



Marie-Agnès Cathiard

De l'« imaginaif » en prothétique

“IMAGINAIVETY” IN PROSTHETICS

Abstract: Translational Medical Care in Prosthetics – from benchside to bedside – need not be afraid of recent strawman approaches against “animalism” or “transhumanism” coming from some philosophers, dimly aware of the necessity and benefits of animal care in experiments and machine-aided improvements for the handicapped. Within our novel heuristic framework in Neurocognitive Anthropology, for interfacing Humanities and Neurosciences, we address here two relevant issues about “imaginaivety” in prosthetics, where *intuitive*, *counter-intuitive* and *over-intuitive* modes have been confused, with therapeutic implications for “phantom” body pain and “mind-controlled” limb prosthetics.

Keywords: “Imaginative” Transhumanism; Over-intuitive Phantom-body Parts; “Mind-controlled” Prosthetics.

MARIE-AGNÈS CATHIARD

UMR Litt&Arts 5316, Université Grenoble Alpes
marie-agnes.cathiard@univ-grenoble-alpes.fr

DOI: 10.24193/cechinox.2018.34.06

0. Liminaire: en rappel de relations « bonnes à penser » pour la prothétique

Dans cette contribution, nous allons tout particulièrement aborder le sous-thème « transhumanism and prosthetic technologies » en évitant de faire l’impasse sur le fait majeur de la prothétique : le destin de la prothèse étant de devenir *encé-rébrée* et de remplacer l’éventuelle apparition d’une partie fantôme – douloureuse – du corps. Ainsi lorsque nous parlerons de « commande par la pensée », ferons-nous l’appel le plus circonstancié aux concepts intuitifs qui sont issus d’une longue tradition de tentatives et d’échecs de définitions de ce qui n’est précisé souvent, lorsqu’on en fait un tutorial, qu’en manière de survol historique rapide. Pour exemple notoire, Francis Wolff, *Notre humanité: D’Aristote aux neurosciences*, avec l’a priori surprenant de considérer sur le même plan dans cette vision chronologique : « la classification des animaux d’Aristote, la mécanique cartésienne, la sociologie durkheimienne, la psychanalyse freudienne, l’anthropologie lévi-straussienne, la grammaire générative et transformationnelle, la psychologie cognitive et les neurosciences computationnelles *comme des entreprises scientifiques, même si certaines de leurs théories, voire toutes,*



sont réfutées » (Wolff, p. 16, s.p.n.) ; ce qui est pour le moins épistémologiquement un véritable « ensablement » dans une pure suite de courants de pensées. Et ce qui ne correspond évidemment même pas à la définition donnée de « science » par l'auteur : « nous entendrons par science toute entreprise de connaissance d'un domaine particulier qui s'efforce d'en décrire et d'en expliquer les phénomènes en confrontant ses concepts et ses théories à l'expérience, au moyen de méthodes transmissibles ». On ne s'étonnera donc pas que, dans son dernier ouvrage, *Trois utopies contemporaines*, alors que la plupart des recherches sur le transhumanisme se situent aux frontières du naturel et de l'artificiel et de l'humain et du non humain (animal et machine), il nous propose de ne choisir ni l'« utopie animaliste » (le *tournant ontologique* ayant viré en « tournant animal » d'après Wolff, depuis 2014), ni l'« utopie transhumaniste » mais, en guise d'humanisme, le cosmopolitisme, « stade suprême de l'humanisme ». Pour nous à l'évidence les questions urgentes qui se posent, jusqu'au plus haut niveau de la neuroprothétique pour la dite « commande par la pensée », sont très biologiquement, comme dans la plupart des expérimentations en prothétique, de savoir (y compris avec quelle éthique) : si (i) on utilise le modèle animal : et (ii) comment on prolonge la réparation du corps humain et de sa cognition, y compris *motrice*, par l'« augmentation » de l'humain. Pour rendre ces relations « bonnes à penser », on ne voit guère ce que pourrait nous apporter le cosmopolitisme, sinon rappeler que les humains – qui savent parfaitement remettre en guerre des tendances (maintenant bien repérées par l'Histoire-monde) à des communautés élargies – restent jusqu'à

présent une seule et même espèce par définition intra-féconde.

1. Et si l'« imaginaire » pouvait envahir l'imaginaire de la prothétique jusqu'à la plus techno-scientifique ?

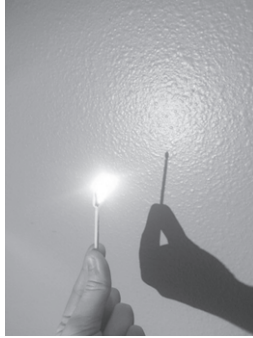
Les avancées dont nous allons bénéficier ici sur l'imaginaire, nous les avons obtenues sur une relative longue durée. On peut remonter à mon expérience d'infirmière (mémoire sur le membre fantôme, Cathiard, 1982) jusqu'à mon HDR (Cathiard, 2011), année qui a fait connaître – via plusieurs articles, y compris en allemand et anglais – notre cadre et notre modèle, consacrés aux *corps-fantômes* et à la génération des ontologies fantastiques (de Abry, 2011 et Cathiard et al, 2011, jusqu'à la synthèse de Cathiard & Armand, 2014), dans la communauté durandienne. Un effort qui n'a pas cessé d'être remarqué par le philosophe qui a le mieux théorisé l'œuvre de Gilbert Durand, depuis Wunenburger (2013), au colloque sur la *Théorie durandienne de l'imaginaire*, tenu en juin 2012 à Ottawa (un hommage du vivant de Gilbert Durand, disparu fin 2012) jusqu'à sa préface de la 12^{ème} réédition des *Structures Anthropologiques de l'Imaginaire* (2016). C'est un effort qui tout dernièrement s'est vu intégré au collectif *Corps et Prothèses : vécus, usages, contextes*¹. Très fondamentalement, nous avons pu ainsi, dès les années 2011, valoriser les deux piliers de l'héritage bachelardien, depuis son premier essai, son *épistémologie* avec *La Formation de l'esprit scientifique*, jusqu'à ses ouvrages les plus réputés consacrés à la *poétique* des éléments.

C'est dans cette optique que nous avons développé de manière systématique

ce que nous avons baptisé le *champ de l'« imaginaïf »*, que nous allons explorer ici jusqu'au cas exemplaire du plus avancé de ce qui est habituellement désigné par la « commande de prothèses bioniques par la pensée », en neuro-prothétique. Nous avons réussi à nous appuyer le plus fermement – suite à plusieurs travaux collaboratifs – sur l'établissement de trois concepts-clés: *intuition*, *contre-intuition* et *sur-intuition* (cf. Abry & Cathiard, 2016).

Nous ne reprendrons pas ici le commentaire détaillé de ce cadre heuristique

– interface entre Humanités et Neurosciences dans une approche anthropologique neurocognitive – insistant seulement sur cinq points importants. (i) La cognition que nous appelons ici en rapport avec l'imaginaire, la *cognition « imaginaïve »*, est en fait la *cognition naïve* ou *intuitive* mise en évidence par les psychologues du développement de l'enfant (pour une synthèse commode, cf. Sperber & Hirschfeld, 2004), au moyen de paradigmes expérimentaux adaptés pour tester chez lui physique, biologie, psychologie et sociologie intuitives².



À gauche: Carte postale retouchée d'un cracheur de feu de Marrakech (source Eastes & Pellaud, 2004, p. 1198).

À droite: Photographie d'une allumette enflammée... la lumière n'a pas d'ombre ! (source <http://www.joyster.fr/interesting/non-le-feu-n-a-pas-d-ombre-5573.html>)

Cognition intuitive « imaginaïve » et cognition contre-intuitive

Le feu a-t-il une ombre? La carte postale d'un cracheur de feu à Marrakech (figure de gauche ci-dessous), proposée *retouchée* aux touristes, porte clairement l'ombre du feu sur le mur. Ce qui spontanément ne dérange aucunement. En utilisant cet exemple particulièrement « éclairant » proposé par Eastes et Pellaud (2004), qui se sont inspirés de l'épistémologie de Bachelard (1938) dans leur approche didactique des concepts scientifiques *contre-intuitifs*, nous pouvons mettre en évidence grâce aux expérimentations de la psychologie dite *naïve* ou *intuitive* que l'évolution aura doté l'enfant (avec persistance chez l'adulte), d'un système efficace d'hyper-détection de l'ombre d'un prédateur. L'enfant va prêter une ombre au feu à partir de sa connaissance intuitive que tous les objets en ont une, oubliant que la lumière ne peut avoir son ombre propre (et bien entendu – contre-intuitif du contre-intuitif ! – à des km de pouvoir expérimenter que la flamme d'une baguette de verre contenant l'élément sodium sur un bec Bunsen, éclairée par une lampe au sodium, en a bien une). Comme épreuve de l'absence d'ombre de la lumière, il suffit d'éclairer l'ombre projetée sur un mur par une allumette enflammée; seule l'ombre du bois de l'allumette apparaissant (figure de droite).



(ii) Elle s'oppose clairement à la *cognition contre-intuitive* telle que les théories de la physique, relativiste ou quantique, l'ont particulièrement illustrée, et longtemps avant, l'héliocentrisme. (iii) Condition requise: *on ne peut pas tester la cognition naïve sans connaître la cognition contre-intuitive*. Ainsi on sait qu'il est quasiment impossible de convaincre la plupart des adultes qu'une plume et une bille d'acier atteindront le fond d'une cloche à vide en même temps. Un psychologue qui ne connaîtrait pas cette loi de la chute des corps serait dans l'incapacité d'expérimenter la *physique intuitive* de l'enfant, persistante chez l'adulte. (iv) C'est la *sur-intuition* qui est entièrement nouvelle dans ce cadre heuristique. On a en effet trop souvent classé comme des hallucinations, des phénomènes qui ont une réalité *corticale* maintenant bien établie, comme la sensation du membre fantôme suite à une amputation, ce qui revenait en fait à dénier la réalité de cette expérience neurale par le sujet (Freud). Le fait que l'amputé a une connaissance exceptionnelle, que nous appelons *cognition sur-intuitive*, de la présence de son membre absent n'est pas davantage étonnant que la connaissance intuitive qu'a le sujet non amputé de son membre présent. (v) Importante contrainte : *on ne peut pas tester non plus la cognition sur-intuitive sans la cognition contre-intuitive*. Le membre fantôme a une *carte corticale* – possiblement modifiée par l'inactivation du segment périphérique – qui a une *réalité neurale* aussi établie que d'autres *cartes corticales* de parties réelles du corps (cf. infra)

2. Quand l'« imaginaire » vient nier la réalité neurale d'un *sur-intuitif*

Nous avons dit « réparé » de l'humain ? Oui : de ses membres au corps entier avec leurs *cognitions moto-sensorielles* grâce à la *plasticité* des *cartes corticales* et *connexomes*. Notre cerveau possède une réelle plasticité (et on le sait maintenant depuis peu: jusqu'à la production de nouveaux neurones au cours de notre existence) si bien qu'il peut permettre à un organe de coloniser une ou des régions devenues inintéressantes pour sa fonction première. Il est ainsi bien connu que les amputations de membres entraînent une réorganisation corticale importante : ainsi Ramachandran & Hirstein (1998) ont pu montrer, chez un homme amputé du bras au-dessus du coude, qu'il éprouvait, 4 semaines après l'amputation, à la stimulation de son visage par un coton-tige, des sensations dans son membre fantôme. En explorant précisément la joue du patient, une carte complète de la main put être dessinée, isolant chaque doigt. Une exploration similaire du moignon permit de mettre en évidence une autre carte de la main au niveau de l'épaule, attestant d'une importante réorganisation corticale. Les zones corticales réactualisées du visage et de l'épaule avaient « colonisé » l'ancienne zone de la main. Cette plasticité cérébrale peut aussi permettre de récupérer la fonctionnalité d'un membre, comme ont pu le montrer les investigations en IRMf, imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (Giroux et al., 2001 ; Vargas et al., 2009) menées chez un patient qui avait perdu ses deux mains, puis avait bénéficié d'une greffe (Dubernard et al., 1999).



2.1. Les fantômes de la tête

Ayant déjà eu l'occasion d'exposer, dans cette revue (Cathiard, 2012), la phénoménologie de la sensation de membre fantôme couramment ressentie suite à une amputation, nous nous concentrerons ici sur les sensations fantômes – liées spécifiquement au domaine le mieux connu de nos travaux sur la parole multisensorielle – au visage, à la langue et au larynx; pour lesquelles il faut bien reconnaître que nous disposons de peu de sources en regard de l'importante documentation concernant les fantômes des membres.

2.1.1. Visage

Deux références sont habituellement citées, celle de Hoffman (1955) et celle de Sacks (1992). En 1955, Hoffman se désolait déjà du peu d'attention portée aux fantômes des parties faciales:

In a previous paper on a review of the literature of phantom phenomena (Hoffman, 1954), it became quite clear to this author how little was mentioned about phantom facial parts. No one of the many excellent articles and books having to do with facial disfigurement even mentioned its existence. Barsky (1950), in his book on plastic surgery, makes frequent comment about the psychological aspects. He pleads for the plastic surgeon to « make every effort to comprehend the patient's mental attitude ». Berndorfer (1949) in discussion of « Plastic surgery, Physiognomy, and Psychoanalysis » refers not at all to this phenomenon. The same could be said for the detailed publications by Young

(1949), Updegraff and Menninger (1934), Abel (1953) and that thorough monograph by MacGregor et al. (1953). No remark of even the possibility is to be found in the studies of Hill and Silver (20), Baker and Smith (3), or Rosen (27). Deutsch and Murphy (7) in their discussion of phantom parts as « Remembrance of Things Past » make no indication of the facial phantom nor does Schilder in his « Medical Psychology » (29) or « The Image and Appearance of the Human Body » (30). As a matter of fact, after very close scrutiny of the available literature the only reference in which this syndrome could be found was the very illuminating and provocative article by Gallinek (19). He claimed never to have observed a phantom after facial disfigurement or after amputation of the mamma or penis. This seemed particularly confounding especially since one would expect, as Gallinek further suggested, that according to psychoanalytic principles. If anything phantom facial parts would be anticipated more rather than less often after amputation. (Hoffman, 1955, p. 143)

Et de rapporter l'histoire de quatre patients ayant été opérés de cancers touchant le visage : trois rapportaient avoir des sensations de présence de leur œil énucléé (l'un certifie pouvoir cligner de ses paupières absentes lorsqu'il fixe un objet) et le dernier, à qui le nez a été enlevé, suite à un cancer du côté droit du visage, signale des sensations courantes de démangeaisons au bout du nez.

Le cas de la patiente rapporté par Sacks (1992) dans une note intitulée



« Clinical curios » est particulièrement surprenant:

An elderly woman, with a cavernous angioma occupying much of the right middle fossa, had to have the trigeminal (and oculomotor) nerves on this side sacrificed in its resection. The face, cheek, and outer aspect of the tongue on this side were thus deprived of all sensation. In the four years which have elapsed since surgery the patient has experienced bizarre and persistent sensations, or « illusions » : a sense that her right temple is « deformed », that the whole right side of her face is « slipping », « unstable », « caved in », or « missing », or that it is tremendously swollen inside and that it looks grotesque. While the patient allows that her face looks normal in a photograph, she cannot overcome the sense of its deformity with a mirror. She recently had to have a leg amputated (for unrelated causes) and soon after surgery became aware of a phantom. « Now », she said, « I know what's wrong with my face. It's exactly the same feeling - I have a phantom face ».

Autrement dit, il semble qu'aucun médecin n'ait été capable d'identifier les sensations perçues par cette femme comme des sensations fantômes. Sacks conclut d'ailleurs sa note par ces mots : « Although so common, so bizarre, and so distressing (and, if there is permanent deafferentation, incorrigible), such 'phantom faces' are hardly ever discussed in textbooks of neurology ». La note date pourtant de 1992!

2.1.2. Larynx

Mal et Baldwin (2009) ont exploré la sensation de larynx fantôme en interrogeant et auscultant trente-cinq patients ayant subi une laryngectomie totale (cinquante-sept patients dit contrôles, ayant subi une laryngectomie partielle, ont été également examinés). Vingt-deux patients (63%) présentaient des sensations pouvant s'apparenter à une sensation de larynx fantôme, dont 9 patients, qui bien que parfaitement conscients de leur trachéotomie décrivaient une présence de leur larynx. D'autres sensations, isolées ou associées étaient également décrites: chatouillement dans le cou, au niveau du larynx, pouvant entraîner une toux; sensation de présence du larynx lors de la lecture silencieuse ou du chant; chatouillement dans la gorge ou le cou au contact de certaines parties de leur visage. Parmi ces vingt-deux patients, treize patients présentaient en outre une réponse positive à la stimulation cutanée du visage ou du cou. Il semble que la sensation de larynx fantôme, comme la stimulation cutanée s'atténue au fil du temps (en 7-20 mois). Les auteurs notent bien que c'est la première fois qu'une telle étude est menée, ce qui tend une fois encore à montrer que les patients n'évoquent pas spontanément de telles sensations: dans ce cas précis, il est aussi possible que les patients n'en parlent pas en raison du caractère non douloureux de la sensation. Aucun des patients contrôles n'éprouvaient de sensation à la stimulation cutanée du visage et du cou, laissant penser qu'il y a bien eu réorganisation corticale de la région du larynx avec d'autres régions proches du visage chez les patients laryngectomisés.



2.2. Quand les lèvres en mouvement rencontrent la main imaginée... et vice-versa

La réorganisation cérébrale observée après amputation ne concerne pas seulement le cortex somatosensoriel primaire, S1 (Flor et al., 1995 ; Ramachandran, 1998), mais aussi le cortex moteur primaire, M1. Concernant ce dernier point, nous choisissons de relater les travaux en IRMf de Lotze et al. (2001) et de MacIver et al. (2008), deux équipes qui ont mis à profit la relation entre mouvement réel et mouvement imaginé (Jeannerod, 1995) et utilisé dans leurs protocoles des mouvements de main et de lèvres.

Lotze et al. (2001) ont comparé les activations recueillies chez 14 patients amputés à celles de 7 sujets sains contrôles. Tous les patients amputés ressentiaient la présence vivide de leur membre, accompagnée de douleur pour 7 d'entre eux. Différents types de tâches étaient proposés : les patients amputés devaient exécuter des mouvements de leur main intacte et imaginer ces mouvements avec leur main fantôme, tandis que les sujets contrôles exécutaient et imaginaient des mouvements avec leurs deux mains. Tous réalisaient aussi des mouvements de protrusion de lèvres. Les mouvements de mains exécutés entraînaient des activations bilatérales plus fortes en M1 et S1 chez tous les patients amputés, comparées à celles du groupe contrôle. Il en était de même pour les mouvements de mains imaginés, avec des activations plus fortes du côté controlatéral à l'amputation, avec également une activation controlatérale de l'aire des lèvres chez les patients souffrant de leur membre fantôme. En ce qui concerne les mouvements des lèvres,

une activation en M1S1 de la zone des lèvres était observée pour tous les sujets avec de surcroît une activation de l'aire de la main, controlatérale à l'amputation, uniquement chez les 7 patients éprouvant une sensation douloureuse. Cette étude, outre qu'elle met clairement en évidence la réorganisation du cortex moteur primaire, démontre que cette réorganisation est plus importante et peut s'étendre à d'autres aires que celles de la main, chez les patients souffrant de leur membre fantôme.

MacIver et al. (2008) ont repris le paradigme du mouvement imaginé proposé par Locke et al. (2001). Ils souhaitent tester une méthode de réduction de la douleur du membre fantôme qui ne fasse pas appel à une technique externe au sujet (comme par exemple la thérapie par la boîte à miroir ou la réalité virtuelle) afin d'être certain que les résultats observés ne soient pas dus en partie à l'intervention externe per se. Ils vont donc privilégier une thérapie par la relaxation avec imagerie mentale du corps. La réorganisation corticale de treize sujets amputés du membre supérieur ayant tous une sensation fantôme depuis au moins un an a été testée, avant et après la thérapie, par IRMf avec différents mouvements : protrusion des lèvres pour mesurer l'étendue de la réorganisation corticale motrice et somatosensorielle du visage à la main ; mouvement d'ouverture/fermeture du poing intact pour explorer le fonctionnement du cortex ipsilatéral ; mouvements imaginés des 2 mains pour découvrir d'autres réorganisations autres que celle de l'aire du visage ; mouvements imaginés de la main intacte pour évaluer les effets non-spécifiques de la tâche d'imagination. Six sujets sains contrôles réalisaient les mêmes tâches. Les sujets amputés vont



ensuite suivre un programme de relaxation constitué de 6 séances de thérapie individuelle d'une heure comportant des exercices de méditation-relaxation avec concentration sur chaque zone du corps, y compris sur les zones fantômes. Le but est d'amener le patient à imaginer des sensations et mouvements confortables dans les différentes parties du membre fantôme (bras, main, doigts). On recommande aux patients de pratiquer également chez eux quotidiennement les exercices de relaxation (avec un CD musical de 40 mn). Il est noté qu'à la suite de cet entraînement, 9 des 13 participants ont gagné une réduction de la douleur de 45%, avec complète disparition des douleurs de type exacerbations pour 6 patients (pointes de douleur vive pouvant apparaître quotidiennement, distinctes de la douleur plus régulière et plus sourde ressentie le plus souvent en continu par les patients).

En ce qui concerne les résultats en IRMf:

(i) Les mouvements des lèvres entraînent une activation bilatérale en M1 et S1 de la zone des lèvres et du visage dans l'hémisphère gauche ainsi qu'une activation dans l'hémisphère gauche (controlatéral à l'amputation) étendue à l'aire de la main (résultat confirmant celui de Lotze et al., 2001). Tandis que chez les sujets sains, l'activation est limitée bilatéralement à l'aire M1 et S1 des lèvres et du visage. Ces résultats restent globalement identiques après entraînement. Notons cependant qu'avant entraînement, l'étendue de l'activation dans l'aire controlatérale M1 covariait significativement avec la sévérité de la douleur. Alors qu'après entraînement, la réduction des scores de douleur constante covariait significativement avec la réduction de

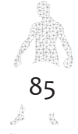
l'activation dans l'aire controlatérale de la main, de même que dans les aires ipsilatérales S1 et M1 de la main.

(ii) Les mouvements imaginés des mains entraînaient une activation controlatérale en M1 et S1 de la main chez tous. Chez les patients, une activation controlatérale de l'aire du visage était également observée. Après entraînement, cette activation de l'aire du visage a disparu.

(iii) Les mouvements imaginés de la main intacte entraînaient une activation bilatérale de l'aire de la main mais pas du visage.

(iv) Les mouvements exécutés de la main intacte entraînent chez tous les sujets une activation controlatérale des aires SI et M1 de la main. On observe également chez les patients amputés une activation ipsilatérale à la fois de l'aire M1 de la main et des lèvres. Après entraînement, l'activation ipsilatérale de la main est réduite et il n'y a plus d'activation ipsilatérale de l'aire des lèvres.

Ces résultats indiquent une réduction de la douleur et une réorganisation corticale par le seul usage de l'imagerie mentale de sensations et mouvements du membre fantôme. Si l'activation de l'aire de la main était connue lors de mouvements ou stimulations du visage (depuis Ramachandran, 1998) chez les amputés du bras, cette étude montre une réorganisation plus importante que celle observée jusque-là : en effet l'aire des lèvres est également activée lors de mouvements imaginés de la main fantôme, ce qui est à interpréter pour les auteurs comme une forme de réorganisation fonctionnelle à l'envers. Cependant, cette étude comme les précédentes ne donnent toujours pas accès aux mécanismes par lesquels la réorganisation corticale est liée à



la douleur, puisque si une covariation des deux est bien observée, il est difficile d'en déterminer le lien causal.

2.3. La langue dans sa cognition réparée pour la parole

Pour les organes impliqués dans la parole, le seul cas publié de *langue fantôme* après glossectomie totale suite à un carcinome a été décrit par Hanowell et Kennedy (1979). La sensation de ce patient était une sensation douloureuse avec brûlure. Il sentait de plus sa langue bouger comme s'il déglutissait et tentait de vocaliser (notons que ce patient avait subi en plus de sa glossectomie une laryngectomie totale et avait donc une trachéotomie permanente). Si un traitement médicamenteux a pu finalement venir à bout de la douleur, la sensation de langue fantôme est restée présente, quoiqu'intermittente.

Il n'existe pas à l'heure actuelle de données qui pourraient indiquer, comme on l'a montré dans le cas d'amputation de membres, l'existence de réorganisation corticale suite à la disparition d'une partie du visage. Mais on peut trouver des données intéressantes en cas de reconstruction de parties du visage, comme ce peut être par exemple le cas suite à une glossectomie, avec ablation partielle ou totale de la langue. L'objectif est de rendre l'usage de sa langue au patient : quand on dit « usage de la langue », nous entendons l'objectif de rendre la possibilité au patient de retrouver la maîtrise de la production du système des sons de sa langue, autrement dit de réparer sa *cognition linguistique*.

Nous décrivons ici une étude de cas unique (Savariaux et al., 2008), qui a consisté à effectuer, suite à une glossectomie

subtotale, une reconstruction de la langue du patient au moyen de la greffe d'un lambeau libre réinnervé d'un muscle de sa cuisse, le *gracilis*.

Il s'agissait selon un plan expérimental précis élaboré sous la direction de Christian Abry, de comprendre les réorganisations tout autant comportementales que corticales « lorsque les configurations du conduit vocal – qui servent à produire les sons de la parole – sont perturbées [...] structurellement par un acte chirurgical ». On sait, pour nous limiter au cas le plus typique des voyelles, que la langue (avec le larynx, le voile du palais, les lèvres) sert à contrôler la forme des cavités qui donnent les résonances caractéristiques, les *formants*, pour distinguer et reconnaître les unités cognitives du système linguistique, les phonèmes.

Le patient a été enregistré à quatre reprises lors de la production des dix voyelles orales du français: 2 jours avant l'opération (condition de référence), puis 1 mois, six mois et neuf mois après l'opération. Le but était d'étudier les caractéristiques acoustiques (formants) de ses productions et l'évolution de leur maîtrise suite à la rééducation. Il a été constaté qu'un mois après l'opération, le patient n'avait plus une amplitude satisfaisante du mouvement avant/arrière de la langue nécessaire à l'opposition des voyelles [i] et [u] (se marquant par une réduction de l'empan du formant F2 qui reste autour de 1300-1100 Hz pour [i] et de 950-850 Hz pour [u], contrairement aux réalisations articulatoires standard de la condition de référence: 2000 Hz pour [i] et 650 pour [u]). Neuf mois après l'opération, le patient a récupéré toutes les distinctions de ses voyelles, bien que dans un espace plus réduit.



L'activité du cerveau a également été enregistrée lors de l'articulation sans phonation des voyelles isolées [i, a, u], juste avant l'intervention chirurgicale, puis un et neuf mois après l'opération. Si les activations avant l'opération sont bien celles habituellement trouvées dans ce type de tâche, l'activité observée deux mois après reste très diffuse traduisant la réorganisation en cours des stratégies d'articulation tandis qu'à neuf mois, une ré-automatisation des processus semble clairement se dessiner, notamment via l'insula (gauche en l'occurrence), une région connue comme étant fortement impliquée dans la planification motrice complexe de la parole (Dronkers, 1996). Notons qu'à ce stade, ce patient n'a pas encore récupéré toute la qualité de ses productions tant articulatoires qu'acoustiques.

Les auteurs ont pu mettre en évidence un schéma de récupération ou réparation de la cognition linguistique du patient. Avant l'opération, « l'articulation des voyelles est une habileté cognitive tout à fait automatisée; elle recrute massivement chez le sujet le cervelet et le cortex prémoteur gauche » (p. 23). Après l'opération, il est constaté une disparition de la dominance hémisphérique gauche du langage, qui a d'ailleurs pu aussi être constatée chez des sujets quand on perturbe temporairement et mécaniquement leur articulation (parole avec un tube entre les lèvres). Le fait remarquable est que « dès neuf mois après l'opération, l'articulation est redevenue une nouvelle habitude relatéralisée du côté du langage, comme le montre l'activité de l'insula gauche, le cervelet n'étant pas encore automatiquement recruté » (p. 24). À plus long terme, les auteurs de l'étude s'attendent à ce que cette activité insulaire

diminue, au profit d'une activité du cervelet, responsable de la coordination motrice automatisée. Les auteurs concluent qu'« Il est ainsi possible de retrouver les signes d'une reprise de contrôle de 'l'incorporation' d'un 'nouveau muscle lingual' » (p. 24)

3. Enjeux « imaginatifs » de la « commande par la pensée »

3.1. Répondre aux injonctions de sa volonté?

Nous commencerons par citer le beau texte³ de Michel Tournier dans *Les météores* à propos des sensations éprouvées par un des frères jumeaux, Paul, suite à une amputation de jambe.

Voici une chose que je n'oserais confier à personne de peur – non tant de passer pour fou, que m'importe après tout ? – mais de l'entendre bafouée, moquée, traitée de vésanie, alors qu'il s'agit d'un prodige enthousiasmant.

Avant-hier en m'éveillant j'ai senti très distinctement que quelque chose remuait dans mes deux pansements. Un gros insecte dans le pansement de mon bras, une petite souris dans celui de ma jambe. Puis Méline est entrée, la journée s'est écoulée, et j'ai oublié l'insecte et la souris.

Chaque soir quand les soins et les rites du jour fini ont préparé l'appareillage pour la grande traversée de la nuit, je me sens tout à coup replacé dans l'environnement et l'état d'esprit du petit matin, et je retrouve alors des idées, des songes, des sensations issus de la nuit précédente, mais que la journée avaient oblitérés. C'est ainsi que



l'insecte et la souris se sont rappelés à moi. Au demeurant, cette comparaison avec des petits animaux s'est vite révélée insuffisante, car il m'est apparu bientôt que *ce qui s'agitait dans les profondeurs de mes pansements obéissait aux injonctions de ma volonté*. Tout se passe comme si de mes deux plaies émergeaient parfois ici une minuscule main, là un petit pied, doués de mouvement et de sensibilité. Émergence intermittente suivie de rétractations plus ou moins durables. Je songe au bernard-l'hermite que nous attrapions dans les rochers de Sainte-Brigitte. De la coquille de mollusque posée sur le sable, on voyait au bout de quelques minutes émerger un faisceau de pattes, pinces et antennes qui se déployait, tâtonnait et prenait possession de l'espace environnant, pour se replier et disparaître instantanément à la moindre alerte. Ainsi de la caverne rouge et tuméfiée de mes moignons sortent de fragiles et timides organes pour des incursions exploratoires qui ne dépassent pas encore les limites de mes pansements. (pp. 610-611)

...

Lorsque Méline est entrée tout à l'heure en poussant devant elle la table roulante, j'ai tressailli de peur et je me suis rejeté en arrière, tellement que je suis encore tout ébranlé du choc. C'est que depuis deux heures, ma jambe gauche – l'amputée, l'invisible – débordant du pansement, du drap, du lit, pendait sur le plancher de la chambre. Je m'amusais bien de ce membre flasque et envahissant, nu et sensible pourtant, que je poussais de plus en plus loin, jusqu'au mur,

jusqu'à la porte, et j'étais en train de me demander si je parviendrais à en abaisser la poignée avec mes orteils.

C'est alors que Méline a fait irruption avec son chariot et ses gros souliers, et peu s'en est fallu qu'elle ne m'écrasât la jambe. Il faudra l'habituer à frapper et à ne pas entrer avant que je ne me sois rassemblé.

À noter que tandis que ma jambe envahissait la chambre, mon bras gauche s'était complètement résorbé dans son pansement, et ma main, si elle n'avait pas disparu, n'était plus sous la gaze qu'un bouton de perce-neige. Faut-il admettre un équilibre entre ma jambe et mon bras, tel que l'un ne peut croître sans que l'autre décroisse, ou n'est-ce qu'une situation passagère due à mon manque de « maturité » ? (...)

Encore une innovation : je viens d'associer deux sources d'hyperconnaissance. J'avais repéré à la jumelle une colonie de champignons sous un vieux chêne, des lycoperdons, ces vesses-de-loup que nous nous amusions à presser comme des poires pour en faire jaillir un petit nuage de poussière brune. J'observais longuement dans la lumière surréelle de JUMO [une paire de jumelles] le pied épais et pelucheux et la tête ronde, laiteuse et couverte de fines pustules du plus gros sujet de la colonie.

C'est alors que j'ai eu la certitude de toucher aussi le champignon. Indiscutablement cette surface bombée, tiède et granuleuse, je ne la voyais pas seulement, je la frôlais du bout des doigts, et tout de même l'humus frais et les herbes alourdies de rosée sur



lesquels se détachait mon lycoperdon. Ma main gauche était là, elle aussi, spontanément elle s'était avancée au bout d'un bras de dix à onze mètres de long pour se trouver au rendez-vous de mon œil sur le petit champignon blanchâtre.

Mais alors ma main gauche escamotée, évanouie, avalée par son moignon ! On dirait que mon corps droit n'a pas encore la force de lancer à la conquête du monde mon corps gauche tout entier, et qu'il essaie, poussant au-dehors tantôt un bras tantôt une jambe, en attendant mieux. (pp. 616-617)

3.2. L'« imaginaïf » dans la « commande par la pensée » : entre motricité frontale et moto-sensoriel pariétal

De manière proprement inattendue, un tout récent article de l'équipe de Peter Strick de l'université de Pittsburgh (Rathelot et al., 2017) rappelle avec une expérimentation renouvelée l'héritage remontant aux années 1970 de Vernon Benjamin Mountcastle, qui préfaça le livre fondamental de son meilleur disciple Juhani Hyvärinen, *The Parietal Cortex of Monkey and Man*, paru en 1982. Rathelot (et al., 2017) : « Mountcastle and colleagues proposed that the posterior parietal cortex [PPC] contains a 'command apparatus' for the operation of the hand in immediate extrapersonal space. [...] Thus, our results establish that a region within area 5 [PPC] contains a motor area with corticospinal neurons that could function as a command apparatus for operation of the hand ».

Ce qui reste surprenant, outre cette retentissante confirmation dans les règles les plus *up-to-date* de l'expérimentation sur

le cerveau, est qu'une des premières « commandes par la pensée » médiatisée a été réalisée dans ces mêmes facilités de Pittsburgh, avec une patiente tétraplégique de longue date, Jan Scheurman, qui réussit à porter à sa bouche une barre de chocolat en commandant un bras bionique qui recevait l'activité de ses neurones collectée dans le cortex moteur *frontal* (Collinger et al., 2013). Quelle est donc la propriété différente du dispositif de commande qui serait unique dans le *pariétal* (Rathelot et al., 2017) et que ne posséderait pas le *frontal* ?

L'illustration est venue d'une réussite postérieure sur un patient à Caltech, Erik Sorto qui, lui, a été implanté dans le pariétal (PPC). Selon le directeur de cette étude, Richard Andersen, qui a donné dans l'interview à NBC News⁴, une interprétation en termes « intuitifs », pour ne pas répéter « imaginaïfs », contrairement à ce qui s'est passé dans l'apprentissage pour Jan S., pour Erik Sorto : « It does seem to be very intuitive ». En fait, il faut décoder précisément ce qu'il livre dans la formulation suivante pour ce qui concerne les électrodes du collecteur : « *They're in the part of the brain that controls intent, found in the posterior parietal cortex, rather than the parts that control movement* ». Cette division entre *intention*, notion prisée des philosophes de l'intentionnalité (cf. Searle), et les disciplines du *contrôle du mouvement*, n'est pas assez décantée de son « imaginaïveté » pour rejoindre les termes les plus clairs sur ces phénomènes issus d'une longue durée expérimentale. Donc nous devons traduire. Il faut d'abord distinguer dans le contrôle du mouvement, le contrôle du but et le contrôle du « chemin », soient les coordinations pour parvenir à ce but intentionnel. Dans le cas de Jan S., elle a dû réapprendre



les coordinations pour parvenir à la saisie ; tandis que pour Erik Sorto, ces coordinations étaient données avec la prise adaptée à la forme et à la précision nécessaire pour la cible.

Il y a bien dans le frontal comme dans le pariétal des coordinations d'articulateurs qui peuvent être déclenchées par stimulation corticale. En ce qui concerne le cortex moteur frontal, les récentes expériences de Desmurget et al. (2014) montrent qu'une coordination main-bouche, évolutionnairement pertinente, déjà présente *in utero* avec la succion du pouce, peut être commandée par une telle stimulation. Pour ce qui concerne les mouvements coordonnés distaux, dans l'espace extra-personnel, c'est dans le pariétal qu'on parvient à les déclencher. Pour une exploration des différentes *structures coordinatives* que l'on peut à la suite d'Hyvärinen inventorier et recruter dans le *répertoire gestuel* du cortex pariétal, cf. le travail évolutionnaire le plus récent de Kaas et al. (2011) chez le lémur, primate prosimien (*Otolemur garnetti*). Ainsi on peut par exemple trouver dans PPC la même coordination main-bouche que dans la bande motrice primaire frontale (M1). Alors quelle différence ?

C'est un modèle que nous utilisons depuis ses premiers résultats significatifs chez l'homme qui nous donne la réponse : dans la série d'expériences de stimulation corticale de l'équipe d'Angela Sirigu, il est apparu que le dialogue entre le pariétal et le frontal met en évidence deux cognitions motrices très différentes (Desmurget & Sirigu, 2009 ; pour plus de détails sur les zones de stimulation, cf. Desmurget et al., 2009). En stimulant le cortex pariétal postérieur, les sujets se demandent s'ils ont réalisé leur intention de bouger tel ou tel

articulateur, s'inquiétant par exemple pour savoir : « *I moved my mouth, I talked, what did I say?* » Tandis que dans le cortex frontal, les sujets jurent ne pas avoir bougé, alors qu'ils ont remué le membre dont on a stimulé la carte corticale (pour des raffinements sur l'apprentissage possible dans ce locus de stimulation, cf. le tout récent Mazurek & Schieber, 2017). En des termes encore plus précis, il faut distinguer dans la vague « imaginaïf » de la « commande par la pensée », un système pariétal (*command apparatus*) qui donne les sensations attendues pour chaque coordination moto-sensorielle ; tandis que le frontal (M1) doit attendre le retour *sensorimoteur* du pariétal (S1). Comme dirait un « non-médecin-malgré-lui », c'est parce que votre fille est passagère du conducteur d'une voiture que c'est elle qui a mal au cœur (*cinétose*), et pas le conducteur qui bénéficie des sensations attendues pour chacune de ses commandes de conduite. C'est aussi pour cela qu'on peut dire au philosophe, que s'il se laisse insérer, les yeux fermés, entre l'index et le majeur croisés, une branche de lunettes, il en percevra deux, comme l'avait déjà très bien expérimenté Aristote. Si maintenant plus habile de ses doigts (disons musicien), il arrive à croiser par sa seule volonté le majeur sur l'index sans difficulté, il n'éprouvera pas l'illusion : parce qu'il est en régime proactif (et non passif) de saisie entre ses deux doigts de l'objet.

4. Pour un *Care* technoscientifiquement neuro-compatible

Loin de nous consacrer à vouloir déconstruire « l'imaginaïf » de la créativité technoscientifique par simple nécessité critique, on conviendra que minimiser les



heures d'effort d'une patiente tétraplégique à retrouver les coordinations qui lui permettent d'atteindre le but d'une saisie par l'entraînement à délivrer, via les capteurs de son cortex frontal, l'information pertinente pour arriver à contrôler sa prothèse bionique, semble sans problème entrer dans la philosophie du *Care*. Il en va de même pour minimiser le coût-patient de tout effort thérapeutique, une partie intégrante du *Care*. Dire qu'il existe des échecs qui confinent le *Care* aux soins palliatifs est en soi louable. C'est ce que souligne Guillaume von der Weid (2017), un philosophe

qui prône une éthique où les améliorations en biotechnologie sont guidées par des fins humanistes. En ce qui nous concerne, ayant évoqué la présence de parties fantômes du corps, nous ne cacherons pas que les thérapies antidouleur par membre en miroir ou par membre en réalité virtuelle (cf. supra section 2.2.), rencontrent encore trop peu de succès. Les progrès en identification du réseau en cause, le *connectome dynamique de la douleur* (Kucyi & Davis, 2016) semblent ouvrir déjà une voie prometteuse, qui pour l'instant en est au tout début d'être suivie par les thérapeutes les plus sérieux.

BIBLIOGRAPHIE

- Abry, Christian, « Et si l'imaginal cortical fondait l'imaginaire transcendantal? », in Yves Durand, Jean-Pierre Sironneau & Jean-Jacques Wunenburger (éds.), *Variations sur l'imaginaire. L'épistémologie ouverte de Gilbert Durand, orientations et innovations*, Fernelmont: E.M.E. Éditions, 2011
- Abry, Christian & Marie-Agnès Cathiard, « A heuristic framework in Neuro-Cognitive Anthropology for the study of (Over-)intuitive Folkloristics: intuition, counter-intuition and over-intuition », pp. 27-29), in Fabio Armand, Marie-Agnès Cathiard & Christian Abry, « Death divination within a non-delusional myth: The Procession of the Dead from the Alps to Himalayas... When a theoría of 'Phantom-Bodies' meets its neural veridiction theory », in *TricTrac : Journal of World Mythology and Folklore*, Vol 9, 2016, pp. 1-28
- Bachelard, Gaston, *La formation de l'esprit scientifique, Contribution à une psychanalyse de la connaissance objective*, Paris, Bibliothèque Philosophique J. Vrin, 1970 (1ère éd. 1938)
- Cathiard, Marie-Agnès, « La sensation de membre fantôme chez les amputés », Mémoire de diplôme d'état d'infirmière. École d'infirmières de Chambéry, 1982
- Cathiard, Marie-Agnès, « Parole multisensorielle anticipée, incorporée et illusionnée. Du corps de la parole aux corps imaginés », Habilitation à Diriger des Recherches en Sciences du Langage soutenue le 10 juin 2011, Université de Grenoble
- Cathiard, Marie-Agnès, « De l'illusion 'vase-face' aux membres et corps fantômes: l'Avenir des illusions », *Caietele Echinox*, « Imaginaire et illusion », 23, 2012, pp. 41-56
- Cathiard Marie-Agnès, Abry Nicolas & Abry Christian, « Our Brain as an Incubus Incubator for the core folktypes of supernatural ontologies: From the mammalian Sleep Paralysis sensorium to human imaginaire in its biodiversity », in *TricTrac. Journal of World Mythology and Folklore*, 4, 2011, pp. 3-19
- Cathiard, Marie-Agnès & Fabio Armand, « BRAINCUBUS: Vers un modèle anthropologique neurocognitif transculturel pour les 'fantômes' de l'imaginaire », in Patrick Pajon & Marie-Agnès Cathiard (dir.), *Les imaginaires du cerveau*, Intercommunications & Editions Modulaires Européennes, Fernelmont, 2014, pp. 53-87
- Collinger, Jennifer L., Brian Wodlinger, John E. Downey, Wei Wang, Elizabeth C. Tyler-Kabara, Douglas J. Weber, Angus J.C. McMorland, Meel Velliste, Michael L. Boninger, & Andrew B. Schwartz « 7 degree-of-freedom neuroprosthetic control by an individual with tetraplegia », *Lancet*, 381 (9866), 2013, pp. 557-564
- Desmurget, Michel & Angela Sirigu, « A parietal-premotor network for movement intention and motor awareness », *Trends in Cognitive Science*, 13(10), 2009, pp. 411-419



- Desmurget, Michel, Karen T. Reilly, Nathalie Richard, Alexandru Szathmari, Carmine Mottolose & Angela Sirigu, « Movement Intention After Parietal Cortex Stimulation in Humans », *Science*, 324, 2009, pp. 811-813
- Desmurget, Michel, Nathalie Richard, Sylvain Harquel, Pierre Baraduc, Alexandru Szathmari, Carmine Mottolose & Angela Sirigu, « Neural representations of ethologically relevant hand/mouth synergies in the human precentral gyrus », *PNAS*, 111(15), 2014, pp. 5718-5722
- Dronkers, Nina F., « A new brain region for coordinating speech articulation », *Nature*, 384, 1996, pp. 159-161
- Dubernard, Jean-Michel, Benoit Lengelé, Emmanuel Morelon *et al.*, « Outcomes 18 Months after the First Human Partial Face Transplantation », *The New England Journal of Medicine*, 357(24), 2007, pp. 2451-2460
- Eastes, Richard-Emmanuel & Francine Pellaud, « Un outil pour apprendre: l'expérience contre-intuitive », *Bulletin de l'Union des Physiciens*, spécial didactique, n° 98, 2004, pp. 1197-1208
- Flor, H., T. Elbert, S. Knecht, C. Wienbruch, C. Pantev & N. Birbaumer, « Phantom limb pain as a perceptual correlate of cortical reorganization following arm amputation », *Nature*, 375, 1995, pp. 482-484
- Giroux, Pascal, Angela Sirigu, Fabien Schneider & Jean-Michel Dubernard, « Cortical reorganization in motor cortex after graft of both hands », *Nature Neuroscience*, 4(7), 2001, pp. 691-692
- Hanowell, S.T. & S.F. Kennedy, « Phantom tongue pain and causalgia: Case presentation and treatment », *Anesthesia and Analgesia*, 58(5), 1979, pp. 436-438
- Hoffman, Julius, « Facial phantom phenomenon », *The Journal of Nervous and Mental Disease*, 122, 1955, pp. 143-151
- Jeannerod, Marc, « Mental imagery in the motor context », *Neuropsychologia*, 33, 1995, pp. 1419-1432
- Kaas, Jon H., Omar A. Gharbawie & Iwona Stepniewska, « The Organization and Evolution of Dorsal Stream Multisensory Motor Pathways in Primates », *Frontiers in Neuroanatomy*, 2011, <https://doi.org/10.3389/fnana.2011.00034>
- Kucyi, Aaron & Karen D. Davis, « The Neural Code for Pain: From Single-Cell Electrophysiology to the Dynamic Pain Connectome », *The Neuroscientist*, 2016, pp. 1-18
- Lotze, Martin, Herta Flor, Wolfgang Grodd, Wolfgang Larbig & Niels Birbaumer, « Phantom movements and pain An fMRI study in upper limb amputees », *Brain*, 124(11), 2001, pp. 2268-2277
- MacIver, K., D.M. Lloyd, S. Kelly, N. Roberts & T. Nurmikko, « Phantom limb pain, cortical reorganization and the therapeutic effect of mental imagery », *Brain*, 131, 2008, pp. 2181-2191
- Mal, R.K. & D.L. Baldwin, « Phantom larynx: a clinical survey », *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 266, 2009, pp. 397-401
- Mazurek, Kevin A. & Marc H. Schieber, « Injecting Instructions into Premotor Cortex », *Neuron*, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2017.11.006>
- Ramachandran, Vilayanur S., « Consciousness and body image: lessons from phantom limbs, Capgras syndrome and pain asymbolia », *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 353, 1998, pp. 1851-1859
- Ramachandran, Vilayanur S. & William Hirstein, « The perception of phantom limb. The D.O. Hebb lecture », *Brain*, 121, 1998, pp. 1603-1630
- Rathelot, Jean Alban, Richard P. Dum & Peter L. Strick, « Posterior parietal cortex contains a command apparatus for hand movements », *PNAS*, 114(16), 2017, pp. 4255-4260
- Sachs, Oliver, « Phantom faces », *British Medical Journal*, 304, 1992, p. 364
- Savariaux, Christophe, Coriandre Vilain, Monica Baciú, Christian Abry, Pascal Perrier, Jacques Lebeau & Christophe Segebarth, « Réorganisation du conduit vocal et réorganisation corticale de la parole: de la perturbation aux lèvres à la glossectomie. Études acoustiques et IRMf », in Roland Jouvent et Georges Chapouthier (eds.), *La cognition réparée? Perturbations et récupérations des fonctions cognitives*, Éditions de la Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 2008, pp. 5-21
- Sperber, Dan, & Lawrence A. Hirschfeld, « The cognitive foundation of cultural stability and diversity », *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 8, n. 1, 2004, pp. 40-46
- Tournier, Michel, *Les météores*, Editions Gallimard, 1975



- Vargas, C.D., A. Aballéa, E.C. Rodrigues, K.T. Reilly, C. Mercier, P. Petruzzo, J.M. Dubernard, A. Sirigu, « Re-emergence of hand-muscle representations in human motor cortex after hand allograft », *PNAS*, 106(17), 2009, pp. 7197-7202
- Von Der Weid, Guillaume, « Transhumanisme, à côté du bonheur », *Libération*, 30 octobre 2017, http://www.liberation.fr/debats/2017/10/30/transhumanisme-a-cote-du-bonheur_1606863
- Wolff, Francis, *Notre humanité: D'Aristote aux neurosciences*, Fayard, 2010
- Wolff, Francis, *Trois utopies contemporaines*, Fayard, 2017
- Wolff, Francis, « L'anthropologie critique' dans les filets du relativisme », in colloque « Anthropologie et ontologie : une évaluation critique » (Martin Fortier, Frédéric Nef et Francis Wolff, org.), 11 juin 2014, Paris, ENS
- Wunenburger, Jean-Jacques, « L'anthropologie de l'imaginaire selon Gilbert Durand. Contextes, options, enjeux », in Raymond Laprée et Christian Bellehumeur (dir.), *L'Imaginaire durandien. Enracinements et envols en Terre d'Amérique*, chap. 1, pp. 3-17, Presses de l'Université Laval, 2013
- Wunenburger, Jean-Jacques, « Préface à la nouvelle édition (2016) », in Gilbert Durand, *Les structures anthropologiques de l'imaginaire. Introduction à l'archétypologie générale*, Malakoff, Dunod, 2016, pp. V-XXII

NOTES

1. <http://www.corps-protheses.org/>.
2. Précision utile : cette appellation ne comporte scientifiquement aucune condescendance envers la « psychologie populaire », « enfantine », etc.
3. Merci à Nicolas Abry de m'avoir fait découvrir ce passage et le roman !
4. <http://www.nbcnews.com/health/health-news/mind-controlled-robot-arm-gives-new-freedom-paralyzed-man-n362741>.