'exploration utilisée (haptique ou visuelle). S'agissant de l'exploration haptique, nos résultats contredisaient en partie les données de la littérature (Tchanturia et

al., 2001; Grunwald et al., 2002 ; Grunwald et al., 2004 ; Roberts et al., 2007). Cette divergence de résultats peut être expliquée par le niveau de complexité de ces deux tâches, celle proposée par Grunwald et ses collaborateurs (2002) étant bien supérieure à la notre. Quant à l'exploration en modalité visuelle, nous nous attendions à des performances similaires dans les deux groupes dans la mesure où la discrimination visuelle ne semble pas être affectée dans l'anorexie mentale (Smeets et al., 1999). Ces résultats suggéraient donc l'absence de perturbation spécifique de ces deux modalités, tout du moins lors d'une discrimination d'objets par la taille.

S'agissant des tâches d'orientation spatiale, l'inclinaison du corps a provoqué des écarts systématiques de la perception de la VS et de l'axe Z conformément aux données de la littérature (Luyat et al., 2001; Bortolami et al., 2006; Gentaz et al., 2008). Ces résultats ne semblent pas dépendants d'une modalité sensorielle en particulier, des résultats similaires ayant été observés en modalité haptique et visuelle. Un effet A prédominant serait observé quelle que soit la modalité sensorielle étudiée, s'agissant en particulier des sujets de sexe féminin (Luyat et al., 2012). Enfin, les perturbations retrouvées, quelle que soit la tâche d'ajustement effectuée (référentiel allocentré pour la perception de la VS et référentiel égocentré pour la perception de l'axe Z), laissent à penser que les anomalies d'intégration multisensorielle observées dans l'anorexie mentale seraient à l'origine d'une perturbation dans l'usage que les patientes ont de leurs référentiels spatiaux, et non d'une altération spécifique ou d'un excès de pondération d'un des référentiels.

Les variations pondérales importantes pourraient générer de profondes perturbations des indices somesthésiques aidant à l'identification de l'orientation du corps dans l'espace (Trousselard et al., 2003 ; Trousselard et al., 2004). En effet, une corrélation forte est retrouvée entre les performances comportementales et l'état nutritionnel de l'ensemble de l'échantillon. Il est toutefois important de préciser que cette corrélation disparaît dans le groupe anorexie mentale, lors de l'analyse en sous-groupe. Plus l'IMC est élevé, meilleures sont les performances. Cela pourrait être expliqué par l'influence gravitaire sur les repères somesthésiques (Trousselard et al., 2003 ; Trousselard et al., 2004), cette dernière se trouvant mise à mal lors d'une perte de poids massive et rapide. Ces résultats restent cependant à nuancer au vu des différents sous-types d'analyses statistiques, l'effet du groupe ayant montré notamment dans l'expérience 2 une influence plus grande que celle du poids.

Enfin, une corrélation forte est retrouvée avec les scores obtenus lors de l'évaluation psychométrique des comportements alimentaires. En effet, plus les référentiels spatiaux sont affectés, plus l'intensité des symptômes est grande (score total, sous-scores « recherche de minceur » et « insatisfaction corporelle » de l'EDI-2) et donc plus le pronostic est défavorable. S'agissant du sous-score « conscience intéroceptive », il met en évidence un défaut de conscience intéroceptive qui pourrait s'étendre jusqu'à l'identification de l'orientation que peut prendre le corps dans l'espace. Ainsi, aux anomalies d'intégration sensorielle pourrait être associée un défaut de conscience intéroceptive (Pollatos et al., 2008 ; Barra et al., 2012) qui viendrait moduler la représentation de la verticalité. Le jugement des patientes se trouverait donc ainsi biaisé par des processus de type bottom-up (intégration multisensorielle perturbée) et top-down (défaut de conscience intéroceptive).

**Métrique du corps et anticipation d'action.** Dans un deuxième temps, nous nous sommes intéressés aux limites du corps et en particulier à la prise en compte des dimensions corporelles dans la réalisation d'une action (franchir une ouverture). L'anticipation d'une action et la réalisation de celle-ci possédant des bases cérébrales et dynamiques communes (Sirigu et al., 1996 ; Grèzes et Decety, 2001 ; Hesselwood, 2002), le choix d'une tâche d'imagerie motrice nécessitant une prise en compte des dimensions corporelles nous semblait donc approprié pour évaluer l'intégrité schéma corporel (Schwoebel et Coslett, 2005; De Vignemont, 2010), et pour tester les différences ou les similitudes entre la représentation que l'on a de soi et celle que l'on a des autres (Decety et Grèzes, 2006). Nous avons donc utilisé un paradigme de passabilité déjà bien éprouvé (Warren et Whang, 1987 ; Wagman et Taylor, 2005 ; Franchak et Adolph, 2007).

Lors de cette étude, 50 participantes (25 sujets souffrant d'anorexie mentale et 25 sujets contrôles) ont été invitées à juger de la passabilité d'ouvertures de plus ou moins grande taille. Nous avons alors mis en évidence une perturbation de l'anticipation de l'action chez les patientes atteintes d'anorexie mentale. Ces dernières se comportaient comme si leur corps était plus large. Ces résultats étaient en adéquation avec les plaintes cliniques des patientes qui se perçoivent comme plus grosses qu'elles ne le sont en réalité (Skrzypek et al., 2001). Afin d'étudier la relation existant entre les performances d'imagerie motrice (simulation de l'action de passabilité) et les préoccupations corporelles relevées dans le groupe anorexie mentale, une analyse de corrélation fut réalisée et permit de mettre en

évidence une corrélation positive et significative avec les différents scores de préoccupations corporelles (BSQ, EDI-2), ainsi que la durée d'évolution des troubles. La question de la valeur pronostique de la distorsion du schéma corporel était dès lors posée.

L'étude précédente nous a donc permis de mettre en évidence une perturbation de l'imagerie motrice (jugement de passabilité d'une ouverture) en lien avec une perturbation du schéma corporel. Prédire les effets des actions est une fonction cérébrale cruciale pour optimiser les décisions motrices (Wolpert, Ghahramani, & Jordan, 1995). Celle-ci pouvant être corrigé par les afférences motrices dans l'hypothèse d'action ultérieures, nous avons souhaité poursuivre cette étude par la réalisation d'une tâche motrice. En effet, habituellement le schéma corporel est mis à jour sur la base d'informations afférentes et efférentes. Le schéma corporel se construirait et se réactualiserait à la fois grâce aux afférences somesthésiques, vestibulaires, visuelles et les efférences motrice de son corps (Higuchi et al., 2006). Comme mentionné précédemment, les personnes souffrant d'AM présenteraient une perturbation de l'intégration des informations afférentes quelles soient proprioceptives et/ou visuelles (Keizer et al., 2011 ; Keizer et al., 2012 ; Case et al., 2012 ; Eshkevvari et al., 2012). Toutefois, la question restait entière s'agissant des efférences motrices. Il est en effet possible que le fait d'effectuer une action entraîne un réajustement du schéma corporel et que le trouble du schéma corporel observé n'ait *in fine* pas d'impact sur le corps en mouvement.

**Métrique du corps et mouvement.** Afin de poursuivre notre réflexion, nous avons souhaité confronter nos premiers résultats en situation d'action réelle. Il s'agissait cette fois d'utiliser un matériel identique pour les deux types de tâches : simulation d'action et action réelle. Nous avons tout d'abord confirmé, lors de la tâche de simulation mentale de l'action, les résultats de l'étude précédente avec un dispositif expérimental différent (ouvertures réelles par rapport à la vidéoprojection des stimuli dans l'étude précédente). Nous avons ensuite observé, lors de l'exécution réelle de l'action de passabilité, que les patientes anorexiques tournaient pour une ouverture critique plus large que les témoins, sans qu'une amélioration des performances n'ait été constatée au fil des séries. Ce résultat semble montrer que la surestimation du schéma corporel n'est pas corrigée par les efférences motrices qui découlent de l'action réellement exécutée. Enfin, une corrélation significative

était une nouvelle fois retrouvée, sur l'ensemble des participantes, entre les performances comportementales et l'intensité du trouble du comportement alimentaire représentée par le score total à l'EDI-2.

Une nouvelle question s'est alors posée, celle de savoir s'il s'agissait d'un biais touchant la représentation du corps propre ou d'une anomalie plus globale incluant leur perception du corps de l'autre. Autrement dit, cette surestimation des dimensions influençait-elle leur vision du monde ?

**Point de vue face à l'action.** Le but de cette cinquième étude a été donc d'évaluer si cette erreur d'appréciation d'une action impliquant les dimensions corporelles était spécifiquement observée lorsque le jugement portait sur son propre corps ou s'il traduisait une perturbation plus globale, touchant également l'anticipation de l'action pour une tierce personne. Afin d'anticiper nos actions ou celles d'individus à proximité, nous sommes en mesure d'effectuer diverses opérations cognitives et en particulier d'adopter des perspectives différentes. Nous sommes donc en mesure d'adopter tantôt une perspective en première personne centré sur son propre corps et sa propre action, tantôt une perspective en troisième personne, dans lequel nous pouvons prendre le point de vue de quelqu'un d'autre et ainsi anticiper son action.

Afin de tester notre hypothèse, nous avons utilisé une version modifiée du paradigme écologique développé dans la troisième étude en ajoutant une condition supplémentaire. Dans un premier temps, chaque participante devait juger si oui ou non une ouverture était assez large pour qu'elle puisse passer à travers (jugement à la première personne). Dans un second temps, l'estimation portait sur une autre personne présente dans la salle (jugement à la troisième personne).

Nos résultats ont confirmé ceux des études précédentes lorsque le jugement était réalisé en première personne. En revanche, le jugement des patientes n'est pas altéré lorsque le point de vue en troisième personne est adopté. Ce résultat nous amène à suggérer que le biais observé serait lié à des régions spécifiques impliquées dans la perspective en première personne et l'élaboration du schéma corporel, telles que le lobule pariétal inférieur gauche, le cortex somatosensoriel (Decety et Grèzes, 2006) et le cortex pariétal droit (Tomasino, 1996 ; Grunwald et al., 2002 ; Nico et al., 2010).

**Prise en compte de l'état actuel du corps.** Les résultats obtenus lors des études 3 et 5 ont toutes mis en évidence à des degrés divers l'influence de l'état nutritionnel antérieur et de la cinétique de dénutrition. Il nous a donc semblé pertinent de poursuivre cette réflexion en nous intéressant à d'autres situations de changement corporel, et notamment celles induites lors de pertes de poids massives. En effet, il n'est pas rare d'observer des distorsions corporelles importantes après la prise en charge nutritionnelle ou chirurgicale d'une obésité sévère. Ces distorsions peuvent, à l'image de l'anorexie mentale, occasionner des rechutes notamment dans les deux premières années (Kalarchian et al., 2002). Bien que conscients de leur perte de poids, les patients continuent à se sentir obèses, comme si leur nouveau schéma corporel n'avait pas été pris en compte ou acceptée. La connaissance que les patients ont de leur état est préservée. En revanche, les représentations sensori-motrices du corps ne semblent pas l'être.

Nous avons ainsi rapporté le cas d'une patiente ayant subi une perte rapide et massive de poids au décours d'un traitement comportemental de l'obésité. Les changements liés à la perte de poids furent mal tolérés et générèrent une profonde insatisfaction corporelle. Nous lui avons donc proposé de quantifier le degré de préoccupations et d'insatisfactions corporelles générées au moyen du BSQ et de l'EDI-2. Afin d'explorer les retentissements de cette perte de poids sur le schéma corporel, nous lui avons proposé de participer à trois expériences. La première consistait en l'évaluation du biais de surestimation corporelle au moyen d'une échelle de silhouettes adaptée du CDRS de Thompson et Gray (1995). La seconde tâche consistait une épreuve d'anticipation puis de réalisation d'action, conformément au protocole expérimental de la quatrième étude. Enfin, la troisième tâche s'inspirait du test de Hach et Schütz-Bosbach (2010), le sujet devant estimer les limites de son corps par le moyen d'un pointage laser.

Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence le lien entre la perte de poids rapide et la baisse de performances dans plusieurs tâches impliquant des représentations implicites et explicites du corps, la patiente se comportant comme si son corps était plus gros qu'il ne l'était en réalité. Les limites de ce corps, tel qu'elle se le représentait, possédait les caractéristiques morphologiques observées dans l'obésité gynoïde et marquée par l'accumulation de tissu adipeux sur la partie inférieure du corps, au niveau de l'abdomen, des cuisses et des fesses. Il est possible que la cinétique de perte de poids ait empêché la mise à jour par le SNC du schéma corporel de cette patiente (Case et al., 2011).

## 4.2. Modélisation du phénomène de distorsion corporelle observé dans l'anorexie mentale

L'ensemble de nos résultats laisse suggérer l'existence d'une atteinte diffuse des processus de représentations du corps. S'agissant du niveau sensori-moteur de représentation du corps, le schéma corporel semble atteint dans sa composante superficielle, posturale et métrique. Les patientes se ressentent tactilement comme étant plus grosse (Keiser et al., 2011), et ce malgré une sensibilité accrue à la détection des stimuli (Keiser et al., 2012). Elles présentent de grandes difficultés à s'orienter dans l'espace comme nous l'avons vu au cours des expériences 1 et 2. Enfin, la représentation qu'elles se font des dimensions de leur corps s'en trouve également perturbée (Nico et al., 2010 ; expériences 3 à 6).

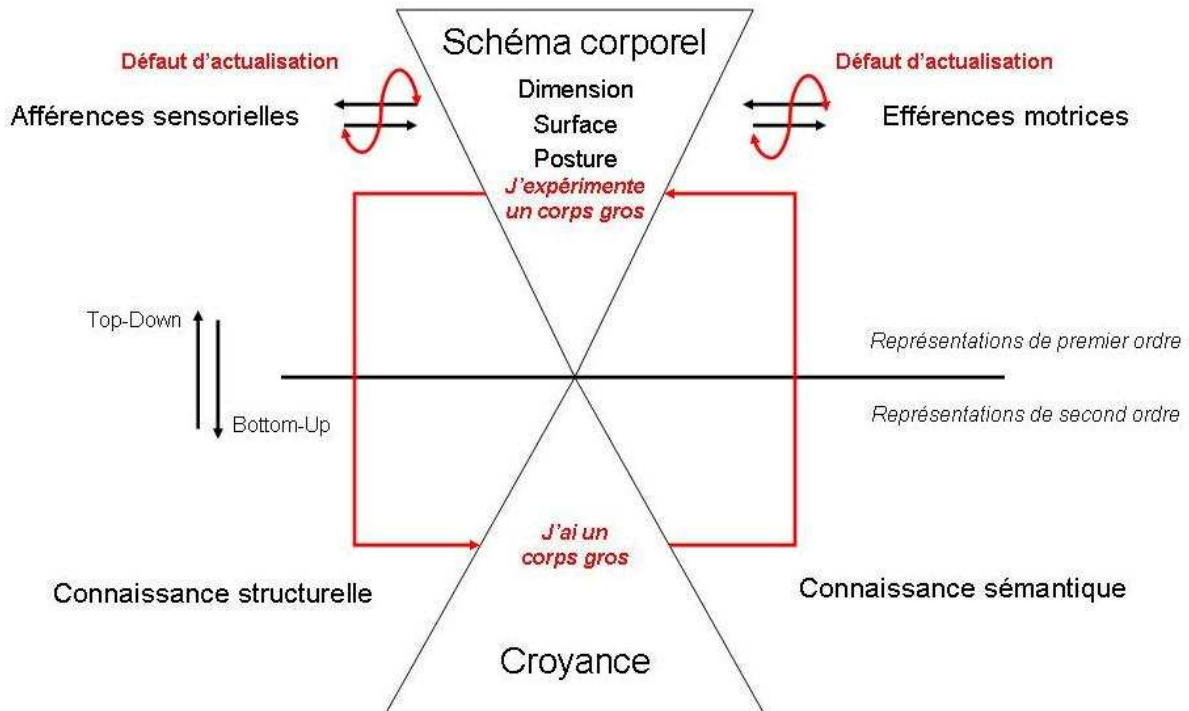
Les variations pondérales importantes et les modifications des dimensions corporelles (épaules, taille ou hanches) pourraient constituer des sources potentielles de biais. Les études 3, 4 et 6 vont dans le sens de cette hypothèse. Les dimensions du corps ont un rôle dans la mise à l'échelle des paramètres environnementaux observés (Warren, 1984 ; Warren et Whang, 1987; Stefanucci et Geuss, 2009 ; Stefanucci et Geuss, 2010). Les tailles apparentes sont perçues par rapport à la hauteur des yeux (Warren et Whang, 1987; Stefanucci et Geuss, 2010) et la taille de son corps (Stefanucci et Geuss, 2009 ; Linkenauger et al., 2010). C'est notamment le cas s'agissant de l'anticipation et de la réalisation d'une action impliquant une prise en compte des dimensions du corps.

A l'origine de cette atteinte des représentations sensori-motrices du corps, l'existence d'un défaut d'intégration sensorielle semble faire son chemin (Tchanturia et al., 2001; Grunwald et al., 2004 ; Roberts et al., 2007; Keiser et al., 2011 ; Case et al., 2012 ; Eshkevari et al., 2012). Celui-ci serait secondaire à un dysfonctionnement du cortex pariétal droit (Kinsbourne et Bemporad, 1984; Grunwald et al., 2001, Wagner et al., 2003; Nico et al., 2010). Sans pour autant être encore en mesure de le considérer comme un marqueur trait ou état de l'anorexie mentale, ce dysfonctionnement pariétal ne semble pas sensible à la renutrition (Grunwald et al., 2001 ; Grunwald et al., 2001 ; Grunwald et al., 2004). Concernant cette question de l'endophénotype corporel, un moyen d'apporter un argument supplémentaire en faveur d'un marqueur trait pourrait être de proposer des paradigmes expérimentaux similaires à ceux suscités (Tchanturia et al., 2001; Grunwald et al., 2001 ;



Grunwald et al., 2004 ; Nico et al., 2010 ; Keiser et al., 2011 ; Case et al., 2012 ; Eshkevari et al., 2012) à l'entourage familial (fratrie, parents) des patientes afin d'évaluer si ces perturbations seraient également observées chez les apparentés. Une évaluation prospective d'une population de jeunes adolescentes (avant, pendant et après survenue d'un trouble du comportement alimentaire) constituerait une alternative plus pertinente d'un point de vue méthodologique, mais beaucoup plus coûteuse au vu du nombre de sujets à recruter.

Comme nous l'avons vu précédemment, intégration sensorielle et représentations du corps s'inscrivent dans un dialogue permanent. L'élaboration d'un schéma corporel unifié se trouve donc influencé par des effets de type *bottom-up* (Tchanturia et al., 2001; Grunwald et al., 2001 ; Grunwald et al., 2004 ; Nico et al., 2010 ; Keiser et al., 2011 ; Case et al., 2012 ; Eshkevari et al., 2012) et par des effets dit *top-down* du fait de la prise en compte d'informations cognitives, sémantiques ou encore émotionnelles (Aglioti et al., 1996 ; Paillard, 1999; Gallagher, 2005; Dijkerman et de Haan, 2007 ; de Vignemont et al., 2010). Pour Pollatos et ses collaborateurs (2008), en plus de cette perturbation de l'intégration sensorielle, les patientes présenteraient un défaut de conscience intéroceptive, se manifestant par des difficultés à reconnaître certains éprouvés corporels. Cette conscience altérée des percepts corporels pourraient avoir d'autres conséquences, en particulier cognitives. Le défaut persistant de reconnaissance de la gravité de la maigreur, tel qu'il est caractérisé par le DSM-IV (APA, 2000), pourrait en être une résultante. Les patientes se représentant comme plus grosses agissent en conséquence, validant ainsi chaque jour un peu plus cette croyance. Une boucle de renforcement des comportements restrictifs est dès lors mise en place par la procéduralisation de ces croyances erronées. « Non seulement, l'image que je me fais de moi est grosse, mais l'expérience que je vis au quotidien dans ce corps me le confirme. Je ne vois donc pas pourquoi je devrais m'arrêter de maigrir », semblent nous dire ces patientes (figure 61). A cela donc s'ajouterait un défaut de conscience intéroceptive, gênant la prise en compte des signaux d'alerte émis par le corps, et par la même le risque vital encouru.



**Figure 61.** Modèle physiopathologique de la distorsion corporelle secondaire à une perte massive et rapide de poids.

L'hypothèse également soutenue dans ce travail de thèse est l'existence d'un défaut de réactualisation par le SNC du schéma corporel (Guardia et al., 2010 ; Guardia et al., 2012 ; Case et al., 2012 ; Riva et al., 2012). A ce titre, l'étude de phénomènes neurologiques tels que le syndrome du membre fantôme permettent d'appuyer cette hypothèse (Ramachandran et al., 1995 ; Giummarra et al., 2010), en postulant l'existence d'une inadéquation entre les informations sensorielles afférentes et les régions corticales représentant le membre (Flor et al., 2006). Chez les patientes anorexiques, un conflit pourrait voir le jour entre un schéma corporel obsolète, celui-ci n'ayant pas pu prendre en compte la perte massive et rapide de poids et les informations afférentes et efférentes émanant du corps (figure). Comme le précise Riva (2012), « l'expérience que nous avons de l'espace, et qui inclut le corps, implique l'intégration de différentes modalités sensorielles en fonction de deux cadres de référence différents, l'un dit égocentrique, dans lequel le corps devient la référence de l'expérience en première personne, et l'autre dit allocentrique, dans lequel le corps est considéré comme un objet intégré dans le monde physique. (...) S'agissant des cognitions spatiales, ces cadres de référence s'influencent mutuellement lors de l'interaction entre les processus mnésiques à court et long terme. Si, pour une raison ou pour une autre, ce dialogue est perturbé, les entrées sensorielles égocentriques ne sont pas

plus en mesure de mettre à jour le contenu de la représentation du corps allocentrique : le sujet s'y trouve alors enfermé ». Ainsi, les patientes se trouveraient prisonnières de leur propre fantôme.

### **4.3. Perspectives**

#### **4.3.1. Perspectives de recherche**

Les études réalisées durant ces trois années nous ont permis de proposer un éclairage complémentaire sur les mécanismes qui sous-tendaient ces phénomènes de distorsions corporelles dans l'anorexie mentale, au premier rang desquels la survenue d'un défaut de réactualisation du schéma corporel. Des zones d'ombres persistent néanmoins s'agissant du retentissement cognitif d'un tel vécu corporel, à savoir la perte massive et rapide de poids. Il n'est pas rare que des patientes rapportent un certain sentiment d'étrangeté à la vision de leur reflet dans le miroir. De tels bouleversements physiologiques pourraient-ils aller jusqu'à ébranler l'identité même du sujet ? C'est tout du moins dans cette direction que nous souhaitons poursuivre nos futures recherches. Par la suite, nous envisageons de poursuivre notre réflexion sur les cognitions spatiales au travers d'un questionnement autour du lien unissant cognitions spatiales et cognitions sociales.

**La piste d'un trouble de la reconnaissance.** Dans une étude récente menée en imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), Sachdev et ses collaborateurs (2008) ont exploré les bases neurales de la reconnaissance de soi chez des patientes anorexiques. Il était demandé aux participantes d'identifier leur propre corps parmi différentes photographies. Les auteurs ont pu montrer que lors de la présentation d'images de leur propre silhouette, une plus grande activation de l'insula, du cortex préfrontal et du lobe occipital était mesurée dans le groupe contrôle (Sachdev et al., 2008). Il a déjà été montré que ces structures cérébrales participaient à la reconnaissance de soi (Devue et al., 2007). Cette étude menée chez des patientes anorexiques concluait donc que ce trouble de reconnaissance de soi pouvait être lié à un trouble du traitement perceptif visuel. Toutefois certaines remarques méthodologiques peuvent être faites, s'agissant notamment du temps

de présentation des stimuli dont la longueur ne permet pas d'éliminer l'activation de réseau plus cognitifs et plus représentationnels.

Vocks et ses collaborateurs (2010) ont exposé 13 patientes anorexiques et 27 sujets contrôles à des photographies de leur propre corps et du corps d'une autre femme. Deux répertoires de 16 photographies étaient constitués. L'un correspondait aux 16 clichés pris dans un angle différent de la participante, l'autre étant celui d'une inconnue. Les répertoires étaient présentés dans un ordre aléatoire. Avant chaque présentation de répertoire, une diapositive précisait s'il s'agissait de son propre corps ou du corps d'une autre femme. L'enregistrement avait alors lieu. La vision par les patientes anorexiques de leur propre corps n'était pas associée à une hyperactivité amygdalienne mais à une baisse significative d'activation dans l'uncus gauche (BA 20), le lobule pariétal supérieur gauche (BA 7), le gyrus frontal médian (BA 10), le gyrus fusiforme gauche (BA 20), le gyrus frontal inférieur (BA 47), le gyrus frontal supérieur (BA 6) et les gyri para-hippocampiques (BA 27), hippocampe droit inclus. Pour Vocks et son équipe (2010), ce résultat traduirait un comportement d'évitement. Ces stimuli étant vécus comme une menace, l'attention qui leurs serait allouée serait insuffisante à l'activation amygdalienne pourrait en être à l'origine. Une autre indication du comportement d'évitement pour les auteurs serait liée à l'hypoactivation du lobule pariétal inférieur (Vocks et al., 2010), impliqué dans le traitement des informations visuo-spatiales et dans les processus attentionnels (Behrmann et al., 2004). En revanche, lorsque les patientes anorexiques regardent le corps d'une autre femme, une activation plus marquée de certaines régions du système limbique seraient observées, telles que l'amygdale droite, les gyri para-hippocampique bilatéraux, l'hippocampe gauche et l'uncus gauche (Vocks et al., 2010). Cette hyperactivation amygdalienne chez les patientes anorexiques serait expliquée par une réactivité émotionnelle accrue associée à un haut degré de vigilance, le stimulus étant alors considéré comme moins menaçant.

L'existence d'un biais attentionnel ne contredit cependant pas l'hypothèse d'un déficit de reconnaissance de soi et qui pourrait constituer une interprétation alternative de l'hypoactivation amygdalienne, le stimulus n'étant pas traité comme étant soi. Comme nous l'avons vu, le dysfonctionnement du cortex pariétal (Grunwald et al., 2001 ; Nico et al., 2011) est à l'origine de distorsions de la représentation corporelle. La cinétique de dénutrition pourrait être à l'origine de perturbation de l'information sensorielle (Case et al., 2011). Le système nerveux central ne pouvant réactualiser suffisamment rapidement ses

représentations internes, les patientes se trouveraient emprisonnées dans un schéma corporel erroné (Riva et al., 2012 ; Case et al., 2012). Eshkeviri et ses collaborateurs (2012) ont mis en évidence une altération de la réponse à l'illusion de la main en caoutchouc chez les patientes souffrant d'anorexie mentale, soulevant du même coup la question d'un trouble du sentiment de propriété secondaire. Par conséquent, l'hypothèse d'un biais cognitif lié à une perte de poids massive et rapide engendrant un défaut d'actualisation et par la même une plus grande difficulté à la reconnaissance de soi ne semble donc pas déraisonnable : les patientes ne se reconnaîtraient pas telles qu'elles sont mais telles qu'elles imaginent être. Une telle hypothèse n'est pas sans rappeler le sentiment d'inquiétante étrangeté de Freud (1919) qui pourrait être à l'œuvre chez les patientes souffrant d'anorexie mentale. Pour Pontalis (1967), elle désigne « ce qui n'appartient pas à la maison et pourtant y demeure », un sentiment étrange produit par le fait de nous trouver face à face, brusquement et inopinément, avec l'image de notre propre personne et de ne pouvoir la reconnaître. Deux thèmes s'y rattachent : le thème du double, ainsi que du retour du semblable, illustrés par Freud lors d'un voyage en train. Celui-ci s'étonne de voir entrer par erreur dans son compartiment un vieil homme. Alors qu'il se lève pour lui indiquer son erreur, il se rend compte que ce personnage est en réalité le reflet de sa propre personne dans la vitre de la porte.

Afin de mieux comprendre les sous-bassements de tels phénomènes, nous souhaitons poursuivre nos travaux par la réalisation d'une étude en IRMf sur base de matériel photographique. Les participantes devront identifier leur propre silhouette, selon qu'il s'agit de leur silhouette réelle, de leur silhouette estimée (silhouette photographique surestimée) ou d'une silhouette autre. Une première analyse visera à étudier le contraste entre les différentes conditions : silhouette réelle versus silhouette estimée, silhouette réelle versus silhouette autre, silhouette estimée versus silhouette autre et silhouette autre versus état de repos.

Les stimuli seront préalablement construits à partir des photographies de chaque sujet (silhouette réelle). Une transformation de ces silhouettes sera opérée à l'aide d'un logiciel de morphose, dans le sens d'un grossissement, afin d'obtenir une banque d'images de silhouettes de taille croissante. De cette banque seront extraites les photographies suivantes :

- silhouette réelle (SR ; silhouette de la patiente au moment de l'étude),

- silhouette estimée (SE ; silhouette identifiée par la patiente comme lui correspondant le plus fidèlement lors de la tâche d'estimation des silhouettes),
- silhouette autre (SA ; silhouette ne correspondant à aucune des précédentes et définie par un IMC égal à 23).

L'analyse portera sur des zones d'intérêts, soit les aires impliquées dans la reconnaissance du corps et dans la référence à soi. Les données de la littérature incriminent un réseau d'activation distribué, incluant le cortex frontal et en particulier le cortex préfrontal médian et droit (Fossati et al., 2003; Kelley et al., 2002), le gyrus frontal inférieur gauche (Craig et al., 1999; Kircher et al., 2002) et le gyrus frontal supérieur gauche (Ruby et Decety, 2001; Seger et al., 2004), l'insula et le cortex cingulaire (Devue et al., 2007), le cortex temporal et plus spécifiquement le gyrus fusiforme et le gyrus temporal inférieur (Sugiura et al., 2006), le cortex pariétal et notamment le lobule pariétal inférieur droit (Uddin et al., 2005) et le précuneus (pour une revue voir Devue et al., 2011).

A l'issue de la passation, une analyse intragroupe sera réalisée en contrastant les conditions silhouette réelle versus silhouette estimée, les conditions silhouette réelle versus silhouette autre, les conditions silhouette estimée versus silhouette autre et les conditions silhouette autre versus état de repos. Dans la première condition (SR versus SE), nous nous attendons dans le groupe contrôle à une absence de différence significative, les sujets sains ne présentant pas de biais marqué de surestimation de la silhouette. En revanche, une différence significative est attendue dans le groupe des patientes dans le sens d'un rehaussement du contraste pour la SE, celle-ci étant reconnue comme propre. Dans la deuxième condition (SR versus SA), nous nous attendons dans le groupe contrôle à un rehaussement du contraste pour la SR, les sujets discriminant sans difficulté soi d'autrui. Dans le groupe de patientes en revanche une absence de différence significative est attendu, étant entendu que le biais cognitif suspecté induirait un défaut de reconnaissance de la SR au profit de la SE. S'agissant de la troisième condition (SE versus SA), nous nous attendons dans le groupe contrôle comme dans le groupe malade à un rehaussement du contraste pour la SE, dans la mesure où les sujets contrôles discriminent sans difficulté soi d'autrui et les patientes identifient leur SE comme étant la leur.

Un second niveau d'analyse, dit intergroupe permettra tout d'abord de comparer les résultats de ces contrastes entre les patientes et les contrôles appariés, puis de réaliser une analyse de covariance en incluant l'IMC et les scores obtenus aux échelles EDI 2 et BSQ

comme covariables chez les patientes. Dans le cas de l'existence d'une boucle renforçatrice, une liaison significative unirait ce biais cognitif aux croyances erronées sur le corps, au degré d'insatisfaction corporelle et à la recherche de minceur, signant par là même le caractère pronostique de ce biais.

Cette étude sera complétée, lors d'une seconde session expérimentale, d'une mesure de la réactivité électrodermale au cours de la présentation de photographies de son propre corps afin de tester l'hypothèse d'un biais émotionnel (soit une distorsion de la réponse en raison de facteurs émotionnels) à l'origine de ce trouble de la reconnaissance de soi. L'activité électrodermale est une activité électrique biologique enregistrée à la surface de la peau et reflétant l'activité des glandes sudoripares, elle-même régulée par le système nerveux autonome. Elle permet une mesure relativement objective de la réactivité émotionnelle (D'Hondt et al., 2010). Afin d'enregistrer la réponse électrodermale, des électrodes seront attachées au majeur et à l'index des participantes. Des interfaces permettront le recueil et l'analyse des signaux physiologiques sur un ordinateur portable. La tâche d'identification consistera en la réalisation d'une tâche comportementale avec enregistrement concomitant de la réponse électrodermale. Les participantes devront identifier leur propre silhouette de face et de profil, selon qu'il s'agit de leur silhouette réelle (SR ; silhouette de la patiente au moment de l'étude), de leur silhouette estimée (SE ; silhouette identifiée par la patiente comme lui correspondant le plus fidèlement lors de la tâche d'estimation des silhouettes), de leur silhouette avant maladie (SAM ; silhouette correspondant à l'IMC avant le début des troubles), ou d'une silhouette autre (SA ; silhouette ne correspondant à aucune des précédentes et définie par un IMC égal à 23).

L'analyse visera à quantifier l'amplitude de la réponse électrodermale lors de la présentation des silhouettes. L'amplitude de la réponse électrodermale (RED) devrait varier selon les conditions et faire apparaître des différences lors de l'analyse intergroupe. Lors de la présentation de SR, nous nous attendons à une différence de RED entre les groupes dans le sens d'une augmentation de l'amplitude dans le groupe malade liée à un biais émotionnel négatif résultant de la visualisation de sa propre silhouette. En revanche, nous n'attendons pas de variation significative de la RED dans le groupe contrôle, l'identification de leur propre silhouette ne générant pas de biais émotionnel. Nous nous attendons par ailleurs à ce que le retard d'identification soit corrélé à l'amplitude de la RED, signant ainsi l'existence d'un biais émotionnel à l'origine d'un défaut de la reconnaissance de soi. Lors de la

présentation de la SE, nous n'attendons pas de variation de la RED dans les deux groupes, l'ensemble des sujets identifiant la SE comme étant la leur. Lors de la présentation de la SAM, nous nous attendons à une variation importante de l'amplitude de la RED dans le groupe malade, ainsi qu'à une corrélation entre cette amplitude de réponse et le degré d'insatisfaction corporelle. L'apparition d'une réponse émotionnelle forte constituera un élément pronostique dans la mesure où des corrélations positives pourront être observées entre l'amplitude de la RED et les scores obtenus aux différentes échelles.

**Le lien entre cognitions spatiales et cognitions sociales.** Nos travaux nous ont permis d'évaluer les compétences des patientes souffrant d'anorexie mentale quant à l'usage de référentiels spatiaux. Les perturbations retrouvées, quelle que soit la tâche d'ajustement effectuée (référentiel allocentré pour la perception de la VS et référentiel égocentré pour la perception de l'axe Z), laissent à penser que les anomalies d'intégration multisensorielle observées dans l'anorexie mentale (Tchanturia et al., 2001; Grunwald et al., 2004 ; Roberts et al., 2007; Keiser et al, 2011 ; Case et al., 2012 ; Eshkevari et al., 2012) pourraient être à l'origine d'une perturbation de l'utilisation de ces référentiels spatiaux. Auxquelles pourraient s'ajouter un défaut de conscience intéroceptive (Pollatos et al., 2008 ; Barra et al., 2012).

S'inspirant de la cognition spatiale, Frith et Vignemont ont proposé de distinguer une perspective égocentrique et une perspective allocentrique en cognition sociale (2005). Dans le premier cas, autrui serait compris dans sa relation plus ou moins directe avec le sujet (par exemple, le sujet joue avec ses camarades). Dans le second, autrui est compris dans sa relation avec d'autres individus, le sujet étant alors observateurs des différentes interactions (par exemple, le sujet regarde jouer ses camarades). Ces deux perspectives auraient des fonctions distinctes mais complémentaires. En effet, seule une représentation égocentrique de l'autre permettrait au sujet d'interagir avec lui. Alors qu'une perspective allocentrique et donc extérieure lui permettrait d'acquérir une plus grande connaissance des interactions sociales.

Notre expérience clinique nous amène à nous interroger sur la capacité des patientes atteintes d'anorexie mentale à inférer des états mentaux et notamment des états mentaux autres que les leurs. Celles-ci souffrent en effet de difficultés dans le champ des relations sociales, caractérisées notamment par une tendance à la projection de ses propres



intentions ou émotions sur l'autre et une certaine difficulté à inférer d'autres états mentaux, notamment émotionnels, que les leurs à autrui. Une étude récente a pu montrer l'existence de perturbations quantitatives quant à l'aptitude des patientes anorexiques à attribuer des intentions et des émotions à autrui (Russell et al., 2009). Les tests employés sont le test du regard dans sa version révisée (Baron-Cohen et al., 2001) et la tâche d'attribution d'intentions (Happé et al., 1999), le premier consistant à faire des inférences sur l'état émotionnel ou motivationnel d'une personne sur la base de son seul regard au moyen de photographies de regards en noir et blanc et le second en une série de bandes dessinées composées de trois images racontant une courte histoire que le sujet doit achever en choisissant la plus logique des trois propositions. À l'évidence, les patientes possèdent une théorie de l'esprit (Adenzato et al., 2012). Toutefois, une baisse des performances est rapportée (Russell et al., 2009). Le déficit ne semble donc pas qualitatif mais bien quantitatif. En outre, ce phénotype serait présent aussi bien lors de l'éclosion des troubles qu'après (Fairburn et al., 1999 ; Wentz et al., 2001 ; Troop et Bifulco, 2002) et ne peut donc être imputé à des facteurs confondants tels que la dénutrition notamment.

Une distinction est classiquement retrouvée dans les mécanismes à l'œuvre dans la théorie de l'esprit. Il en existerait notamment deux principaux, à savoir l'hyperthéorie (ou théorie de la théorie) et la théorie de la simulation. S'agissant de la première, le sujet déterminerait les états mentaux d'autrui en utilisant une théorie tacite du fonctionnement de l'esprit, qui est en partie fondée sur l'expérience passée du sujet et sur les lois qu'il en a tirées (Leslie, 1987 ; Gopnik, 1993). S'agissant de la seconde, il suffirait au sujet de se mettre à la place de l'autre, de prendre sa perspective sur le monde, utilisant alors normalement ses facultés, comme par exemple son système de réponse émotionnelle (Goldman, 1995 ; Gordon, 1996). Cette dichotomie semble être de plus en plus remise en cause au profit de modèles hybrides, faisant appel à la fois à des capacités d'hyperthéorisation et de simulation (Nichols et Stich, 2003). Les travaux de Frith et Vignemont ont permis d'ajouter une nouvelle dimension à ces différentes modélisations en réinterrogeant le modèle sous l'angle des perspectives égocentriques des perspectives allocentriques (2005). Cette distinction semble être en accord avec les observations cliniques rapportées auprès de cette population de patientes. Notre étude vise donc à tester ce modèle théorique dans cette indication afin d'apporter plus d'éclaircissement sur les déficits observés (Russell et al., 2009).

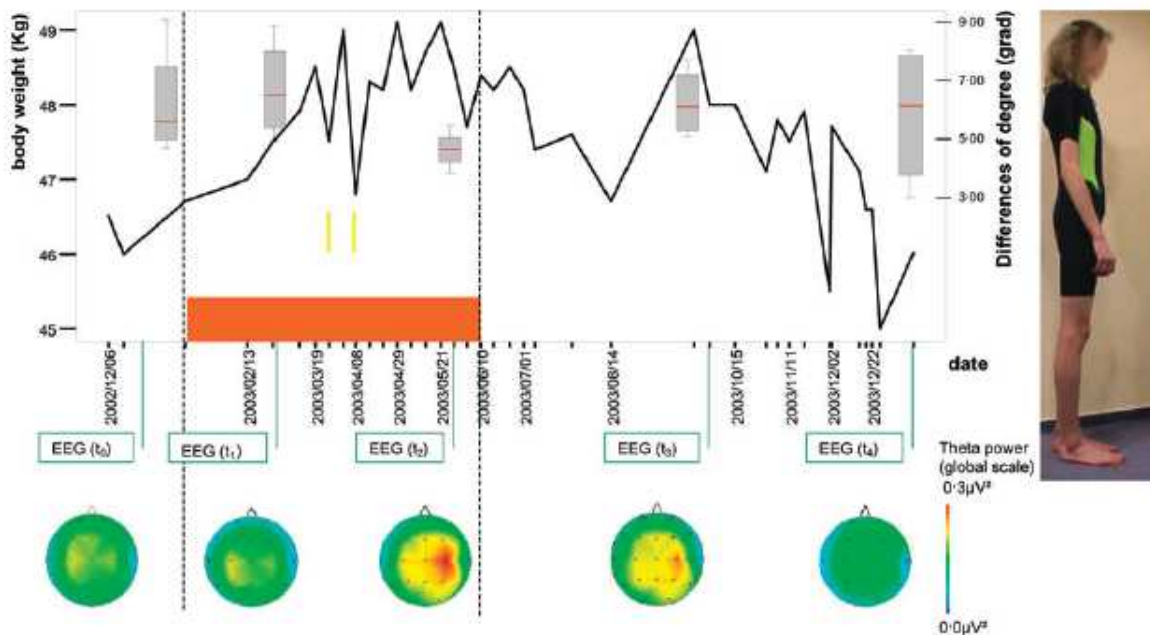
Il s'agira de savoir si un défaut d'allocentrisme et/ou un excès d'égoцентризм serait à même de générer des baisses de performances sociales, tant du point de vue de l'empathie que de la théorie de l'esprit. Pour ce faire, quatre tâches comportementales seront successivement proposées aux patientes, celles-ci visant à mesurer tours à tours l'influence des référentiels spatiaux égocentré et allocentré employés, de l'exploration visuelle et tactile, et de la position du corps dans l'espace. Ces différentes tâches visent à évaluer l'emploi des référentiels spatiaux tout en contrôlant les différents facteurs confondant que sont la modalité sensorielle employée d'une part et la position du corps dans l'espace d'autre part. Dans le même temps, différentes tâches cognitives visant à évaluer la capacité d'empathie et la théorie de l'esprit seront proposées aux sujets. Nous étudierons à l'issue de ces explorations l'influence des perturbations observées les unes sur les autres, partant du principe qu'un continuum existe dans l'élaboration de référentiels égocentré et allocentré, mettant en jeu de manière évolutive une perspective spatiale puis sociale.

#### **4.3.2. Perspectives thérapeutiques**

Comme le suggère le modèle physiopathologique proposé, différentes cibles thérapeutiques sont à privilégier. La première concerne les représentations sensorimotrices du corps et implique l'élaboration d'outils de remédiation visant une réactualisation du schéma corporel. Ces derniers permettront d'agir sur les afférences sensorielles et les efférences motrices.

S'agissant des afférences sensorielles plusieurs pistes de travail sont à développer. La première a été proposée par Grunwald et Weiss (2005). Ces derniers ont proposé une stimulation intensive de la surface du corps. Pour ce faire, une combinaison en néoprène fut conçue sur mesure et portée par une patiente anorexique pendant une heure trois fois par jour. La patiente retranscrivait les événements de la journée ainsi que les perceptions corporelles sur un carnet. Ces séances furent maintenues pendant 15 semaines. L'ensemble du projet a duré 14 mois. Les variables prises en compte dans l'analyse étaient le poids, l'activité électroencéphalique et en particulier la mesure des ondes  $\theta$  (Grunwald et al., 2001, 2004), les performances comportementales lors d'une tâche d'ajustement d'angle (Grunwald et al., 2002), les scores obtenus lors de la passation de questionnaires portant sur les comportements alimentaires. La patiente ne rapportera aucun effet secondaire physique

ou psychologique en lien avec ce traitement. A l'issue de ce programme thérapeutique, Grunwald et Weiss (2005) observeront une augmentation significative du poids, une normalisation de l'activité  $\theta$ , ainsi qu'une amélioration des distorsions corporelles (figure 62). Des précautions doivent cependant être prises dans la mesure où l'expérience ne portait que sur un sujet.



**Figure 62.** Evolution du poids, des performances lors de l'ajustement d'angles et de l'activité électroencéphalographique  $\theta$  de la patiente au cours des 14 mois. La barre rouge indique la période d'utilisation de la combinaison. Les barres jaunes indiquent un épisode infectieux (d'après Grunwald et Weiss, 2005).

Dans la continuité, Kolnes (2012) a récemment proposé la physiothérapie comme base de traitement des distorsions corporelles, en utilisant des moyens physiques, tels que la thérapie manuelle, les stimulations thermiques, l'hydrothérapie, les exercices physiques, les massages. Cette approche inclut la prise en compte des éprouvés émotionnels de manière à prendre en charge tant la sensibilité que la conscience intéroceptive. Différents ateliers portant sur l'intéroception, le contact, la mise en tension et le relâchement musculaire, la posture et le contrôle postural ont été développés par son équipe. Cette démarche bien qu'empirique semble avoir amélioré la prise en charge de ces patientes.

Dodin et ses collaborateurs (2012) proposent des soins à médiation sensorielle. Cet outil thérapeutique combine des stimulations olfactives, un enveloppement corporel chaud, dans un environnement musical lumineux relaxant. Au préalable, le sujet doit définir

l'ambiance olfactive dans laquelle il sera plongé. Pour ce faire, il dispose d'une cinquantaine d'odeurs différentes, réparties en 6 groupes : odeurs de nature et de fleurs, odeurs alimentaires, odeurs de salle de bain, odeurs d'alerte, odeurs de trousse d'école, odeurs de pharmacie. Le choix de ces odeurs vise un réveil tant émotionnel que mnésique. Les odeurs sélectionnées seront utilisées au cours des séances. Le nombre de séances a été fixé à 10, à raison d'une par semaine. Chaque séance dure une heure. L'équipe se compose d'un psychothérapeute et d'un infirmier. Durant ces séances, un travail de relaxation, d'éprouvé sensoriel et émotionnel est mené. Les auteurs ne disposent pas encore de données autres qu'empirique sur l'efficacité de tels ateliers qui semblent néanmoins très appréciés par les patientes (Dodin et al., 2012).

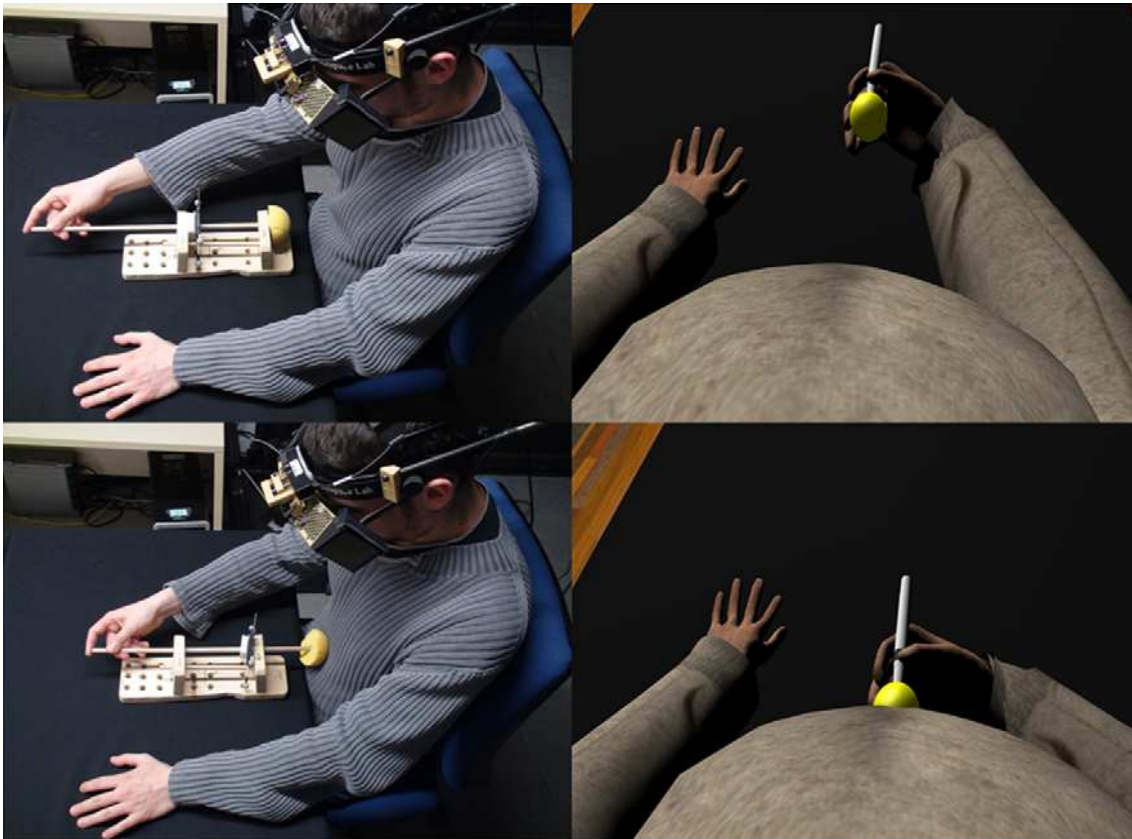
Cette dernière décennie fut également marquée par l'avènement de la réalité virtuelle. Cette technologie semble particulièrement appropriée non seulement pour l'évaluation des troubles d'image corporelle, mais aussi pour son traitement (Ferrer-Garcia et Gutierrez-Maldonado, 2012). Plusieurs logiciels d'immersion ont déjà été élaborés à cet effet (Perpina et al., 2003 ; Riva et al., 2004). Toutefois, ces derniers n'ont jusqu'à maintenant pas eu pour cible les distorsions corporelles. Il s'agissait principalement de techniques d'exposition et de désensibilisation par le biais d'une immersion en réalité virtuelle. Nous pensons que le paradigme de l'illusion de sortie de corps pourrait être un outil complémentaire intéressant (Petkova et Ehrsson, 2008). La permutation de corps est désormais rendue possible par la réalité virtuelle (figure 63).



**Figure 63.** Dispositif expérimental permettant d'induire le sentiment d'appropriation d'un corps artificiel (photographie de gauche). Le participant voit le corps du mannequin dans la perspective de la tête du mannequin (photographie de droite ; d'après Petkova et Ehrsson, 2008).

Cette procédure aurait pour intérêt de proposer une recalibration visuo-tactile du schéma corporel, les patientes réintégrant leur schéma réel par le biais de cette permutation virtuelle. Il s'agirait ainsi d'expérimenter de nouvelles limites du corps plus adéquates et ainsi d'agir sur les croyances erronées par un effet de type *bottom-up*. Cette technique semble avoir d'autant plus d'intérêt que ces dernières sont plus sensibles à ce type d'illusion (Eshkevari et al., 2012).

Une alternative pourrait être celle proposée par Normand et ses collaborateurs (2011). Pour mémoire, les sujets étaient plongés dans un corps virtuel dont les dimensions avaient été augmentées. Des stimulations tactiles du ventre des participants étaient effectuées de façon alternativement synchrone et désynchrone (figure). Les stimulations multisensorielles synchrones provoquent des changements de dimensions du schéma corporel et l'émergence secondaire d'une représentation consciente du corps, les participants se percevant plus gros qu'ils ne l'étaient en réalité.



**Figure 7.** Dispositif expérimental d’immersion en réalité virtuelle et de stimulation synchrone d’un gros avatar (d’après Normand et al., 2011).

Nous concevons aisément l’utilisation thérapeutique qui pourrait être faite de ce type d’effet pour les patientes anorexiques, afin de les aider à développer une perception plus réaliste de leur propre corps.

S’agissant des efférences motrices, il s’agit désormais d’engager le corps dans l’action. Les baisses de performances tant du point de vue de l’anticipation que de la réalisation d’actions impliquant les limites du corps pourront être initialement quantifiées. Des ateliers de remédiation seront dès lors proposés. Ils impliqueront tour à tour la position du corps dans l’espace, l’atteignabilité d’objets, la réalisation de tâches motrices impliquant les limites du corps, de manière à réactualiser les représentations corporelles internes pour le biais d’émission de copies efférentes adaptées.

Les autres cibles thérapeutiques à privilégier seront les représentations du corps de deuxième ordre, qu’il s’agisse de structure, de sémantique ou de croyance. Là encore des outils de remédiation pourront être mis à disposition des patients. Afin de lutter contre l’effet renforçateur des distorsions corporelles observées, il s’agira de restaurer un certain

niveau de flexibilité cognitive (Tchanturia et al., 2007 ; Whitney et al., 2008 ; Genders et Tchanturia, 2010), de manière à lutter plus efficacement contre les fausses croyances envers le corps (Vocks et al., 2010, 2011).

Whitney et ses collaborateurs (2008) propose un programme de remédiation cognitive d'une dizaine de séances durant environ 30 à 45 minutes. Le but est de limiter le perfectionnisme, la rigidité et le manque de flexibilité, le souci du détail et d'adopter une vision d'ensemble. Il s'agit également de rétablir un certain niveau de confiance en soi et d'acquérir un certain niveau d'introspection. Pour ce faire différents exercices sont proposés tout au long de ses séances (bisection de lignes, illusions sensorielles, tours de Londres, test de Stroop, manipulation de nombre, de formes et de lettres...). Les patients doivent se familiariser avec les exercices, établir des liens entre les exercices et leur mode de pensée, adapter ces exercices à des situations de la vie quotidienne afin de pouvoir les mettre en œuvre par la suite. Ce type de traitement constitue pour les auteurs un préalable nécessaire à d'autres formes de psychothérapies.

S'agissant plus précisément de la représentation du corps, Vocks et Legenbauer (2005) proposent un programme d'une dizaine de séances de 90 minutes chacune sur une période de 3 mois, sur base d'un support vidéo et photographique. Le contenu reste inchangé d'une session sur l'autre. Au cours de ces séances, différents exercices d'exposition sont proposés au patient afin de corriger le biais de surestimation corporelle, de limiter les conduites d'évitement de son propre corps. Les émotions et les pensées négatives sont également abordées au cours de ces séances. Ce programme semble avoir déjà fait la preuve de son efficacité, comme en témoignent les modifications fonctionnelles observées en neuroimagerie après traitement : augmentation de l'activité dans le gyrus temporal moyen, incluant l'EBA, et les structures frontales bilatérales, le gyrus frontal moyen y compris (Vocks et al., 2010, 2011).

Au vue de ces différentes expériences, il serait pertinent de concevoir un protocole d'évaluation du bénéfice apporté par de tels traitements à plus grande échelle. Nous proposons de réaliser un essai thérapeutique contrôlé, composé de trois bras : (i) Groupe A remédiation sensorimotrice + remédiation cognitive + traitement usuel, (ii) Groupe B remédiation cognitive + traitement usuel, (iii) Groupe C traitement usuel. Le programme de remédiation sensorimotrice se composera de 10 sessions, dont la fréquence sera bihebdomadaire et d'une durée de 60 minutes. Les techniques de recalibration

comprendront des stimulations tactiles, des immersions en réalité virtuelle, des activités motrices impliquant une prise en compte des dimensions corporelles. Le programme de remédiation cognitive s'inspirera des protocoles de Whitney et ses collaborateurs (2008) et de Vocks et Legenbauer (2005). Les variables d'analyse avant et après traitement seront : le biais de surestimation corporelle (adapté de Gardner et al., 1999), les scores obtenus lors de la passation de l'EDI-2 et du BSQ et, les performances comportementales lors de la tâche d'anticipation et de réalisation d'action, le score de flexibilité cognitive obtenu lors du test de Wisconsin. La durée estimée d'un tel programme serait d'environ 5 semaines. Les résultats attendus seraient une réduction significative des distorsions corporelles et de l'intensité des symptômes alimentaires, une meilleure introspection des patients, une meilleure tolérance de la prise de poids et une réduction de la durée d'hospitalisation.



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Aglioti, S., Smania, N., Manfredi, M. et Berlucchi, G. (1996). Disownership of left hand and objects related to it in a patient with right brain damage. *NeuroReport*, 8, 293–296.
- Ajuriaguerra, J. (1970). *Manuel de psychiatrie de l'enfant*. Paris : Masson.
- Aleong, R. et Paus, T. (2010). Neural correlates of human body perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(3), 482-495.
- Almeida, Q.J. et Lebold, C.A. (2010). Freezing of gait in Parkinson's disease: A perceptual cause for a motor impairment? *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 81(5), 513–518.
- American Psychiatric Association. (1980). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (3rd ed. revised)*. Washington, DC: American Psychiatric Association.
- American Psychiatric Association. (2000). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (4th ed. revised)*. Washington, DC: American Psychiatric Association.
- Andreasen, N.C. et Bardach, J. (1977). Dysmorphophobia: symptom or disease? *American Journal of Psychiatry*, 134(6), 673-676.
- Anema, H. A., van Zandvoort, M. J., de Haan, E. H., Kappelle, L. J., de Kort, P. L., Jansen, B. P., et al. (2009). A double dissociation between somatosensory processing for perception and action. *Neuropsychologia*, 47, 1615–1620.
- Anquetil, T. et Jeannerod, M. (2007). Simulated actions in the first and in the third person perspectives share common representations. *Brain Research*, 1130(1), 125-129.
- Armel, K.C. et Ramachandran, V.S. (2003). Projecting sensations to external objects: Evidence from skin conductance response. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B, Biological Science*, 270, 1499–1506.
- Astruc, P. (1934). *Charles Lasègue (1816-1883) Les Biographies médicales*. Paris : Ed. J-B Baillière et fils.
- Aubert, H. (1861). Eine scheinbare bedeutende drehung von objecten bei neigung des kopfes nach rechts oder links. *Virkows Archivs*, 20, 381-393.
- Avillac, M., Denève, S., Olivier, E., Pouget, A. et Duhamel, J.R. (2005). Reference frames for representing visual and tactile locations in parietal cortex. *Nature Neuroscience*, 8(7), 941-949.
- Baars, B.J. (2002). The conscious access hypothesis: origins and recent evidence. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(1), 47-52.

- Baier, B. et Karnath, H.O. (2008). Tight link between our sense of limb ownership and self-awareness of actions. *Stroke*, 39, 486–488.
- Bailer, U.F., Price, J.C., Meltzer, C.C., Mathis, C.A., Frank, G.K., Weissfeld, L., et al. (2004). Altered 5-HT(2A) receptor binding after recovery from bulimia-type anorexia nervosa: relationships to harm avoidance and drive for thinness. *Neuropsychopharmacology*, 29(6), 1143-1155.
- Bain, A. (1855). *The Senses and the Intellect*. London : J.W. Parker & Son.
- Baker, D., Sivyer, R. et Towell, T. (1998). Body image dissatisfaction and eating attitudes in visually impaired women. *International Journal of Eating Disorders*, 24(3), 319-322.
- Bakker, M., De Lange, F.P., Helmich, R.C., Scheeringa, R., Bloem, B.R. et Toni, I., (2008). Cerebral correlates of motor imagery of normal and precision gait. *NeuroImage*, 41, 998–1010.
- Barra, J., Pérennou, D., Thilo, K.V., Gresty, M.A. et Bronstein, A.M. (2012). The awareness of body orientation modulates the perception of visual vertical. *Neuropsychologia*, 50(10), 2492-2498.
- Baudry C, Reichardt F, Marchix J, Bado A, Schemann M, des Varannes SB, et al. (2012). Diet-induced obesity has neuroprotective effects in murine gastric enteric nervous system: involvement of leptin and glial cell line-derived neurotrophic factor.
- Bauermeister, M., Werner, H. et Wapner, S. (1964). The effect of body tilt on tactuakinesesthetic perception of verticality. *American Journal of Psychology*, 77, 451–456.
- Benson, A.J. (1990). Sensory functions and limitations of the vestibular system. In R. Warren et A.H. Wertheim (Eds.). *Perception Control of Self-Motion* (pp. 145-170). Hillsdale, New-Jersey : Erlbaum.
- Berlucchi, G. et Aglioti, S.M. (2010). The body in the brain revisited. *Experimental Brain Research*, 200(1), 25-35.
- Berry, E.M., Fried, S. et Edelstein, E.L. (1995). Abnormal oral sensory perception in patients with a history of anorexia nervosa and the relationship between physiological and psychological improvement in this disease. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 63(1), 32-37.
- Berryman, L.J., Yau, J.M. et Hsiao, S.S. (2006). Representation of object size in the somatosensory system. *Journal of Neurophysiology*, 96(1), 27-39.
- Bertamini, M., Yang, T.L. et Proffitt, D.R. (1998). Relative size perception at a distance is best at eye level. *Perception and Psychophysics*, 60(4), 673-682.

- Berthoz, S., Perdereau, F., Godart, N., Corcos, M. et Haveland, M.G. (2007). Observer- and self-rated alexithymia in eating disorder patients: levels and correspondence among three measures. *Journal of Psychosomatic Research*, 62(3), 341-347.
- Bischof, N. (1974). Optic-vestibular orientation to the vertical. In H.B. Kornhuber (Ed.), *Handbook of Sensory Physiology* (pp155-190). New-York: Springer-Verlag.
- Blakemore, S.J., Frith, C.D. et Wolpert, D.M. (1999). Spatio-temporal prediction modulates the perception of self-produced stimuli. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11(5), 551-559.
- Blakemore, S.J., Wolpert, D. et Frith, C. (2000). Why can't you tickle yourself? *Neuroreport*, 11(11), R11-6.
- Blakemore, S.J. et Frith, C. (2003). Self-awareness and action. *Current Opinion in Neurobiology*, 13(2), 219-224.
- Blanke, O., Landis, T., Spinelli, L. et Seeck, M. (2004). Out-of-body experience and autoscopia of neurological origin. *Brain*, 127(2), 243-258.
- Blanke, O., Morgenthaler, F.D., Brugger, P. et Overney, L.S. (2009). Preliminary evidence for a fronto-parietal dysfunction in able-bodied participants with a desire for limb amputation. *Journal of Neuropsychology*, 3(2), 181-200.
- Blanke, O. et Mohr, C. (2005). Out-of-body experience, heautoscopy, and autoscopic hallucination of neurological origin. Implications for neurocognitive mechanisms of corporeal awareness and self-consciousness. *Brain Research Review*, 50(1), 184—199.
- Blanke, O. et Metzinger, T. (2009). Full-body illusions and minimal phenomenal selfhood. *Trends in Cognitive Sciences*, 13, 7–13.
- Blankenburg, F., Ruben, J., Meyer, R., Schwiemann, J. et Villringer, A. (2003). Evidence for a rostral-to-caudal somatotopic organization in human primary somatosensory cortex with mirror-reversal in areas 3b and 1. *Cerebral Cortex*, 13(9), 987–993.
- Block, N. (2007). Consciousness, accessibility, and the mesh between psychology and neuroscience. *Behavioral and Brain Sciences*, 30(5-6), 481-99; discussion 499-548.
- Bloem, B.R., Hausdorff, J.M., Visser, J.E. et Giladi, N. (2004). Falls and freezing of gait in Parkinson's disease: A review of two interconnected, episodic phenomena. *Movement Disorders*, 19(8), 871–884.
- Bonda, E., Petrides, M., Ostry, D. et Evans, A. (1996). Specific involvement of human parietal systems and the amygdala in the perception of biological motion. *Journal of Neuroscience*, 16, 3737-3744.

- Bonnier, P. (1902). Le sens des attitudes. *Nouvelle Iconographie de La Salpêtrière*, 15, 146-83.
- Bors, E. (1951). Phantom limbs of patients with spinal cord injury. *Archives of Neurology and Psychiatry*, 66, 610–631.
- Bortolami, S.B., Pierobon, A., DiZio, P. et Lackner, J.R. (2006). Localization of the subjective vertical during roll, pitch, and recumbent yaw body tilt. *Experimental Brain Research*, 173(3), 364-373.
- Botvinick, M. et Cohen, J. (1998). Rubber hands ‘feel’ touch that eyes see. *Nature*, 391(6669), 756.
- Bourrelly, A., Bringoux, L. et Vercher, J.L. (2009). Influence of gaze elevation on estimating the possibility of passing under high obstacles during body tilt. *Experimental Brain Research*, 193(1), 19-28.
- Branch, C.H. et Eurman, K.J. (1980). Social attitudes toward patients with anorexia nervosa. *American Journal of Psychiatry*, 137, 631-632.
- Brang, D., McGeoch, P.D. et Ramachandran, V.S. (2008). Apotemnophilia: a neurological disorder. *Neuroreport*, 19(13), 1305-1306.
- Breathnach, C.S. (1998). Richard Morton's Phthisiologia. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 91(10), 551–552.
- Bronstein, A.M. (1999). The interaction of otolith and proprioceptive information in the perception of verticality. The effects of labyrinthine and CNS disease. In B. Cohen & B.J.M. Hess (Eds.), *Otolith function in spatial orientation and movement* (pp. 324-333), Annals of the New York Academy of Sciences (Vol. 871).
- Brown, P.B., Koerber, H.R. et Millecchia, R. (2004). From innervation density to tactile acuity: 1. Spatial representation. *Brain Research*, 1011(1), 14–32.
- Bruch, H. (1975). *Les yeux et le ventre : l'obèse, l'anorexique et moi dedans*. Paris : Payot.
- Brugger, P., Kollias, S.S., Muri, R.M., Crelner, G., Hepp-Reymond, M.C. et Regard M. (2000). Beyond remembering: Phantom sensations of congenitally absent limbs. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97, 6167–6172.
- Bunning, S. et Blanke, O. (2005). The out-of body experience: precipitating factors and neural correlates. *Progress in Brain Research*, 150, 331–350.
- Buser, P. et Imbert, M. (1975). *Neurophysiologie fonctionnelle*. Paris : Éditions Hermann.
- Buxbaum, L.J., Giovannetti, T. et Libon, D. (2000). The role of the dynamic body schema in praxis: evidence from primary progressive apraxia. *Brain Cognition*, 44(2), 166-91.

- Buxbaum, L.J. et Coslett, H.B. (2001). Specialized structural descriptions for human body parts: Evidence from autotopagnosia. *Cognitive Neuropsychology*, 18, 289–306.
- Cardinali, L., Brozzoli, C. et Farnè, A. (2009). Peripersonal space and body schema: two labels for the same concept? *Brain Topography*, 21(3-4), 252-260.
- Carrozzo, M., McIntyre, J., Zago, M. et Lacquaniti, F. (1999). Viewer-centered and bodycentered frames of reference in direct visuomotor transformations. *Experimental Brain Research*, 129, 201-210.
- Cash, T.E. et Deagle, E.A. (1997). The nature and extent of body-image disturbances in anorexia nervosa and bulimia nervosa: A meta-analysis. *International Journal of Eating Disorders*, 22, 107–125.
- Cash, T.F., Phillips, K.A., Santos, M.T. et Hrabosky, J.I. (2004). Measuring "negative body image": validation of the Body Image Disturbance Questionnaire in a nonclinical population. *Body Image*, 1(4), 363-372.
- Case, L.K., Wilson, R.C. et Ramachandran, V.S. (2012). Diminished size-weight illusion in anorexia nervosa: evidence for visuo-proprioceptive integration deficit. *Experimental Brain Research*, 217, 79–87.
- Chao, L.L. et Martin, A. (2000). Representation of manipulable man-made objects in the dorsal stream. *Neuroimage*, 12(4), 478-484.
- Chao, L.L., Haxby, J.V. et Martin, A. (1999). Attribute-based neural substrates in temporal cortex for perceiving and knowing about objects. *Nature Neuroscience*, 2(10), 913-919.
- Charles, M.A., Eschwège, E. et Basdevant, A. (2008). Monitoring the obesity epidemic in France: the Obepi surveys 1997-2006. *Obesity*, 16(9), 2182-2186.
- Charpentier, A. (1891). Analyse expérimentale: De quelques éléments de la sensation de poids. *Archives de Physiologie Normale et Pathologique*, 3, 122–135.
- Cholewiak, R.W. (1999). The perception of tactile distance: influences of body site, space, and time. *Perception*, 28(7), 851-875.
- Clark, W.S., Lange K.C. et Coermann, R.R. (1962). Deformation of the human body, due to uni-directional forced sinusoidal vibration. *Human Factors*, 255-274.
- Classification internationale des troubles mentaux et des troubles du comportement. (1993). *Critères diagnostiques pour la recherche*. Genève/Paris: OMS/Masson; 1993.
- Cohen, R.G., Chao, A., Nutt, J.G. et Horak, F.B. (2011). Freezing of gait is associated with a mismatch between motor imagery and motor execution in narrow doorways, not with failure to judge doorway passability. *Neuropsychologia*, 49(14), 3981-3988.

- Colby, C.L. et Duhamel, J.R. (1996). Spatial representations for action in parietal cortex. *Brain Research, Cognitive Brain Research*, 5(1-2), 105-15.
- Conomy, J.P. (1973). Disorders of body image after spinal cord injury. *Neurology*, 23, 842–850.
- Cooper, P.J., Taylor, M.J., Cooper, Z. et Fairburn, C.G. (1987). The development and validation of the body shape questionnaire. *The International Journal of Eating Disorders*, 6, 485–494.
- Corcos, M. (2005). *Le corps insoumis, psychopathologie des troubles des conduits alimentaires*. Paris : Dunod.
- Corcos, M., Guilbaud, O., Speranza, M., Paterniti, S., Loas, G., Stephan, P. et al. (2000). Alexithymia and depression in eating disorders. *Psychiatry Research*, 93(3), 263-266.
- Corradi-Dell'Acqua, C., Hesse, M.D., Rumiati, R.I. et Fink, G.R. (2008). Where is a nose with respect to a foot? The left posterior parietal cortex processes spatial relationships among body parts. *Cerebral Cortex*, 18(12), 2879-2890.
- Corradi-Dell'Acqua, C., Tomasino, B. et Fink, GR. (2009). What is the position of an arm relative to the body? Neural correlates of body schema and body structural description. *Journal of Neuroscience*, 29(13), 4162-4171.
- Coslett, H.B., Saffran, E.M. et Schwoebel, J. (2002). Knowledge of the body: A distinct semantic domain. *Neurology*, 59, 357–363.
- Craig, A.D. (2009). How do you feel – now? The anterior insula and human awareness. *Nature Reviews Neuroscience*, 10, 59–70.
- Craig, J.C. et Rollman, G.B. (1999). Somesthesia. *Annual Review of Psychology*, 50, 305-331.
- Critchley, H.D., Wiens, S., Rotshtein, P., Ohman, A. et Dolan, R.J. (2004). Neural systems supporting interoceptive awareness. *Nature Neuroscience*, 7, 189–195.
- Damasio, A.R., Grabowski, T.J., Bechara, A., Damasio, H., Ponto, L.L., Parvizi, J. et al. (2000). Subcortical and cortical brain activity during the feeling of self-generated emotions. *Nature Neuroscience*, 3, 1049-56.
- David, N., Jansen, M., Cohen, M.X., Osswald, K., Molnar-Szakacs, I., Newen, A. et al. (2008). Disturbances of self-other distinction after stimulation of the extrastriate body area in the human brain. *Social Neuroscience*, 21, 1–9.
- Davis, M.H., Conklin, L., Smith, A. et Luce, C. (1996). Effect of perspective taking on the cognitive representation of persons: a merging of self and other. *Journal of Personality and Social Psychology*, 70, 713-726.

- Decety, J., Perani, D., Jeannerod, M., Bettinardi, V., Tadary, B., Woods, R. et al. (1994). Mapping motor representations with positron emission tomography. *Nature*, 371, 600-602.
- Decety, J., Grezes, J., Costes, N., Perani, D., Jeannerod, M., Procyk, E. et al. (1997). Brain activity during observation of actions. Influence of action content and subject's strategy. *Brain*, 120, 1763-1777.
- Decety, J. et Grezes, J. (2006). The power of simulation: imagining one's own and other's behavior. *Brain Research*, 1079, 4-14.
- Dehaene, S., Changeux, J.P., Naccache, L., Sackur, J. et Sergent, C. (2006). Conscious, preconscious, and subliminal processing: a testable taxonomy. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(5), 204-11.
- Dehaene, S., Sergent, C. et Changeux, J.P. (2003). A neuronal network model linking subjective reports and objective physiological data during conscious perception. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(14), 8520-8525.
- Deiber, M.P., Ibanez, V., Honda, M., Sadato, N., Raman, R. et Hallett, M. (1998). Cerebral processes related to visuomotor imagery and generation of simple finger movements studied with positron emission tomography. *NeuroImage*, 7, 73-85.
- de Lange, F.P., Helmich, R.C. et Toni, I. (2006). Posture influences motor imagery: an fMRI study. *NeuroImage*, 33, 609-617.
- Delvenne, V., Goldman, S., de Maertelaer, V., Simon, Y., Luxen, A. et Lotstra, F. (1996). Brain hypometabolism of glucose in anorexia nervosa: normalization after weight gain. *Biological Psychiatry*, 40(8), 761-768.
- Denes, G., Cappelletti, J.Y., Zilli, T., Dalla Porta, F. et Gallana, A. (2000). A category-specific deficit of spatial representation: The case of autotopagnosia. *Neuropsychologia*, 38, 345-350.
- Dennis, M. (1976). Dissociated naming and locating of body parts after left anterior temporal lobe resection: An experimental case study. *Brain and Language*, 3, 147-163.
- de Ridder, D., Van Laere, K., Dupont, P., Menovsky, T., van de Heyning, P. (2007). Visualizing out-of-body experience in the brain. *New England Journal of Medicine*, 357(18), 1829-1833.
- Deubel, H., Bridgeman, B. et Schneider, W.X. (1998). Immediate post-saccadic information mediates space constancy. *Vision Research*, 38(20), 3147-359.

- de Vignemont, F. (2010). Body schema and body image--pros and cons. *Neuropsychologia*, 48(3), 669-680.
- de Vignemont, F., Ehrsson, H.H. et Haggard, P. (2005). Bodily illusions modulate tactile perception. *Current Biology*, 15(14), 1286-1290.
- Devue, C., Collette, F., Balteau, E., Degueldre, C., Luxen, A., Maquet, P. et al. (2007) Here I am: the cortical correlates of visual self recognition. *Brain Research*, 1143, 169–182.
- Dietz, V., Gollhofer, A., Kleiber, M. et Trippel, M. (1992). Regulation of bipedal stance : dependence on “ load ” receptors. *Experimental Brain Research*, 89, 229-231.
- Dijkerman, H.C. et de Haan, E.H. (2007). Somatosensory processes subserving perception and action. *Behavioral and Brain Sciences*, 30, 189–201.
- di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V. et Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: a neurophysiological study. *Experimental Brain Research*, 91(1), 176-180.
- Dolto, F. (1984). *L'Image inconsciente du corps*, Editions : Seuil, Paris.
- Dominici, N., Daprati, E., Nico, D., Cappellini, G., Ivanenko, Y.P. et Lacquaniti, F. (2009). Changes in the limb kinematics and walking-distance estimation after shank elongation: Evidence for a locomotor body schema? *Journal of Neurophysiology*, 101, 1419–1429.
- Downing, P.E., Jiang, Y., Shuman, M. et Kanwisher, N (2001) A cortical area selective for visual processing of the human body. *Science*, 293, 2470–2473.
- Dua, A. (2010). Apotemnophilia: ethical considerations of amputating a healthy limb. *Journal of Medical Ethics*, 36(2), 75-78.
- Duhamel, J.R., Bremmer, F., Ben Hamed, S. et Graf, W. (1997). Spatial invariance of visual receptive fields in parietal cortex neurons. *Nature*, 389(6653), 845-848.
- Dyde, R.T., Jenkin, M.R. et Harris, L.R. (2006). The subjective visual vertical and the perceptual upright. *Experimental Brain Research*, 173(4), 612-622.
- Edelman, G.M. (1992). *Biologie de la conscience*, Editions Odile Jacob, Paris.
- Ehrsson, H.H., Wiech, K., Weiskopf, N., Dolan, R.J. et 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, 9828–9833.
- Ehrsson, H.H. (2007). The experimental induction of out-of-body experiences. *Science*, 317, 1048.
- Eshkevari, E., Rieger, E., Longo, M.R., Haggard, P. et Treasure, J. (2012). Increased plasticity of the bodily self in eating disorders. *Psychological Medicine*, 42, 819–828.



- Essick, G., James, A. et McGlone, F.P. (1999). Psychophysical assessment of the affective components of non-painful touch. *NeuroReport*, 10, 2083–2087.
- Evans, J.H. (1962). On disturbance of the body image in paraplegia. *Brain*, 85, 687–700.
- Evans, N. et Blanke, O. (2012). Shared electrophysiology mechanisms of body ownership and motor imagery. *Neuroimage*, pii: S1053-8119(12)00937-8.
- Exterkate, C.C., Vriesendorp, P.F. et de Jong, C.A.J. (2009). Body attitudes in patients with eating disorders at presentation and completion of intensive outpatient day treatment. *Eating Behaviors*, 10, 16–21.
- Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V. et Rizzolatti, G. (2000). Visuomotor neurons: ambiguity of the discharge or 'motor' perception? *International Journal of Psychophysiology*, 35(2-3), 165-177.
- Fasold, O., Heinau, J., Trenner, M. U., Villringer, A. et Wenzel, R. (2008). Proprioceptive head posture-related processing in human polysensory cortical areas. *Neuroimage*, 40, 1232–1242.
- Fassino, S., Pierò, A., Gramaglia, C. et Abbate-Daga, G. (2004). Clinical, psychopathological and personality correlates of interoceptive awareness in anorexia nervosa, bulimia nervosa and obesity. *Psychopathology*, 37(4), 168-174.
- Farrer, C. et Frith, C.D. (2002). Experiencing oneself vs another person as being the cause of an action: the neural correlates of the experience of agency. *Neuroimage*, 15, 596–603.
- Felician, O., Romaiquère, P., Anton, J.-L., Nazarian, B., Roth, M., Poncet, M. et al. (2004). The role of the left superior parietal lobule in body part localization. *Annals of Neurology*, 55, 749–751.
- Ferrante, D., Gerbino, W. et Rock, I. (1995). Retinal vs. environmental orientation in the perception of the right angle. *Acta Psychologica*, 88(1), 25-32.
- Filimon, F., Nelson, J.D., Huang, R.-S. et Sereno, M.I. (2009). Multiple parietal reach regions in humans: Cortical representations for visual and proprioceptive feedback during on-line reaching. *Journal of Neuroscience*, 29, 2961–2971.
- 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.
- Flor, H., Nikolajsen, L. et Jensen, T.S. (2006). Phantom limb pain: a case of maladaptive CNS plasticity. *Nature Review Neuroscience*, 7, 873–881.
- Fobair, P., Stewart, S.L., Chang, S., D’Onofrio, C., Banks, P.J. et Bloom, J.R. (2006). Body image and sexual problems in youngwomenwith breast cancer. *Psychooncology*, 15, 579–594.

- Franchak, J.M. et Adolph, K. (2007). Perceiving changing affordances for action: Pregnant women walking through doorways. Paper presented at the Vision Science Society Conference (VSS), Florida, USA.
- Frank, G.K., Kaye, W.H., Meltzer, C.C., Price, J.C., Greer, P., McConaha, C. et al. (2002). Reduced 5-HT<sub>2A</sub> receptor binding after recovery from anorexia nervosa. *Biological Psychiatry*, 52(9), 896-906.
- Franko, D.L. et Striegel-Moore, R.H. (2002). The role of body dissatisfaction as a risk factor for depression in adolescent girls: Are the differences black and white? *Journal of Psychosomatic Research*, 53, 975–983.
- Friederich, H.C., Brooks, S., Uher, R., Campbell, I.C., Giampietro, V., Brammer, M., et al. (2010). Neural correlates of body dissatisfaction in anorexia nervosa. *Neuropsychologia*, 48(10), 2878-2885.
- Frith, C.D., Blakemore, S.J. et Wolpert, D.M. (2000). Abnormalities in the awareness and control of action. *Philosophical Transactions of Royal Society of London, series B Biological Sciences*, 355(1404), 1771-1788.
- Funk, J., Finke, K., Müller, H.J., Utz, K.S. et Kerkhoff, G. (2010). Effects of lateral head inclination on multimodal spatial orientation judgments in neglect: evidence for impaired spatial orientation constancy. *Neuropsychologia*, 48, 1616-1627.
- Gallagher, S. (1986). Body image and body schema: A conceptual clarification. *Journal of Mind and Behavior*, 7, 541–554.
- Gallagher, S. (2005). *How the body shapes the mind*. New York: Oxford University Press.
- Gallese, V. et Goldman, A.I. (1998). Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading. *Trends in Cognitive Sciences*, 2(12), 493-501.
- Gallese, V. (2007). Embodied simulation: from mirror neuron systems to interpersonal relations. *Novartis Found Symposium*, 278, 3-12; discussion 12-9, 89-96, 216-21.
- Galusca, B., Costes, N., Zito, N.G., Peyron, R., Bossu, C., Lang, F., et al. (2008). Organic background of restrictive-type anorexia nervosa suggested by increased serotonin 1A receptor binding in right frontotemporal cortex of both lean and recovered patients: [18F]MPPF PET scan study. *Biological Psychiatry*, 64(11), 1009-1013.
- Gandevia, S.C. et Phegan, C.M. (1999). Perceptual distortions of the human body image produced by local anaesthesia, pain and cutaneous stimulation. *Journal of Physiology*, 514(2), 609-616.
- Garbarini, F. et Adenzato, M. (2004). At the root of embodied cognition: cognitive science meets neurophysiology. *Brain Cognition*, 56(1), 100-106.

- Gardner, R.M., Stark, K., Jackson, N.A. et Friedman, B.N. (1999). Development and validation of two new scales for assessment of body-image. *Perception and Motor Skills*, 89, 981–993.
- Garner, D.M. (1991). EDI 2: Eating disorder inventory 2. In *Professional manual*. P.O. Box 998, Odessa, FL 33556, USA: Psychology Assessment Resources.
- Gauthier, I., Tarr, M.J., Moylan, J., Skudlarski, P., Gore, J.C. et Anderson AW (2000) The fusiform “face area” is part of a network that processes faces at the individual level. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 495–504.
- Gentaz, E., Baud-Bovy, G. et Luyat, M. (2008). The haptic perception of spatial orientations. *Experimental Brain Research*, 187, 331–348.
- Ghazanfar, A.A., Stambaugh, C.R. et Nicolelis, M.A. (2000). Encoding of tactile stimulus location by somatosensory thalamocortical ensembles. *Journal of Neuroscience*, 20(10), 3761-3775.
- Gibson, J.J. (1950). *The perception of the visual world*. Boston : Houghton Mifflin .
- Gibson, J.J. (1952). Etudes des phénomènes perceptifs. Dans Andrews TJ (dir.), *Méthodes de la psychologie*, vol. 1 (p. 191-227). Paris : Presses Universitaires de France.
- Gibson, J.J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Giummarra, M.J., Georgiou-Karistianis, N., Nicholls, M.E.R., Gibson, S.J., Chou, M. et Bradshaw, J.L. (2010). Corporeal awareness and proprioceptive sense of the phantom. *British Journal of Psychology*, 101, 791–808.
- Glaister, D.H. (1977). Effect of acceleration. In: J.B. West (Ed.), *Regional difference in the lung* (pp. 323-377). Academic Press, New York.
- Goldman, A.I. (1992). In defense of simulation theory. *Mind and language*, 7, 104-119.
- Goldman, A.I. (2000). The mentalizing folk. In D. Sperber (Ed.), *Metarepresentations: An interdisciplinary approach* (pp. 171–196). New York: Oxford University Press.
- Graziano, M.S.A., Cooke, D.F. et Taylor, C.S.R. (2000). Coding the location of the arm by sight. *Science*, 290, 1782–1786.
- Greeno, J.G. (1994). Gibson's affordances. *Psychological Review*, 101(2), 336-342.
- Grèzes, J. et Decety, J. (2001). Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: Ameta-analysis. *Human Brain Mapping*, 12, 1–19.

- Grimm, J. et Grimm, W. (1812). Schneewittchen in *Kinder- und Hausmärchen*. Berlin.
- Grunwald, M., Ettrich, C., Krause, W., Assmann, B., Dähne, A., Weiss, T. et al. (2002). Angle paradigm: a new method to measure right parietal dysfunctions in anorexia nervosa. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 17, 485–496.
- Grunwald, M., Ettrich, C., Krause, W., Assmann, B., Dähne, A., Weiss, T. et al. (2001 a). Haptic perception in anorexia nervosa before and after weight gain. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 23(4), 520-529.
- Grunwald, M., Ettrich, C., Assmann, B., Dähne, A., Krause, W., Busse, F. et al. (2001 b). Deficits in haptic perception and right parietal theta power changes in patients with anorexia nervosa before and after weight gain. *International Journal of Eating Disorders*, 29(4), 417-428.
- Grunwald, M., Weiss, T., Assmann, B. et Ettrich, C. (2004). Stable asymmetric interhemispheric theta power in patients with anorexia nervosa during haptic perception even after weight gain: a longitudinal study. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 26(5), 608-620.
- Gull, W. (1874). Anorexia nervosa (apepsia hysterica, anorexia hystenca). *Transactions Clinical Society of London*, 7, 22-28.
- Head, H. et Holmes, G. (1911). Sensory disturbances from cerebral lesions. *Brain*, 34, 102–254.
- Head, H. (1918). Sensation and the cerebral cortex. *Brain*, 41, 253–257.
- Heilbrun, A.B., Jr. et Friedberg, L. (1990). Distorted body image in normal college women: Possible implications for the development of anorexia nervosa. *Journal of Clinical Psychology*, 46(4), 398–401.
- Helmholtz, H. (1867). *Handbuch der physiologischen Optik*. Leipzig : Leopold Voss.
- Hely, M.A., Reid, W.G.J., Adena, M.A., Halliday, G.M. et Morris, J.G.L. (2008). The Sydney multicenter study of Parkinson’s disease: The inevitability of dementia at 20 years. *Movement Disorders*, 23(6), 837–844.
- Hesslow, G. (2002). Conscious thought as simulation of behaviour and perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 242–247.
- Heur, H. et Sangals, J. (1998). Task-dependant mixtures of coordinate systems in visuomotor transformations. *Experimental Brain Research*, 119, 224-236.
- Higuchi, T., Cinelli, M. E., Greig, M. A. et Patla, A. E. (2006). Locomotion through apertures when wider space for locomotion is necessary: Adaption to artificially altered body states. *Experimental Brain Research*, 175, 50–59.

- Hirtz, P. et Starosta, W. (2002). Sensitive and critical periods of motor co-ordination development and its relation to motor learning. *Journal of Human Kinetics*, 7, 19–28.
- Hollins, M. (2010). Somesthetic senses. *Annual Review of Psychology*, 61, 243-271.
- Howard, I.P., (1982). *Human Visual Orientation*. New York: Wiley.
- Howard, I.P. (1986). The perception of posture, self motion, and the visual vertical. In K. Boff, L. Kaufman, & J. Thomas (Eds.), *Handbook of perception and human performance*; Vol. 1 (pp. 1-62). New-York : Willey.
- Howard, I.P. (1997). Interactions within and between the spatial senses. *Journal of Vestibular Research*, 7(4), 311-345.
- Hubel, D.H. et Wiesel, T.N. (1968). Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. *Journal of Physiology London*, 195, 215-243.
- Humphrey, N.K. et Weiskrantz, L. (1967). Vision in monkeys after removal of the striate cortex. *Nature*, 215(5101), 595-597.
- Husain, M. et Rorden, C. (2003). Non-spatially lateralized mechanisms in hemispatial neglect. *Nature Review Neuroscience*, 4(1), 26-36.
- Iacoboni, M. et Dapretto, M. (2006). The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction. *Nature Review Neuroscience*, 7(12), 942-951.
- Ibbotson, M. et Krekelberg, B. (2011). Visual perception and saccadic eye movements. *Current Opinion in Neurobiology*, 21(4), 553-558.
- Imbert, M. (1988). La vision naturelle: le traitement neuronal de l'information visuelle. *Intellectica*, 5, 3-31.
- Ivanenko, Y., Dominici, N., Daprati, E., Nico, D., Cappellini, G. et Lacquaniti, F. (2011). Locomotor body scheme. *Human Movement Science*, 30, 341–351.
- Jacob, P. et Jeannerod, M. (2003). *Ways of Seeing: The Scope and Limits of Visual Cognition*. Oxford: Oxford University Press.
- Jacobs, S., Brozzoli, C. et Farnè, A. (2012). Neglect: a multisensory deficit? *Neuropsychologia*, 50(6), 1029-1044.
- Jacobs, J.V., Lou, J.S., Kraakevik, J.A. et Horak, F.B. (2009). The supplementary motor area contributes to the timing of the anticipatory postural adjustment during step initiation in participants with and without Parkinson's disease. *Neuroscience*, 164(2), 877-885.
- James, W. (1890). *The Principles of Psychology*. New York : Henry Holt.

- Jeannerod, M. (1994). The hand and the object: the role of posterior parietal cortex in forming motor representations. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 72(5), 535-541.
- Jeannerod, M., Arbib, M.A., Rizzolatti, G. et Sakata, H. (1995). Grasping objects: the cortical mechanisms of visuomotor transformation. *Trends in Neurosciences*, 18(7), 314-320.
- Jeannerod, M. (2006). *Motor cognition: what actions tell the self*. Oxford: Oxford University Press.
- Johnson, K.O. et Hsiao, S.S. (1992). Neural mechanisms of tactual form and texture perception. *Annual Review of Neuroscience*, 15, 227–250.
- Kaas, J., Nelson, R., Sur, M., Lin, C. et Merzenich, M. (1979). Multiple representations of the body within the primary somatosensory cortex of primates. *Science*, 204(4392), 521–523.
- Kakeshita, I.S. et de Sousa Almeida, S. (2006). Relationship between body mass index and self-perception among university students. *Revista de Saude Publica*, 40(3), 497-504.
- Kammers, M.P., Verhagen, L., Dijkerman, H.C., Hogendoorn, H., de Vignemont, F. et Schutter, D.J. (2009). Is this hand for real? Attenuation of the rubber hand illusion by transcranial magnetic stimulation over the inferior parietal lobule. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(7), 1311-1320.
- Karnath, H.O., Baier, B. et Nagele, T. (2005). Awareness of the functioning of one's own limbs mediated by the insular cortex? *Journal of Neuroscience*, 25, 7134–7138.
- Kanwisher, N., McDermott, J. et Chun, M.M. (1997). The fusiform “face area” is part of a network that processes faces at the individual level. *Journal of Neuroscience*, 17, 4302–4311.
- Kalarchian, M.A., Marcus, M.D., Wilson, G.T., Labouvie, E.W., Brodin, R.E. et LaMarca, L.B. (2002). Binge eating among gastric bypass patients at long-term follow-up. *Obesity and Surgery*, 12, 270–275.
- Keizer, A., Smeets, M.A., Dijkerman, H.C., van den Hout, M., Klugkist, I., van Elburg, A. et al. (2011). Tactile body image disturbance in anorexia nervosa. *Psychiatry Research*, 190, 115-120.
- Keizer, A., Smeets, M.A., Dijkerman, H.C., van Elburg, A. et Postma, A. (2012). Aberrant somatosensory perception in Anorexia Nervosa. *Psychiatry Research*. [Epub ahead of print]
- Kemmerer, D. et Tranel, D. (2008). Searching for the elusive neural substrates of body part terms: A neuropsychological study. *Cognitive Neuropsychology*, 25, 601–629.

- Kerkhoff, G. (1999). Multimodal spatial orientation deficits in left-sided visual neglect. *Neuropsychologia*, 37, 1387–1405.
- Kinsbourne, M. et Bemporad, J.R. (1984). Lateralization of emotion : a model and the evidence. In *The Psychobiology of Affective Development* (éd. A. Fox and R. J. Davidson), pp. 259-291. Lawrence Erlbaum: Hillsdale, NJ.
- Kitada, R., Johnsrude, I.S., Kochiyama, T. et Lederman, S.J. (2009). Functional specialization and convergence in the occipito-temporal cortex supporting haptic and visual identification of human faces and body parts: an fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(10), 2027-2045.
- Koerber, H.R., Hobbs, G. et Brown, P.B. (1993). Precision and variability of hindlimb representation in cat dorsal horn and implications for tactile localization. *Journal of Neurophysiology*, 70(6), 2489-2501.
- Kojima, S., Nagai, N., Nakabeppu, Y., Muranaga, T., Deguchi, D., Nakajo, M. et al. (2005). Comparison of regional cerebral blood flow in patients with anorexia nervosa before and after weight gain. *Psychiatry Research*, 140(3), 251-258.
- Komatsu, H., Nagamitsu, S., Ozono, S., Yamashita, Y., Ishibashi, M. et Matsuishi, T. (2010). Regional cerebral blood flow changes in early-onset anorexia nervosa before and after weight gain. *Brain and Development*, 32(8), 625-630.
- Kong, J., White, N.S., Kwong, K.K., Vangel, M.G., Rosman, I.S., Gracely, R.H. et al. (2006). Using fMRI to dissociate sensory encoding from cognitive evaluation of heat pain intensity. *Human Brain Mapping*, 27, 715–721.
- Kosslyn, S.M., Behrmann, M. et Jeannerod, M. (1995). The cognitive neuroscience of mental imagery. *Neuropsychologia*, 33, 1335-1344.
- Krieg, J.C., Roscher, S., Strian, F., Pirke, K.M. et Lautenbacher, S. (1993). Pain sensitivity in recovered anorexics, restrained and unrestrained eaters. *Journal of Psychosomatic Research*, 37(6), 595-601.
- Lackner, J.R. et Shenker, B. (1985). Proprioceptive influences on auditory and visual spatial localization. *Journal of Neuroscience*, 5(3), 579-583.
- Lackner, J.R. et DiZio, P.A. (2000). Aspects of body self-calibration. *Trends in Cognitive Science*, 4(7), 279-288.
- Laiacona, M., Allamano, N., Lorenzi, L. et Capitani, E. (2006). A case of impaired naming and knowledge of body parts: Are limbs a separate category? *Neurocase*, 12, 307–316.
- Lamme, V.A. (2003). Why visual attention and awareness are different. Tr *Trends in Cognitive Science*, 7(1), 12-18.

- Lang, W., Petit, L., Hollinger, P., Pietrzyk, U., Tzourio, N., Mazoyer, B. et al. (1994). A positron emission tomography study of oculomotor imagery. *NeuroReport*, 5, 921–924.
- Lautenbacher, S., Pauls, A.M., Strian, F., Pirke, K.M. et Krieg, J.C. (1991). Pain sensitivity in anorexia nervosa and bulimia nervosa. *Biological Psychiatry*, 29(11), 1073-1078.
- Le Clec'H, G., Dehaene, S., Cohen, L., Mehler, J., Dupoux, E., Poline, J. B. et al. (2000). Distinct cortical areas for names of numbers and body parts independent of language and input modality. *NeuroImage*, 12, 381–391.
- Lee, S., Leung, T., Lee, A.M., Yu, H. et Leung, C.M. (1996). Body dissatisfaction among Chinese undergraduates and its implications for eating disorders in Hong Kong. *International Journal of Eating Disorders*, 20(1), 77-84.
- Lee, A.C., Harris, J.P., Atkinson, E.A. et Fowler, M.S. (2001). Disruption of estimation of body-scaled aperture width in hemi-Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, 39(10), 1097–1104.
- Lee, N.D. et Young, D.S. (1996). Visual timing in interceptive actions. In Ingle, D.J. et al., eds., *Brain mechanisms and spatial vision*. Dordrecht: Martinus Nijhoff.
- Legrand, D. (2010). Subjective and physical dimensions of bodily self-consciousness, and their dis-integration in anorexia nervosa. *Neuropsychologia*, 48(3), 726-737.
- Lenggenhager, B., Tadi, T., Metzinger, T. et Blanke, O. (2007). Video ergo sum: manipulating bodily self-consciousness. *Science*, 317, 1096–1099.
- Lilenfeld, L.R., Wonderlich, S., Riso, L.P., Crosby, R. et Mitchell, J. (2006). Eating disorders and personality: a methodological and empirical review. *Clinical Psychology Review*, 26(3), 299-320.
- Linkenauger, S.A., Ramenzoni, V. et Proffitt, D.R. (2010). Illusory shrinkage and growth: body-based rescaling affects the perception of size. *Psychological Science*, 21(9), 1318-1325.
- Liu, J., Harris, A. et Kanwisher, N. (2010). Perception of face parts and face configurations: an fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(1), 203-211.
- Longo, M.R., Azañón, E. et Haggard, P. (2010). More than skin deep: body representation beyond primary somatosensory cortex. *Neuropsychologia*, 48(3), 655-668.
- Lopez, C., Halje, P. et Blanke, O. (2008). Body ownership and embodiment: vestibular and multisensory mechanisms. *Neurophysiologie Clinique*, 38(3), 149-161.
- Lotze, M. et Halsband, U. (2006). Motor imagery. *Journal of Physiology Paris*, 99, 386–395.



- Lotze, M., Montoya, P., Erb, M., Hulsmann, E., Flor, H., Klose, U. et al. (1999). Activation of cortical and cerebellar motor areas during executed and imagined hand movements: an fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, 491-501.
- Lucas, A.R., Beard, C.M., O'Fallon, W.M. et Kurland, L.T. (1991). 50-year trends in the incidence of anorexia nervosa in Rochester, Minn.: a population-based study. *American Journal of Psychiatry*, 148(7), 917-922.
- Luyat, M., Gentaz, E., Corte, T. et Guerraz, M. (2001). Reference frames and haptic perception of orientation: body and head tilt effects on the oblique effect. *Perception and Psychophysics*, 63, 541-554.
- Luyat, M. et Gentaz, E. (2002). Body tilt effect on the reproduction of orientations: studies on the visual oblique effect and subjective orientations. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 28, 1002-1011.
- Luyat, M., Ohlmann, T. et Barraud, P.A. (1997). Subjective vertical and postural activity. *Acta Psychologica*, 95(2), 181-193.
- Luyat, M. et Ohlmann, T. (2003). La perception de l'orientation. In A. Delorme & M. Fluckiger (Eds.), *Perception et réalité*. De Boeck Université.
- Luyat, M. et Regia Corte, T. (2009). Le concept d'affordance : de James Jerome Gibson aux formalisations récentes du concept. *L'Année Psychologique*, 109, 297-332
- Luyat, M., Noel, M., They, V. et Gentaz, E. (2012). Gender and line size factors modulate the deviations of the subjective visual vertical induced by head tilt. *BMC Neuroscience*, 13, 28.
- Malek, E.A. et Wagman, J.B. (2008). Kinetic potential influences visual and remote haptic perception of affordances for standing on an inclined surface. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(12), 1813-1826.
- Marcel, A.J., Tegne'r, R. et Nimmo-Smith, I. (2004). Anosognosia for plegia: specificity, extension, partiality and disunity of bodily unawareness. *Cortex*, 40, 19-40.
- Marcilly, R. et Luyat, M. (2008). The role of eye-height in the perception of an affordance of passability under a barrier. *Current Letters of Psychology*, 24(1), en ligne: <http://cpl.revues.org/document3443.html>.
- Mark, L.S. (1987). Eyeheight-scaled information about affordances: a study of sitting and stair climbing. *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance*, 13(3), 361-370.
- Maton, B. et Bouisset, S. (1975). Motor unit activity and preprogramming of movement in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 38(6), 658-660.

- Matsumoto, R., Kitabayashi, Y., Narumoto, J., Wada, Y., Okamoto, A., Ushijima, Y. et al. (2006). Regional cerebral blood flow changes associated with interoceptive awareness in the recovery process of anorexia nervosa. *Progress in Neuropsychopharmacological and Biological Psychiatry*, 30(7), 1265-1270.
- McArdle, W.D., Foglia, G.F. et Patti, A.V. (1967). Telemetered cardiac response to selected running events. *Journal of Applied Physiology*, 23(4), 566-570.
- McIntyre, J., Stratta, F. et Lacquintini, F. (1997). Viewer-centered frame of reference for pointing the memorized targets in the three dimensional space. *Journal of Neurophysiology*, 78, 1601-1618.
- Mehnert, U., Boy, S., Svensson, J., Michels, L., Reitz, A., Candia, V. et al. (2008). Brain activation in response to bladder filling and simultaneous stimulation of the dorsal clitoral nerve—An fMRI study in healthy women. *Neuroimage*, 41, 682–689.
- Metzinger, T. (2009). Why are out-of-body experiences interesting for philosophers? The theoretical relevance of OBE research. *Cortex*, 45, 256–258.
- Miller, K.K., Deckersbach, T., Rauch, S.L., Fischman, A.J., Grieco, K.A., Herzog, D.B. et al. (2004). Testosterone administration attenuates regional brain hypometabolism in women with anorexia nervosa. *Psychiatry Research*, 132(3), 197-207.
- Milner, A.D. et Goodale, M.A. (1993). Visual pathways to perception and action. *Progress in Brain Research*, 95, 317–337.
- Milner, A.D. et Goodale, M.A. (2008). Two visual systems re-viewed. *Neuropsychologia*, 46(3), 774-785.
- Mittelstaedt, H. (1983). A new solution to the problem of the subjective vertical. *Naturwissenschaften*, 70, 272–281.
- Mittelstaedt, H. (1992). Somatic versus vestibular Gravity reception in man. In B. Cohen, D. L. Tomko & F. Guedry (Eds.), *Sensing and Controlling Motion, Vestibular and Sensorimotor Function* (Vol. 656, pp. 124-139). Annals of the New York Academy of Sciences.
- Mittelstaedt, H. (1996). Somatic graviception. *Biological Psychology*, 42, 53-74.
- Money, K.E. et Scott, J.W. (1962). Functions of separate sensory receptors of non auditory labyrinth in the cat. *American Journal of Physiology*, 202, 1211-1220.
- Morgado, N., Muller, D., Gentaz, E. et Palluel-Germain, R. (2011). Close to me? The influence of affective closeness on space perception. *Perception*, 40(7), 877-879.
- Mosley, P.E. (2009). Bigorexia: bodybuilding and muscle dysmorphia. *European Eating Disorders Review*, 17(3), 191-198.

- Mountcastle, V. (1997). The columnar organization of the neocortex. *Brain*, 120(4), 701–722.
- Müller, G.E. (1916). Über das Aubertsche Phänomen. *Zeitschrift für Sinnesphysiologie*, 49, 109-204.
- Murata, A., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Raos, V. et Rizzolatti, G. (1997). Object representation in the ventral premotor cortex (area F5) of the monkey. *Journal of Neurophysiology*, 78(4), 2226-2230.
- Murialdo, G., Casu, M., Falchero, M., Brugnolo, A., Patrone, V., Cerro, P.F. et al. (2007). Alterations in the autonomic control of heart rate variability in patients with anorexia or bulimia nervosa: correlations between sympathovagal activity, clinical features, and leptin levels. *Journal of Endocrinological Investigation*, 30(5), 356-362.
- Nandrino, J.L., Berna, G., Hot, P., Dodin, V., Latrée, J., Decharles, S. et al. (2012). Cognitive and physiological dissociations in response to emotional pictures in patients with anorexia. *Journal of Psychosomatic Research*, 72(1), 58-64.
- Nashner, L.M. (1970). Sensory feedback in human postural control. *MIT Report*, MVT 70-73.
- Nguyen, D.K., Nguyen, D.B., Malak, R., Leroux, J.M., Carmant, L., Saint-Hilaire, J.M. et al. (2009). Revisiting the role of the insula in refractory partial epilepsy. *Epilepsia*, 50, 510–520.
- Nico, D., Daprati, E., Nighoghossian, N., Carrier, E., Duhamel, J.R. et al. (2010). The role of the right parietal lobe in anorexia nervosa. *Psychological Medicine*, 40, 1531–1539.
- Nicolelis, M.A., Ghazanfar, A.A., Stambaugh, C.R., Oliveira, L.M., Laubach, M., Chapin, J.K. et al. (1998). Simultaneous encoding of tactile information by three primate cortical areas. *Nature Neuroscience*, 1(7), 621-630.
- Normand, J.M., Giannopoulos, E., Spanlang, B. et Slater, M. (2011). Multisensory stimulation can induce an illusion of larger belly size in immersive virtual reality. *PLoS ONE*, 6(1), e16128.
- Olausson, H., Lamarre, Y., Backlund, H., Morin, C., Wallin, B. G., Starck, G. et al. (2002). Unmyelinated tactile afferents signal touch and project to insular cortex. *Nature Neuroscience*, 5, 900–904.
- Olzak, L.A. et Thomas, J.P. (1986). Seeing spatial patterns. In K.R. Boff, J. Thomas et L. Kaufmann (Eds.). *Handbook of Perception and Human Performance* (Vol. 1.). London: Wiley.
- Ono, H. et Angus, R.G. (1974). Adaptation to sensori-motor conflict produced by the visual direction of the hand specified from the cyclopean eye. *Journal of Experimental Psychology*, 103, 1-9.

- Orfei, M.D., Robinson, R.G., Prigatano, G.P., Starkstein, S., Rüşch, N., Bria, P. et al. (2007). Anosognosia for hemiplegia after stroke is a multifaceted phenomenon: a systematic review of the literature. *Brain*, 130, 3075–3090.
- Paillard, J. (1999). Body schema and body image: A double dissociation in deafferented patients. In G. N. Gantchev, S. Mori, & J. Massion (Eds.), *Motor control, today and tomorrow*, pp.197-214.
- Paillard, J., Michel, F. et Stelmach, G. (1983). Localization without content. A tactile analogue of blind sight. *Archives de Neurologie*, 40(9), 548-551.
- Paillard, J. (1980). The object localized and identified. Psychophysiologic approach to the concept of body image. *Revue de Médecine Suisse Romande*, 100(2), 129-141.
- Paillard, J. (1983). Les sciences du système nerveux et le formalisme du hasard organisationnel. In P. Dumouchel, J.P. Dupuy (eds.). *L'auto-organisation : de la physique à la politique*, 219-237, Paris : Empreintes, Seuil.
- Papezová, H., Yamamotoová, A. et Uher, R. (2005). Elevated pain threshold in eating disorders: physiological and psychological factors. *Journal of Psychiatric Research*, 39(4), 431-438.
- Parsons, L.M. (1994). Temporal and kinematic properties of motor behaviour reflected in mentally simulated action. *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance*, 20, 709–730.
- Peelen, M.V. et Downing, P.E. (2007) The neural basis of visual body perception. *Nature Review Neuroscience*, 8, 636–648.
- Peelen, M.V. et Downing, P.E. (2005). Selectivity for the human body in the fusiform gyrus. *Journal of Neurophysiology*, 93, 603–608.
- Peelen, M.V., Wiggett, A.J. et Downing, P.E. (2006). Patterns of fMRI activity dissociate overlapping functional brain areas that respond to biological motion. *Neuron*, 49, 815–822.
- Peelen, M.V., Atkinson, A.P., Andersson, F. et Vuilleumier, P. (2007). Emotional modulation of body-selective visual areas. *Social, Cognitive and Affective Neuroscience*, 2, 274–283.
- Penfield, W. et Boldrey, E. (1937). Somatic motor and sensory representation in the cerebral cortex of man as studied by electrical stimulation. *Brain*, 60(4), 389–443.
- Penfield, W. et Rasmussen, T. (1950). *The Cerebral Cortex of Man. A Clinical Study of Localization of Function*. MacMillan, New York.
- Penfield, W. et Faulk, M.E. (1955). The insula: Further observations on its function. *Brain*, 78, 445–470.

- Perenin, M.T. et Jeannerod, M. (1975). Residual vision in cortically blind hemiphields. *Neuropsychologia*, 13(1), 1-7.
- Phillips, K.A. et Stout, R.L. (2006). Associations in the longitudinal course of body dysmorphic disorder with major depression, obsessivecompulsive disorder, and social phobia. *Journal of Psychiatric Research*, 40(4), 360-369.
- Piaget, J. et Inhelder, B. (1948). *La représentation de l'espace chez l'enfant*. Paris : Presse Universitaire de France.
- Pick, A. (1915). Zur Pathologie des Bewusstseins vom eigenen Körper. *Neurologisches Centralblatt*, 34, 257-265.
- Poeck, K. et Orgass, B. (1971). The concept of the body schema: A critical review and some experimental results. *Cortex*, 7, 254-277.
- Pollatos, O., Kurz, A.L., Albrecht, J., Schreder, T., Kleemann, A.M., Schöpf, V., et al. (2008). Reduced perception of bodily signals in anorexia nervosa. *Eating Behaviors*, 9, 381-388.
- Poppel, E., Held, R. et Frost, D. (1973). Leter: Residual visual function after brain wounds involving the central visual pathways in man. *Nature*, 243(5405), 295-296.
- Porro, C.A., Francescato, M.P., Cettolo, V., Diamond, M.E., Baraldi, P., Zuiani, C. et al. (1996). Primary motor and sensory cortex activation during motor performance and motor imagery: a functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Neuroscience*, 16, 7688-7698.
- Porro, C.A., Martinig, M., Facchin, P., Maieron, M., Jones, A.K.P. et Fadiga, L. (2007). Parietal cortex involvement in the localization of tactile and noxious mechanical stimuli: A transcranial magnetic stimulation study. *Behavioural Brain Research*, 178, 183-189.
- Pourtois, G., Peelen, M.V., Spinelli, L., Seeck, M. et Vuilleumier, P. (2007). Direct intracranial recording of body-selective responses in human extrastriate visual cortex. *Neuropsychologia*, 45, 2621-2625.
- Proust, M. (1913). *Du côté de chez Swann*. Paris : Grasset.
- Ramachandran, V.S. et McGeoch, P. (2007). Can vestibular caloric stimulation be used to treat apotemnophilia? *Medical Hypotheses*, 69(2), 250-252.
- Ramachandran, V.S. (1993). Behavioral and magnetoencephalographic correlates of plasticity in the adult human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 90, 10413-10420.
- Ramachandran, V.S. et Hirstein, W. (1998). The perception of phantom limbs. The D. O. Hebb lecture. *Brain*, 121(9), 1603-1630.

- Ramachandran, V.S., Armel, C., Foster, C. et Stoddard, R. (1998). Object recognition can drive motion perception. *Nature*, 395(6705), 852-853.
- Ramachandran, V.S., Rogers-Ramachandran, D. et Cobb, S. (1995). Touching the phantom limb. *Nature*, 377, 489–490.
- Raymond, N.C., Faris, P.L., Thuras, P.D., Eiken, B., Howard, L.A., Hofbauer, R.D. et al. (1999). Elevated pain threshold in anorexia nervosa subjects. *Biological Psychiatry*, 45(10), 1389-1392.
- Redgrave, G.W., Bakker, A., Bello, N.T., Caffo, B.S., Coughlin, J.W., Guarda, A.S. et al. (2008). Differential brain activation in anorexia nervosa to Fat and Thin words during a Stroop task. *Neuroreport*, 19(12), 1181-1185.
- Regia Corte, T., Luyat, M., Darcheville, J.-C. et Miossec, Y. (2004). La perception d'une affor-dance de « posturabilité » par les systèmes perceptivo-moteurs visuel et haptique. *L'Année Psychologique*, 104, 169-202.
- Reilly, K.T. et Sirigu, A. (2011). Motor cortex representation of the upper-limb in individuals born without a hand. *PLoS ONE*, 6(4), e18100.
- Reilly, K.T. et Sirigu, A. (2008). The motor cortex and its role in phantom limb phenomena. *Neuroscientist*, 14(2), 195-202.
- Repacholi, B.M. et Gopnik, A. (1997). Early reasoning about desires: evidence from 14- and 18-month-olds. *Developmental Psychology*, 33, 12-21.
- Revesz, G. (1934). System der optischen und haptischen Raumtäuschungen. *Zeitschrift für Physiologie*, 131, 296-375.
- Rickham, P.P. (1964). Human experimentation. Code of ethics of the world medical association. Declaration of helsinki. *British Medical Journal*, 2(5402), 177.
- Riddoch, G. (1941). Phantom limbs and body shape. *Brain*, 64, 197–222.
- Riva, G. (2012). Neuroscience and eating disorders: The allocentric lock hypothesis. *Medical Hypotheses*, 78, 254–257.
- Rizzolatti, G., Camarda, R., Fogassi, L., Gentilucci, M., Luppino, G. et Matelli, M. (1988). Functional organization of inferior area 6 in the macaque monkey. II. Area F5 and the control of distal movements. *Experimental Brain Research*, 71(3), 491-507.
- Rizzolatti, G. et Fadiga, L. (1998). Grasping objects and grasping action meanings: the dual role of monkey rostroventral premotor cortex area F5.. In: Bock, G.R., Goode, J.A. Eds., *Sensory Guidance of Movement*, Novartis Foundation Symposium 218. John Wiley and Sons, Chichester, pp. 81-103.

- Roberts, M.E., Tchanturia, K., Stahl, D., Southgate, L. et Treasure J. (2007). A systematic review and metaanalysis of set-shifting ability in eating disorders. *Psychological medicine*, 37 (8), 1075–1084.
- Rochat, P. (1995). Perceived reachability for self and for others by 3- to 5-year-old children and adults. *Journal of Experimental Child Psychology*, 59, 317-333.
- Rodriguez-Cano, T., Beato-Fernandez, L. et Llarío, A.B. (2006). Body dissatisfaction as a predictor of self-reported suicide attempts in adolescents: A Spanish community prospective study. *Journal of Adolescent Health*, 38, 684–688.
- Roland, P.E., Larsen, B., Lassen, N. et Skinhøj, E. (1980). Supplementary motor area and other cortical areas in organization of voluntary movements in man. *Journal of Neurophysiology*, 43(1), 118.
- Rossetti, Y., Rode, G. et Boisson, D. (1995). Implicit processing of somaesthetic information: A dissociation between where and how? *Neuroreport*, 6, 506–510.
- Roth, M., Decety, J., Raybaudi, M., Massarelli, R., Delon-Martin, C., Segebarth, C. et al. (1996). Possible involvement of primary motor cortex in mentally simulated movement: a functional magnetic resonance imaging study. *NeuroReport*, 7, 1280–1284.
- Royet, J.-P., Plailly, J., Delon-Martin, C., Kareken, D.A. et Segebarth, C. (2003). fMRI of emotional responses to odors: Influence of hedonic valence and judgment, handedness, and gender. *Neuroimage*, 20, 713–728.
- Ruby, P. et Decety, J. (2001). Effect of subjective perspective taking during simulation of action: a PET investigation of agency. *Nature Neuroscience*, 4(5), 546-550.
- Saadah, E.S. et Melzack, R. (1994). Phantom limb experiences in congenital limb-deficient adults. *Cortex*, 30, 479–485.
- Sabel, B.A., Henrich-Noack, P., Fedorov, A. et Gall, C. (2011). Vision restoration after brain and retina damage: the "residual vision activation theory". *Progress in Brain Research*, 192, 199-262.
- Sachdev, P., Mondraty, N., Wen, W. et Gulliford, K. (2008). Brains of anorexia nervosa patients process self-images differently from non-self-images: an fMRI study. *Neuropsychologia*, 46(8), 2161-2168.
- Santonastaso, P., Bosello, R., Schiavone, P., Tenconi, E., Degortes, D. et Favaro, A. (2009). Typical and atypical restrictive anorexia nervosa: weight history, body image, psychiatric symptoms, and response to outpatient treatment. *International Journal of Eating Disorders*, 42, 464–470.

- Sato, K., Nariai, T., Tanaka, Y., Maehara, T., Miyakawa, N., Sasaki, S. et al. (2005). Functional representation of the finger and face in the human somatosensory cortex: intraoperative intrinsic optical imaging. *NeuroImage*, 25(4), 1292–1301.
- Schicke, T. (2007). Human peripersonal space: evidence from functional magnetic resonance imaging. *Journal of Neuroscience*, 27(14), 3616-3617.
- Schilder, P. (1935). *The image and appearance of the human body. Studies in the constructive energies of the psyché*. London : Kegan Paul.
- Schmidt, R.A. (2003). Motor schema theory after 27 years: reflections and implications for a new theory. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 74(4), 366-375.
- Schöne, H. (1964). On the role of gravity in human spatial orientation. *Aerospace medicine*, 35, 764-772.
- Schreckenberger, M., Siessmeier, T., Viertmann, A., Landvogt, C., Buchholz, H.-G., Rolke, R. et al. (2005). The unpleasantness of tonic pain is encoded by the insular cortex. *Neurology*, 64, 1175–1183.
- Schwoebel, J. et Coslett, H.B. (2005). Evidence for multiple, distinct representations of the human body. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17, 543–553.
- Sheehan, D.V., Lecrubier, Y., Sheehan, K.H., Amorim, P., Janavs, J., Weiller, E. et al. (1998). The mini-international neuropsychiatric interview (MINI): The development and validation of a structured diagnostic psychiatric interview for DSM-IV and ICD-10. *Journal of Clinical Psychiatry*, 59, 22–33.
- Shenton, J.T., Schwobiel, J. et Coslett, H.B. (2004). Mental motor imagery and the body schema: evidence for proprioceptive dominance. *Neuroscience Letter*, 370, 19–24.
- Shoham, D. et Grinvald, A. (2001). The cortical representation of the hand in macaque and human area S-I: high resolution optical imaging. *Journal of Neuroscience*, 21(17), 6820–6835.
- Simons, D.J. et Rensink, R.A. (2005). Change blindness: past, present, and future. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(1), 16-20.
- Singer, T., Seymour, B., O’Doherty, J., Kaube, H., Dolan, R. J. et Frith, C. D. (2004). Empathy for pain involves the affective but not sensory components of pain. *Science*, 303, 1157–1162.
- Sirigu, A., Grafman, J., Bressler, K. et Sunderland, T. (1991). Multiple representations contribute to body knowledge processing. Evidence from a case of autotopagnosia. *Brain*, 114(1), 629-642.



- Sirigu, A., Duhamel, J.R., Cohen, L., Pillon, B., Dubois, B. et Agid, Y. (1996). The mental representation of hand movements after parietal cortex damage. *Science*, 273, 1564–1568.
- Sirigu, A. et Duhamel, J.R. (2001). Motor and visual imagery as two complementary but neurally dissociable mental processes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 910–919.
- Skrzypek, S., Wehmeier, P.M. et Remschmidt, H. (2001). Body image assessment using body size estimation in recent studies on anorexia nervosa. A brief review. *European Child and Adolescent Psychiatry*, 10(4), 215–221.
- Slade, P. (1982). Toward a functional analysis of anorexia nervosa and bulimia nervosa. *British Journal of Clinical Psychology*, 21, 167-179.
- Smeets, M.A.M., Ingleby, J.D., Hoek, H.W. et Panhuysen, G.E.M. (1999). Body size perception in anorexia nervosa : A signal detection approach. *Journal of psychosomatic research*, 46(5), 465–477.
- Soechting, J.F. et Flanders, M. (1992). Moving in the three-dimensional space of reference: frames of reference, vectors, and coordinate systems. *Annual Review of Neurosciences*, 15, 167-191.
- Spence, S.A. et Frith, C.D. (1999). Towards a functional anatomy of volition. *Journal of consciousness studies*, 6, 11-29.
- Spence, C., Pavani, F., Maravita, A. et Holmes, N. (2004). Multisensory contributions to the 3-D representation of visuotactile peripersonal space in humans: evidence from the crossmodal congruency task. *Journal of Physiology Paris*, 98(1-3), 171-189.
- Spengler, S., von Cramon, D.Y. et Brass, M. (2009). Was it me or was it you? How the sense of agency originates from ideomotor learning revealed by fMRI. *Neuroimage*, 46, 290–298.
- Spinazzola, L., Pia, L., Folegatti, A., Marchetti, C. et Berti, A. (2008). Modular structure of awareness for sensorimotor disorders: evidence from anosognosia for hemiplegia and anosognosia for hemianaesthesia. *Neuropsychologia*, 46, 915–926.
- Stefanucci, J.K., Proffitt, D.R., Clore, G.L. et Parekh, N. (2008). Skating down a steeper slope: fear influences the perception of geographical slant. *Perception*, 37(2), 321-323.
- Stefanucci, J.K. et Geuss, M.N. (2009). Big people, little world: the body influences size perception. *Perception*, 38, 1782–1795.
- Stefanucci, J.K. et Geuss, M.N. (2010). Duck! Scaling the height of a horizontal barrier to body height. *Attention, Perception and Psychophysics*, 72(5), 1338-1349.

- Stephan, K.M., Fink, G.R., Passingham, R.E., Silbersweig, D., Ceballos-Baumann, A.O., Frith, C.D. et al. (1995). Functional anatomy of the mental representation of upper extremity movements in healthy subjects. *Journal of Neurophysiology*, 73, 373–386.
- Sterzi, R., Bottini, G., Celani, M.G., Righetti, E., Lamassa, M., Ricci, S. et al. (1993). Hemianopia, hemianaesthesia, and hemiplegia after right and left hemisphere damage: A hemispheric difference. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 56, 308–310.
- Stice, E. et Shaw, H.E. (2002). Role of body dissatisfaction in the onset and maintenance of eating pathology: A synthesis of research findings. *Journal of Psychosomatic Research*, 53(5), 985–993.
- Stippich, C., Ochmann, H., Sartor, K. (2002). Somatotopic mapping of the human primary sensorimotor cortex during motor imagery and motor execution by functional magnetic resonance imaging. *Neuroscience Letters*, 331, 50-54.
- Suzuki, K., Yamadori, A. et Fujii, T. (1997). Category-specific comprehension deficit restricted to body parts. *Neurocase*, 3, 193–200.
- Taylor-Clarke, M., Jacobsen, P. et Haggard, P. (2004). Keeping the world a constant size: object constancy in human touch. *Nature Neuroscience*, 7(3), 219-220.
- Taylor, J.C., Wiggett, A.J. et Downing, P.E. (2007). Functional MRI analysis of body and body part representations in the extrastriate and fusiform body areas. *Journal of Neurophysiology*, 98, 1626–1633.
- Tchanturia, K., Serpell, L., Troop, N. et Treasure, J. (2001). Perceptual illusions in eating disorders : rigid and fluctuating styles. *Journal of behavior therapy and experimental psychiatry*, 32, 107-115.
- Templeton, W.B. (1973). The role of gravitational cues in the judgment of visual orientation. *Perception and Psychophysics*, 14(3), 451-457.
- Thomas, C.S. (1984). Dismorphophobia: a question of definition. *British Journal of Psychiatry*, 144, 513-516.
- Thomas, J.J., Weigel, T.J., Lawton, R.K., Levendusky, P.G. et Becker, A.E. (2012). Cognitive-behavioral treatment of body image disturbance in a congenitally blind patient with anorexia nervosa. *American Journal of Psychiatry*, 169(1), 16-20.
- Thompson, M.A. et Gray, J.J. (1995). Development and validation of a new body-image assessment scale. *Journal of Personality Assessment*, 64(2), 258-269.
- Tignol, J., Martin-Guehl, C. et Aouizerzate, B. (2012). Body dysmorphic disorder (BDD). *Presse Médicale*, 41(1), e22-35.

- Tomasino, S.J. (1996). Does right parietal cortex and vestibular dysfunction underlie body image distortion? *Journal of Nervous and Mental Disorders*, 184(12), 758.
- Tommerdahl, M., Favorov, O., Whitsel, B.L., Nakhle, B. et Gonchar, Y.A. (1993). Minicolumnar activation patterns in cat and monkey SI cortex. *Cerebral Cortex*, 3(5), 399–411.
- Tononi, G. et Edelman, G.M. (1998). Consciousness and complexity. *Science*, 282(5395), 1846-1851.
- Torebjörk, H.E., Vallbo, A.B. et Ochoa, J.L. (1987). Intraneural microstimulation in man. Its relation to specificity of tactile sensations. *Brain*, 110(6), 1509-1529.
- Trousselard, M., Cian, C., Nougier, V., Pla, S. et Raphel, C. (2003). Contribution of somesthetic cues to the perception of body orientation and subjective visual vertical. *Perception and Psychophysics*, 65(8), 1179-1187.
- Trousselard, M., Barraud, P., Nougier, V., Raphel, C. et Cian, C. (2004). Contribution of tactile and interoceptive cues to the perception of the direction of gravity. *Brain Research, Cognitive Brain Research*, 20, 355-362.
- Tsakiris, M., Hesse, M.D., Boy, C., Haggard, P. et Fink, G.R. (2007). Neural signatures of body ownership: a sensory network for bodily self-consciousness. *Cerebral Cortex*, 17(10), 2235-2244.
- Tsakiris, M., Longo, M.R. et Haggard, P. (2010). Having a body versus moving your body: neural signatures of agency and body-ownership. *Neuropsychologia*, 48(9), 2740-2749.
- Udo de Haes, H.A. et Schöne, H. (1970). Interaction between statolith organs and semicircular canals on apparent vertical and nystagmus. Investigations on the effectiveness of the statolith organs. *Acta Otolaryngologica*, 69(1), 25-31.
- Uher, R., Brammer, M.J., Murphy, T., Campbell, I.C., Ng, V.W., Williams, S.C. et al. (2003). Recovery and chronicity in anorexia nervosa: brain activity associated with differential outcomes. *Biological Psychiatry*, 54(9), 934-942.
- Uher, R., Murphy, T., Brammer, M.J., Dalgleish, T., Phillips, M.L., Ng, V.W. et al. (2004). Medial prefrontal cortex activity associated with symptom provocation in eating disorders. *American Journal of Psychiatry*, 161(7), 1238-1246.
- Uher, R., Murphy, T., Friederich, H.C., Dalgleish, T., Brammer, M.J., Giampietro, V. et al. (2005). Functional neuroanatomy of body shape perception in healthy and eating-disordered women. *Biological Psychiatry*, 58(12), 990-997.
- Urgesi, C., Berlucchi, G. et Aglioti, S.M. (2004). Magnetic stimulation of extrastriate body area impairs visual processing of non facial body parts. *Current Biology*, 14, 2130–2134.

- Urgesi, C., Candidi, M., Ionta, S. et Aglioti, S.M. (2007). Representation of body identity and body actions in extrastriate body area and ventral premotor cortex. *Nature Neuroscience*, 10, 30–31.
- Urgesi, C., Fornasari, L., Perini, L., Canalaz, F., Cremaschi, S., Faleschini, L. et al. (2012). Visual body perception in anorexia nervosa. *International Journal of Eating Disorders*, 45(4), 501-511.
- Vailt, D., Mittelstaedt, H., Saborowski, R., Stark R. et Baisch, F. (2002). Shifts in blood volume alter the perception of posture: further evidence for somatic graviception. *International Journal of Psychophysiology*, 44, 1-11.
- Vallar, G., Antonucci, G., Guariglia, C. et Pizzamiglio, L. (1993). Deficits of position sense, unilateral neglect and optokinetic stimulation. *Neuropsychologia*, 31, 1191–1200.
- Vallar, G. et Ronchi, R. (2009). Somatoparaphrenia: a body delusion. A review of the neuropsychological literature. *Experimental Brain Research*, 192, 533–551.
- van Boven, R.W., Ingeholm, J.E., Beauchamp, M.S., Bikle, P.C. et Ungerleider, L.G. (2005). Tactile form and location processing in the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, 12600–12605.
- van der Meer, A.L. (1997). Keeping the arm in the limelight: advanced visual control of arm movements in neonates. *European Journal of Paediatric Neurology*, 1(4), 103-108.
- Visser, J., Geuze, R.H. et Kalverboer, A.F. (1998). The relationship between physical growth, the level of activity and the development of motor skills in adolescence: Differences between children with DCD and controls. *Human Movement Science*, 17, 573–608.
- Vocks, S., Legenbauer, T., Wächter, A., Wucherer, M. et Kosfelder, J. (2007). What happens in the course of body exposure? Emotional, cognitive, and physiological reactions to mirror confrontation in eating disorders. *Journal of Psychosomatic Research*, 62(2), 231-239.
- Vocks, S., Busch, M., Grönemeyer, D., Schulte, D., Herpertz, S, et Suchan, B. (2010). Neural correlates of viewing photographs of one's own body and another woman's body in anorexia and bulimia nervosa: an fMRI study. *Journal of Psychiatry Neuroscience*, 35(3), 163-76.
- Wade, N.J. (1992). The representation of orientation in vision. *Australian Journal of Psychology*, 44, 139-145.
- Wagman, J.B. et Malek, E.A. (2009). Geometric, kinetic-kinematic, and intentional constraints influence willingness to pass under a barrier. *Experimental Psychology*, 56(6), 409-417.

- Wagman, J.B. et Taylor, K.R. (2005). Perceived arm posture and remote haptic perception of whether an object can be stepped over. *Journal of Motor Behavior*, 37(5), 339-342.
- Wagner, A., Ruf, M., Braus, D.F. et Schmidt, M.H. (2003). Neuronal activity changes and body image distortion in anorexia nervosa. *Neuroreport*, 14, 2193-2197.
- Wang, G.-J., Tomasi, D., Backus, W., Wang, R., Telang, F., Geliebter, A., et al. (2008). Gastric distention activates satiety circuitry in the human brain. *NeuroImage*, 39, 1824–1831.
- Warren, W.H. (1984). Perceiving affordances: visual guidance of stair climbing. *Journal of Experimental Psychology Human Perception Performance*, 10, 683–703.
- Warren, W.H. et Whang, S. (1987). Visual guidance of walking through apertures: body-scaled information for affordances. *Journal of Experimental Psychology Human Perception Performance*, 13, 371–383.
- Weber, E.H. (1978). *The Sense of Touch*. Ross HE & Murray DJ, trans. Academic, London, UK.
- Weinstein, S. (1968). Intensive and extensive aspects of tactile sensitivity as a function of body part, sex and laterality. In: Kenshalo, D. (Ed.), *The Skin Senses*. Charles C. Thomas, Springfield, IL, pp. 195–222.
- Weiskrantz, L., Elliott, J. et Darlington, C. (1971). Preliminary observations on tickling oneself. *Nature*, 230(5296), 598-599.
- Weiskrantz, L., Warrington, E.K., Sanders, M.D. et Marshall, J. (1974). Visual capacity in the hemianopic field following a restricted occipital ablation. *Brain*, 97(4), 709-728.
- Weiskrantz, L. (1980). Varieties of residual experience. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32(3), 365-386.
- Wentz, E., Gillberg, I.C., Anckarsäter, H., Gillberg, C. et Råstam, M. (2009). Adolescent-onset anorexia nervosa: 18-year outcome. *British Journal of Psychiatry*, 194(2), 168-174.
- Witkin, H.A. et Asch, S.E. (1948). Studies in space orientation; further experiments on perception of the upright with displaced visual fields. *Journal of Experimental Psychology*, 38(6), 762-782.
- Witt, J.K., Proffitt, D.R. et Epstein, W. (2004). Perceiving distance: a role of effort and intent. *Perception*, 33(5), 577-590.
- Wolpert, D.M., Ghahramani, Z. et Jordan, M.I. (1995). An internal model for sensorimotor integration. *Science*, 269(5232), 1880-1882.
- Wolpert, D.M., Goodbody, S.J. et Husain, M. (1998). Maintaining internal representations: The role of the human superior parietal lobe. *Nature Neuroscience*, 1, 529–533.

- Wraga, M. (1999). The role of eye height in perceiving affordances and object dimensions. *Perception and Psychophysics*, 61(3), 490-507.
- Yang, T., Gallen, C., Schwartz, B. et Bloom, F. (1993). Noninvasive somatosensory homunculus mapping in humans by using a large-array biomagnetometer. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 90(7), 3098–3102.
- Zonneville-Bender, M.J., van Goozen, S.H., Cohen-Kettenis, P.T., Jansen, L.M., van Elburg, A. et Engeland, H. (2005). Adolescent anorexia nervosa patients have a discrepancy between neurophysiological responses and self-reported emotional arousal to psychosocial stress. *Psychiatry Research*, 135(1), 45-52.
- Zwergal, A., Strupp, M., Brandt, T. et Büttner-Ennever, J.A. (2009). Parallel ascending vestibular pathways: anatomical localization and functional specialization. *Annals of New York Academy of Sciences*, 1164, 51-59.

## Résumé

La capacité de juger ses propres actions se trouve être perturbée dans l'anorexie mentale (AM). Les patientes souffrant d'AM surestime notamment le seuil de passabilité d'une ouverture (par rapport à un groupe témoin) lors d'une simulation ou d'un franchissement d'ouverture réelle. Ces données sont en accord avec les plaintes des patientes qui se sentent plus grosses qu'elles ne le sont en réalité. Le jugement des patientes est perturbé lorsqu'elles adoptent une perspective en première personne (j'effectue l'action), mais reste préservé lorsque la perspective est en troisième personne (je regarde un sujet effectuer l'action). Ces résultats suggèrent une atteinte spécifique du schéma corporel et non d'une perturbation globale des jugements perceptifs.

Cette surestimation du schéma corporel dans l'AM pourrait être liée à l'existence d'un trouble de l'intégration multisensorielle, l'élaboration d'un schéma corporel harmonieux résultant de l'intégration des afférences visuelles, tactiles, proprioceptives et vestibulaires. Une corrélation existe entre la baisse des performances comportementales et l'intensité des troubles de l'alimentation, qu'il s'agisse de la recherche de minceur, des préoccupations corporelles et de l'insatisfaction générée. Les perturbations corporelles ainsi que les répercussions comportementales engendrées pourraient induire un renforcement des comportements alimentaires restrictifs.

Les performances des patientes sont liées à la fois à leur perte de poids au cours des mois précédents et à leur poids avant la décompensation. Ce résultat pourrait appuyer l'hypothèse d'un défaut d'actualisation du schéma corporel, les modifications morphologiques engendrées par une perte de poids rapide et massive n'étant pas prises en compte par le système nerveux central. L'AM touche essentiellement les jeunes femmes entre 15 et 19 ans. De véritables bouleversements physiologiques et psychologiques se produisent lors de la puberté, ayant un impact sur le schéma corporel. Les variations de poids induites par les troubles du comportement alimentaire pourraient venir renforcer ces perturbations. L'étude des phénomènes neurologiques, tel que le syndrome du membre fantôme, pourraient faire la lumière sur ce point. En effet, de nombreuses personnes amputées continuent à ressentir la présence d'un membre fantôme après amputation. Beaucoup de modèles explicatifs ont émergé ces dernières années. L'un d'eux postule une certaine inadéquation entre la rétroaction sensorielle du fantôme et les régions corticales représentant le membre. Dans l'AM, un conflit similaire pourrait se produire entre un schéma corporel antérieur n'ayant pas pris en compte les variations pondérales et la rétroaction sensori-motrice. Ainsi, les patientes se trouveraient enfermés dans un corps plus gros.