Philosophia Scientiæ
Travaux d'histoire et de philosophie des sciences

11-2 | 2007
Varia

L'externalité du corps cérébré : Epistémologie de la constitution interactive du corps et du monde

Bernard Andrieu

Édition électronique
URL : http://journals.openedition.org/philosophiascientiae/342
DOI : 10.4000/philosophiascientiae.342
ISSN : 1775-4283

Éditeur
Éditions Kimé

Édition imprimée
Date de publication : 1 novembre 2007
Pagination : 163-186
ISBN : 978-2-84174-439-8
ISSN : 1281-2463

Référence électronique
Bernard Andrieu, « L'externalité du corps cérébré : Epistémologie de la constitution interactive du corps et du monde », *Philosophia Scientiæ* [En ligne], 11-2 | 2007, mis en ligne le 27 juin 2011, consulté le 20 janvier 2021. URL : http://journals.openedition.org/philosophiascientiae/342 ; DOI : https://doi.org/10.4000/philosophiascientiae.342

Tous droits réservés

L'externalité du corps cérébré : Epistémologie de la constitution interactive du corps et du monde

Bernard Andrieu
Université Henri Poincaré

« Tant que l'on se représente l'âme comme une chose, un corps, qui est dans notre tête, cette hypothèse ne présente aucun danger... Tant que je dis que la pensée est dans ma tête, tout va bien. Les choses deviennent dangereuses lorsque je dis que la pensée n'est pas dans ma tête, mais dans mon esprit »
Ludwig Wittgenstein
Philosophica I, Mauvezin, T.E.R., 1997, 42.

« Notre cerveau est plastique et nous ne le savons pas »
Catherine Malabou
Que faire de notre cerveau ?, 2004, 14.

A la mémoire de François Zourabichvili mort en avril 2006

Résumé : La matière pensante du corps n'est donc pas une intentionnalité mentale du corps à l'instar de l'intentionnalité cognitive. La pensée n'est plus à définir à partir d'une réflexion consciente par un dédoublement du sujet et de l'objet. Car la matière corporelle produit des processus réflexifs d'intensités différentes selon les types d'externalité du corps. Par externalité il faut décrire les éléments non mentaux et non internes au corps qui proviennent du monde extérieur. Le corps est soumis à son extérieur comme organisme tant pour la réalisation de ses fonctions que pour la régulation des informations.

Abstract: A new epistemologic context offers the possibility to describe the interaction between body, brain and the world. The incorporation and the externalisation of information form different levels of reflexivity. The philosophy of body proposes the interactive constitution of self.

Philosophia Scientiæ, 11 (2), 2007, 163–186.

Une épistémologie de l'interaction

Le temps est venu de fonder en France, alors qu'elle existe depuis longtemps dans d'autres pays[1], la philosophie matérialiste du corps pensant en la distinguant des positions dominantes cognitivistes de la philosophie de l'esprit, de la philosophie analytique et de la phénoménologie transcendantale. Ces positions maintiennent un rapport dualiste entre le corps et le monde : l'esprit serait composé d'instruments cognitifs qui traiteraient des informations mondaines mais en les séparant de leurs interactions avec le corps. Pourtant si le cognitivisme a pu décrire l'esprit sans le cerveau, le connexionnisme a pu quant à lui expliquer l'esprit par le cerveau. Le corps dans sa relation avec le monde [Todes 2001] n'a pas pu être pris en compte que dans un sens réductionniste par les neurosciences de *l'homme neuronal*. La physiologie mentale, la neurobiologie du développement et les sciences de l'émotion et du mouvement ont réintroduit un corps interactif dans les neurosciences à travers les travaux de A. Berthoz, A. Damasio, M. Jeannerod, J. Ledoux, V.S. Ramachandran.

S'il faut aller contre l'esprit [Clement 1999,1–24][2], c'est pour le décrire désormais à l'intérieur d'un corps interactif et à partir de ses productions bio-mentales et neuro-cognitives. Cette description n'est pas nouvelle pour la philosophie matérialiste : Condillac l'avait radicalisée en faisant du toucher le prototype de la sensation et en prétendant constituer la cognition sur son sensualisme strict et progressif. Mais la neurobiologie du développement, l'embryogenèse et la neurocognition ont renouvelé ce sensualisme en décrivant scientifiquement les modes matériels de constitution d'un corps neurocognitif avec le monde. Le corps est désormais décrit comme si sa mentalité était fondée par l'interaction avec le monde [Montero 1999]. Cette interaction accompagne la formation et les relations du corps en utilisant la perfectibilité indéfinie de la matière [Bourdin 2004] [Pinkas 1995, 59–110] qui est décrite par les travaux empiriques des sciences cognitives et de la biologie.

La phénoménologie avait pu réintroduire le corps vécu, mais sans

[1]Stuart F. Spicker, ed., 1970, *The Philosophy of Body Rejections of Cartesian Dualism*, Chicago, Quadrangle Book (Les auteurs présentés sont Dewey, R.M. Griffith, H. Jonas, D. C. Long, La Mettrie, Kant, G. Marcel, M. Merleau-Ponty, H. Plügge, J.P. Sartre, M. Scheler, Spinoza, E.W. Strauss, B.A.O. William, Johnson M., 1987, *The Body in the Mind : the Bodily Basis of Meaning, Imagination and Reason*, Un. Chicago Press. D. Velton, 1999, Foundation of a Theory of the Body in *The Body. Classic and Contemporary Readings*, Blackwell Publishers Inc., p. 1–9. Todes S., 2001, *Body and World*, MIT Press. Mike Proudfoot, 2003, *The philosophy of Body*, Blakwell. Publishers Inc.).

[2]L'article démontre combien pour la philosophie de l'esprit la principale question est de savoir comment le cerveau produit l'esprit.

le corps vivant, en décrivant la présence du monde dans la perception et la projection intentionnelle du mental dans l'environnement corporel. Le corps dans la phénoménologie de Husserl, analysé à la fois comme *res extensa, res materialis, res temporalis*, s'éloigne du matérialisme en privilégiant un idéalisme transcendantal [Dood 1997, 61–81]. La phénoménologie du corps dans son rapport à la biomédecine pose pourtant le problème du sujet et de l'objet [Themas 1991, 43-58]. Car à la différence de la phénoménologie transcendantale de M. Henry qui isole le corps vécu de toute référence biologique, le second Merleau-Ponty a su penser l'interaction du corps avec le monde par l'empiètement, le chiasme, l'entrelacs [Saint Aubert 2004, 147–205]. Le chiasme a pu apparaître chez M. Merleau-Ponty comme un monisme matérialisme par l'interaction de la chair et du monde [Evans & Lawlor 2000]. Il conviendrait d'accomplir, selon Natalie Depraz un tournant pratique de la phénoménologie en tressant un lien entre phénoménologie, cognition et sciences : "Dans le contexte contemporain des sciences cognitives, il apparaît en effet de plus en plus clairement qu'une méthode disciplinée des données en première personne inspirée de la phénoménologie est requise dans le cadre même de l'étude en troisième personne de la dynamique neuronale du sujet" [Depraz 2004, 53].

Mais la chair reste un concept de la phénoménologie d'un corps subjectif, car J.Patocka estime que l'incarnation est une clef fondamentale pour comprendre le lien entre corps et phénoménologie, dans la mesure où le corps est la structure personnelle de l'expérience du monde : "notre corps est un concept situationnel" [Patocka 1998, 27]. Le schéma corporel est pourtant une notion pré-noétique dont la régulation des postures et des mouvements exige une description des processus automatiques dans un contexte médical plutôt que strictement phénoménologique [Gallagher 2001, 149]. Le lien entre médecine et phénoménologie renouvelle ainsi la signification proprement phénoménologique de la chair : contre la désincarnation du corps par la médecine interne, Katherine Young défend la thèse que notre propre matérialité est celle de la corporalité du soi rendant notre propre chair comme un mode de subjectivation [Young 1997, 136].

Si Roy Porter et Simon Seha ont pu démontrer combien la chair devait être comprise selon la fondation moderne des relations entre le corps et l'âme, c'est cependant au prix du maintien d'un vocabulaire dualiste qui tend à disparaître dans notre perspective matérialiste [Porter, Seha 2004]. Car l'incarnation ne doit pas être comprise au sens de l'incarnation de l'esprit dans le corps, ce qui maintiendrait, même dans le modèle holiste, une transcendance au cœur de l'immanence. La proprio-

ception et l'image corporelle doivent plutôt être comprises ici comme une relation interne du soi à son propre corps [O'Shaughnessy 1995]. Dès 1975, Donald Brady dressait l'inventaire de cette philosophie de la chair [Brady 1975]. La relation du corps à la chair remplace désormais celle du corps et l'esprit dans la perspective d'une description interne des degrés d'organisation de la matière [Welton 1998]. La philosophie de la chair [Lakoff, Johnson 1999] décrit l'incarnation de l'esprit dans un sens différent de la tradition occidentale en mettant l'accent sur le vécu corporel. Mark Jonhson décrit la signification, l'imagination et la raison sur des bases corporelles [Johnson 1987]. L'incarnation relève donc d'une phénoménologie du corps [Zanel 1971] [Glynn 1982] qui doit prendre en compte la réflexivité du corps sur sa propre chair : Nick Crossley refuse d'adhérer à cette pré-réflexivité conditionnée par les incorporations et les reproductions sociales à la manière de Pierre Bourdieu car l'habitude n'est pas seulement un *habitus* social ; il retrouve le sens constitutif de l'habitude comme une préréflexivité corporelle résultant de l'action du corps dans le monde [Crossley 2001, 159]. La thèse de la conscience corporelle [Cassam 2002] (*Bodily awareness thesis* B.A.T.) présuppose que la conscience de son propre corps est une condition nécessaire pour l'acquisition et la possession des concepts des qualités primaires de ce corps et des autres choses. La question, précise Quassim Cassam, est de savoir si la sensation elle même a un contenu représentationnel conceptuel ou non conceptuel qui pourrait être dérivé de l'expérience [Cassam 2002, 15].

A la différence de la phénoménologie traditionnelle, la phénoménologie biologique, si elle a été abordée par le second Merleau-Ponty à travers la psychologie de l'enfant, a dû attendre les travaux de Gilbert Simondon sur la psychogenèse de l'individuation et de la perception et ceux de F. Varela sur l'énaction du vivant pour retrouver le lien interactif entre le corps et le monde. Mais le lien entre phénoménologie et sciences cognitives a surtout été développé par Evan Thompson et Francisco Varela [Thompson 1996, 127–141]. La philosophie écologique refuse le centralisme cognitif qui décrirait le cerveau comme une organisation de modules secondaires commandés par un bureau central. Le cérébrocentrisme nuit à la description de la dynamique neuronale : plutôt qu'une extraction séquentielle de l'information, les réseaux et leurs connexions supposent "un système marqué par une intense coopération bidirectionnelle" [Varela 2004, 77]. Cette activité coopérative rend nécessaire l'interaction entre le corps et son environnement par l'incorporation ; mais Varela défend une double thèse : d'une part celle de l'énaction qui est une incarnation de la signification dans le passage d'un comportement à un autre

grâce "aux oscillations rapides entre les populations neuronales capables d'engendrer des configurations cohérentes" [Varela 2004, 82] ; la liaison sélective d'un ensemble de neurones en un agrégat temporaire définit ainsi une histoire incarnée qui se modifie sans cesse ; la localisation de l'ingénierie cristallisée dresse les cartes successives des réseaux. D'autre part la relation entre l'environnement et le monde n'est plus comprise seulement à partir d'une phénoménologie de la perception mais au sein d'une conception écologique du corps : "ce corps situé existe grâce aux interactions avec un environnement" [Varela 2004, 90]. L'environnement d'un moi cognitif est celui d'un agent en situation : la contextualité est mouvante, mobile et imprévisible, force l'agent à agir son environnement en lui et à agir sur son environnement. L'entité cognitive, ni monadique et ni solipsiste, est émergente car ses propriétés émergent au fur et à mesure et par les interactions écologiques du sujet avec son environnement. Le corps situé est constitué par son environnement et le moi serait une illusion virtuelle par la mobilité des réseaux internes et le retard de la conscience sur son activité cérébrale.

Le développement des neurosciences affectives a aussi replacé le corps au centre de la description du cerveau. Joseph Ledoux définit l'émotion "comme le processus par lequel le cerveau détermine et calcule la valeur d'un stimulus" [Ledoux 2002, 259]. Pourtant, depuis le XVIIe siècle, l'espace sensible est un des enjeux majeurs pour définir un matérialisme mécaniste du monde physique, car le corps doit y démontrer ses pouvoirs pour y constituer une connaissance non spirituelle et fondée sur la sensation [Garber 1998]. L'émotion, la profondeur et la chair relèvent d'une étude de l'espace sensible dans la théorie de l'incarnation de Maurice Merleau-Ponty [Cataldi 1993]. Un regain spinoziste réévalue aujourd'hui la place du monisme au sein du matérialisme. Spinoza avait raison, selon A.R. Damasio, en affirmant que l'esprit et le corps sont des "processus parallèles et mutuellement corrélées" [Damasio 2003, 217]. Le lien entre affects, actions et passions chez Spinoza pose le problème d'unité du corps et de l'esprit en distinguant pourtant ce qui relève de l'un et de l'autre [Jacquet 2004, 41]. Une physique cogitative, dégagée par l'interprétation de Spinoza par François Zourabichvili, décrit comment "les affections du corps sont en même temps des affects de l'esprit" [Zourabichvili 2002, 127]. Depuis Aristote et son *De Anima*, le sens du toucher et la perception tactile fournissent les éléments d'une connaissance matérielle du monde extérieur et intérieur [Golluber 2001] [Michael 2001]. Le toucher établit, selon F.J. Varela, une intimité entre le touchant et le touché dans le contact matériel [Varela & Cohen 1989] [Varela 2001, 265].

"Comment le vivant pense" est devenue une question centrale lorsque les philosophes du corps l'étudièrent comme G. Deleuze et F. Guattari à partir du modèle du rhizome, ou de M. Serres à partir de celui des cinq sens. Mais avec la neurophénoménologie [Andrieu 2006] l'accent est désormais mis sur l'action et le mouvement par lesquels la matérialité corporelle agit sur un environnement et ré-agit à l'incorporation informationnelle. La biologie du développement [Le Douarin 2000, 113–152] a établi les conditions de cette interaction constituante du corps avec cet environnement. Le corps ne peut plus être décrit comme pensant par lui-même sans le monde et ne peut plus être modélisé par la perméabilité du corps. A la fois perméable et imperméable le corps vivant devient pensant par le travail de transformation, de traitement et d'action des informations mondaines incorporées : la cognition biologique va décrire, pas seulement dans la biochimie de la mémoire, le cerveau hormonal ou la biologie des passions, les influences réciproques du corps et de l'environnement. Au cours de son développement, le corps construit sa capacité réflexive au fur et à mesure de la stabilisation sélective des synapses qui assurent au cerveau la matière suffisante pour penser les informations. Le corps devient pensant et les formes d'activité pensante dépendent du degré d'organisation interactive du corps avec le monde. La constitution d'un soi corporel est progressive avant que l'interaction constituante puisse devenir une interaction régulatrice. Ce long passage de l'interaction constituante à l'interaction régulatrice transforme peu à peu le corps externalisé par son environnement à un corps mentalisant cet environnement.

Types d'externalité du corps

La matière pensante du corps n'est donc pas une intentionnalité mentale du corps à l'instar de l'intentionnalité cognitive. La pensée n'est plus à définir à partir d'une réflexion consciente par un dédoublement du sujet et de l'objet. Car la matière corporelle produit des processus réflexifs d'intensités différentes selon les types d'externalité du corps. Par externalité il faut décrire les éléments non mentaux et non interne au corps qui proviennent du monde extérieur. Le corps est soumis à son extérieur comme organisme tant pour la réalisation de ses fonctions que pour la régulation des informations.

Cette détermination (cf. Schéma 1) est le processus structurant tout organisme animal sous l'action des gènes du développement. Selon son ordre d'activation et ses modes d'interaction avec les informations envi-

ronnementales, les gènes du développement privent l'organisation d'une animation indépendante de cette structure. La régulation inductive implique une recherche d'harmonisation entre les informations environnementales et les potentialités génétiques de l'organisme. La modulation au cours de la neurogenèse, comme l'a prouvé N. Le Douarin sur la migration des cellules nerveuses dans le modèle de la chimère caille-poulet, indique à la fois leur ordre génétique et leurs relatives limites d'adaptation. Les périodes sensibles de neuroplasticité, démontrées par Hubel, Wiesel et Mouncastle d'abord sur des chatons, ont précisé combien l'organisation animale impliquait une interaction déterminante mais limitée dans le temps. La plasticité regénérationnelle, par la technique initiale des greffes notamment celles de cellules souches, démontre une adaptation qualitative et plus seulement fonctionnelle des organes de l'être vivant. Enfin l'individuation accorde à l'interaction bio-historique le rôle de qualification de la singularité de chaque organisme animal.

Schéma 1

INDIVIDUATION	Plasticité Socioculturelle des réseaux neuronaux
RÉGÉNÉRATION	Plasticité regénérationnelle des greffes
SENSIBILITÉ	Périodes sensibles de la neuroplasticité
RÉGULATION	Régulation inductive
DETERMINATION	Gènes du Développement

L'externalité sensible détermine le corps par des voies différentes selon un soi pragmatique qui doit se construire selon les intensités de l'interaction mondaine. Le modèle écologique présente l'avantage d'externaliser la matière corporelle, mais doit être relativisé par les différentes qualités de la matière à incorporer. Nous défendrons plutôt la thèse d'une écologie faible afin de rendre compte d'une constitution interactive où et du corps et du monde ont leur part respective. Le corps humain n'est pas séparé du monde, mais le monde n'est pas non plus séparable du corps qui le pense. Cette causalité asymétrique définit une réciprocité pragmatique où l'action déclenche dans la matière corporelle qui le programme d'engramme, qui les processus différentiels pour s'adapter à l'information mondaine.

Comme le démontre Daniel Dennett la plasticité dans le cerveau humain exige que nous évitions de décrire le système nerveux comme représentant quoi que ce soit dans le monde. Le modèle de l'auto-stimulation, par la rétroaction en boucle de la production spirituelle du cerveau dans le monde sur le corps cérébré suppose que l'évolution de l'organisation

cognitive repose sur la plasticité de la matière corporelle : "les cerveaux humains conscients sont plus ou moins des machines virtuelles sérielles implémentées — de façon non efficace — sur le matériel parallèle dont l'évolution nous a dotés" [Dennett 1993, 272]. La plasticité structurelle du cerveau fait du corps humain une machine virtuelle qui dépend de ses interactions avec l'environnement de l'auto-organisation post-natale à l'adaptation neurocognitive. L'esprit se réalise par l'interaction du corps et du monde car le corps pensant invente des objets dans le monde.

Le corps est un processus d'externalisation du *self* par le moyen de différents types de plasticité (cf. Schéma 2). Par externalisation du *self*, le corps construit son identité par interaction avec le monde sans devenir entièrement cette extériorité et en y opposant une série de potentialités qui s'actualisent plus ou moins selon le degré de l'information environnementale. Le *self* n'est pas entièrement un non soi, mais ne peut non plus se développer sans son interaction mondaine : s'externaliser consiste à trouver dans son environnement les informations nécessaires pour développer, consolider et modifier sa matière corporelle. Celle-ci doit se déterminer à travers l'interaction avec son environnement, découvrant ainsi ses différentes sortes de plasticité :

Schéma 2

Découverte scientifique	*Type d'externalité*	**Matière pensante**
a) Développement embryon.	*Externalisation empirique.*	**Détermination adaptative.**
b) Plasticité de développement.	*Externalité interactive.*	**Spécialisation sélective.**
c) Plasticité de recalibration.	*Externalité incorporée.*	**Remaniement bioculturel.**
d) Plasticité regénérationnelle.	*Internalisation externée.*	**Créativité matérielle.**

L'externalisation empirique est un type d'externalité qui conditionne le développement corporel de l'embryon selon les informations rencontrées lors de l'interaction précoce. Sans la rencontre dans le monde d'une information, le corps ne peut se déterminer : le corps doit s'externaliser pour adapter sa structure et ses fonctions car il ne possède pas en lui-même les conditions et les moyens de son propre développement endo-

gène : son individuation adaptative s'accomplit par cette externalisation empirique.

L'externalité interactive, à l'inverse de l'externalité empirique qui détermine *in alio*, suppose qu'entre le corps et le monde une relation dialectique s'instaure : la structure du corps humain est organisée pour entrer en interaction avec son environnement à un moment donné de son développement ; sans cette interaction, le corps humain perd définitivement sa fonction si bien qu'une spécialisation sélective est le résultat de cette interaction. La plasticité développementale n'est pas un déterminisme strict mais le résultat de l'effet structurant de l'interaction sur le corps lui-même ; le corps perdrait de sa fonctionnalité et se spécialiserait autrement en définitive.

L'externalité incorporée, à la différence de l'externalité interactive qui maintient une relation corps-monde, vient recalibrer les structures qui doivent tenir compte pour leur fonctionnalité de l'information environnementale. L'incorporation de l'information externe modifie l'état et la structure biologique du corps en opérant à un remaniement bioculturel. Le corps ne pense pas consciemment cette modification, mais procède à une série de changement de sa matière en se conformant à l'information environnementale.

L'internalisation externée repose, à l'inverse de l'externalité incorporée qui procède du dehors du corps à son dedans structurel, sur des capacités endogènes de suppléance corporelle par lesquelles une regénération biologique est compatible : la matière corporelle possède des propriétés d'intégration dans sa structure de greffons sans lesquels elle perdrait de sa fonctionnalité et souvent son existence. La plasticité regénérationnelle prouve que le corps vivant est un processus dynamique dont la matière s'adapte au fur et à mesure de l'incorporation de greffons.

a) Développement embryon, *Externalisation empirique* et **Détermination adaptative**

Le corps humain se forme par interaction avec son environnement et sa bioculturalité est le résultat d'une incorporation des éléments extérieurs dans la matière corporelle. Prématurée, la matière corporelle est indéterminée et reçoit de son environnement des modes et des contenus de structuration qui viennent modifier le corps au fur et à mesure de ces incorporations. Cette construction-interaction n'est pas exclusivement culturelle et sociale comme pourrait le décrire un externalisme strict car le corps est déterminable selon des préstructures biologiques, des dispositions génétiques et des potentialités neurologiques. L'inscription du symbolique et du biologique s'effectue dans la mémoire et les réseaux de

l'apprentissage. De même l'internalisme est largement insuffisant pour constituer de manière innéiste l'intégralité du corps humain : respiration, motricité, perception utilisent l'environnement pour se constituer et fonctionner. L'externalisation du corps dans le monde le constitue d'éléments provenant de l'extérieur et qui vont faire réagir des mécanismes internes, dans une sorte de détermination réciproque et asymétrique entre l'externalisation de l'interne et l'internalisation de l'externe.

L'adaptation suppose que la matière est extrêmement sensible à l'interaction avec son environnement au point que sa plasticité devienne une perméabilité ; aucune prédisposition n'interdit cette perméabilité car le contenu incorporé devient *ipso facto* une structure de la matière corporelle. La matière pense son corps interactif sans *a priori* qui structurerait au préalable les contenus. L'incorporation de ces nouvelles données ne change pas seulement l'état mental mais la nature de la réflexivité du corps sur sa propre matière. L'acquisition et l'expérience sont incorporées dans la matière même de la cognition, et plus seulement pour se transmettre dans la filiation (comme le supposait J.B. Lamarck). Cette incorporation des acquis expérimentaux dans les contenus expérimentaux dans les contenus mentaux structure les formes de la représentation et de la cognition. L'externalisation du mental trouve ici son sens le plus empirique puisque la matière corporelle serait informe, neutre, sans structure préétablie.

Or la matière corporelle ne peut être entièrement externalisée dans un sens adaptatif mais seulement certaines parties participent de cette externalisation empirique par son individuation. Le terme d'individuation a été introduit, dans l'histoire de la biologie moléculaire, afin de décrire le dynamisme évolutif de l'ento-chordo-mésoblaste sur l'ectoblaste. Les travaux de Hans Spemann (1869-1941) et d'Hilde Mangold (1898-1924) sur l'induction neurale prouvent le rôle de la localisation dans la différenciation des tissus greffés. En changeant d'environnement, les tissus s'adaptent à leur nouvelle localisation, même si la découverte des propriétés inductrices de la lèvre dorsale du blastopore n'a pas permis la définition de l'inducteur chimique dans un premier temps.

Conrad Hal Waddington (1905-1975) avance le concept de champ d'individuation, comme si l'individuation ne pouvait être séparée d'une interaction entre les organisateurs et les tissus compétents. Les champs d'individuation (*individuation fields*) sont à distinguer d'une première phase régulée d'action de champ (*field action*) qui passe en biologie expérimentale graduellement à un stade de développement en mosaïque dans lequel chaque partie est une unité autonome.

b) Plasticité de développement, *Externalité interactive* et **Spécialisation sélective**

Il existe aussi dans le corps des structures innées vides de contenus et dont la réflexivité ne fonctionnera qu'une fois que l'information environnementale sera incorporée. L'indétermination de contenu est préorganisée au cours du développement car une structure comme la vue ne peut se stabiliser et se constituer comme telle que si le contenu environnemental vient remplir et stabiliser la structure innée. L'interaction est structurante d'une part en insérant des contenus dans des pré-structures innées qui acquièrent par là une fonctionnalité réflexive. L'étude des privations sensorielles a démontré, autour des travaux de l'école d'Harvard, avec D. Hubel (1926-), T. Wiesel (1924-) et V. Mountcastle (1918-), et l'évanouissement des liaisons synaptiques qui auraient dû se stabiliser au cours de l'apprentissage. David Hubel, qui rejoignit Torsten Wiesel au laboratoire de Steve Kuffler à John Hopkins en 1958, et Torsten Wiesel, eurent l'idée d'étudier le cortex visuel dans son développement afin de préciser le degré de plasticité lors de l'épigenèse. Au cours d'une série d'expériences sur le chat et le singe en 1959 ils constatèrent que le stimulus qui donne la meilleure réponse est le déplacement, à l'intérieur du champ récepteur des neurones de l'aire striée, d'un contour orienté de manière spécifique [Hubel & Wiesel 2004]. A partir d'un histogramme de dominance oculaire, ils établirent comment les neurones corticaux, qui sont les premières cellules visuelles, se répartissent. Cette étude de la binocularité permet aux deux chercheurs de découvrir l'importance de l'expérience dans la stimulation respective de chaque œil. Ils purent établir les principes de la microanatomie des cellules corticales.

Les travaux sur le développement et la plasticité à partir des données cliniques de l'amblyopie (mauvaise vue due à des défauts du système visuel) furent obtenus sur un chaton par D. Hubel et T. Wiesel : lorsqu'on prive un chaton de l'emploi d'un œil à la naissance en lui fermant une paupière, il en résulte une perte permanente de la vue ; cette dégradation provient de la désorganisation des connexions de cet œil privant de lumière les neurones corticaux. Il existe ainsi une période critique au cours de laquelle une réversion pourrait être possible si l'œil recouvrait la vue. La sensibilité à l'environnement n'est pas établie de manière innée : les contraintes génétiques prédisposent le cortex à un certain mode de développement et l'interaction avec le milieu détermine si sa réalisation sera totale ou non. La plasticité des connexions binoculaires prouve qu'au cours de son développement le système visuel fait l'objet d'un réglage destiné à le faire correspondre à l'environnement visuel.

Une telle interaction entre la prédisposition génétique et l'expérience mondaine décrit l'architecture fonctionnelle du cortex comme le résultat d'une construction dialectique. En cela il faut dépasser l'opposition traditionnelle de l'inné et de l'acquis : la notion de prédisposition rend nécessaire de manière interne la réalisation par l'expérience ; celle-ci est non seulement le moyen de l'actualisation mais aussi la condition de la conservation de la fonction visuelle.

L'exercice est donc nécessaire pour la réalisation de ce qui ne resterait que potentiel faute d'une interaction suffisante avec le milieu ; ou plutôt une dégénérescence sera la conséquence d'une absence de collaboration entre le milieu et le cerveau. Ainsi chez l'animal nouveau-né, la ségrégation nette en colonnes de dominance oculaire, comme l'avait démontré Vernon Mountcastle dès 1957, n'existe pas. Elle s'établit progressivement et n'est achevée qu'au bout de six semaines après la naissance. La capacité de l'expérience visuelle à modifier ses connexions fonctionnelles du cortex visuel est limitée aux trois premiers mois de la vie : cette période critique développe des phénomènes de compétition sélective entre axones.

Jean-Pierre Changeux utilise l'expression d'"enveloppe génétique", pour souligner ce rapport dynamique forme-matière, pour lier la nécessité génétique avec l'utile développement des capacités induites par elle. L'ouverture à la variabilité phénotypique individuelle concerne la croissance des câbles nerveux dans les réseaux de neurones, et non la réplication de l'ADN. Ainsi y a t-il un renouvellement permanent de l'architecture moléculaire de la synapse adulte, sous influence du milieu extérieur. L'hypothèse de la stabilisation sélective de 1973 est confirmée comme l'ultime stade de redondance maximale de contacts synaptiques. Aussi "apprendre, c'est stabiliser des combinaisons synaptiques préétablies. C'est aussi éliminer les autres" [Changeux 1983, 304]. Le cerveau permet d'apprendre par sélection des informations prises dans le contenu de cette sélection. La révolution neuronale, pour autant qu'elle évite tout réductionnisme localisationniste[3], définit une prédestination formelle.

c) Plasticité de recalibration, *Externalité incorporée* et **Remaniement bioculturel**

Le monde, bien qu'extérieur à l'organisme, ne lui est connu qu'à travers notre corps : les sensations transportent des informations à notre système perceptif ; ce système, par l'activité nerveuse, est constamment

[3] « Nous savons qu'il n'est pas possible d'assigner une fonction cérébrale intégrée à un "centre" unique ou à un seul neurotransmetteur, mais à un système d'"étapes de transit" ou se "nouent" des états d'activité électrique et chimique », *L'homme neuronal, op. cit.*, p. 252.

sensible à l'interaction avec le monde ; ainsi chacun paraît percevoir la même pomme devant nous, mais, si les qualités matérielles et formelles de la pomme existent indépendamment de la perception que nous en avons, ma perception diffère fondamentalement de celle d'autrui car elle est liée à nos mémoires, nos conceptualisations, nos représentations. La pomme est perçue à travers nous plutôt qu'elle ne nous informe directement, si bien que nous ne connaissons le monde jamais tel qu'il est mais tel que nous le reconnaissons ou non. La perception du monde et des autres est dite subjective plutôt qu'objective.

L'animal, y compris l'homme, est compris comme cet animal individué et pensant — voire intentionnel selon J. Proust — dont les propriétés sont incarnées dans sa singularité cognitive et dans son organisation épigénétique. Nous ne retenons ici, parmi d'autres, que trois propriétés adaptatives : la perception, la représentation du monde et la représentation de soi.

Métareprésentation
ESPRIT : **Cogito**
Représentation de soi
CONSCIENCE : **Réflexion**
Représentation mentale
COGNITION : **Conception**
Représentation du monde
HABITUATION : **Recalibration**
Information perçue
PERCEPTION : **Sensibilité**
Sensation du monde
MONDE

Afin d'établir la communauté matérialiste entre l'animal et l'homme, il convient de supposer dès la perception simple la présence d'une pré-représentation endogène et implicite qui, en creux, présente une structure susceptible de classifier et sélectionner les informations. Tel est le sens de l'adaptation neuro-cognitive.

Le naturalisme développe ainsi trois arguments pour distinguer plusieurs niveaux dans l'activité pensante du cerveau-animal selon son degré d'organisation et de fonctionnement. La recalibration, l'évolution représentationnelle et l'individuation sont des concepts inventés pour décrire un cerveau animant et animé ; plus seulement reptilien, le cerveau est un ensemble de neuro-fonctions qui va de la perception sensorielle, du traitement de l'information, de la mémoire, et la représentation. Cet ensemble

appartient à tout organisme l'utilisant pour se former des représentations du monde, sinon de lui-même pour certains organismes, et d'agir à partir d'elles. Comment passe t-on de la perception à l'action, une question commune à tous les animaux même si, comme nous le verrons, des différences de fonctionnement existent entre eux ?

Reste à évaluer au cours de ce travail, si cet ensemble établit entre l'homme et l'animal une communauté des structures neurofonctionnelles ou si le fonctionnement propre à chacun des organismes est source d'une individuation différenciante ? L'influence du paradigme linguistique est venue, pendant longtemps, interdire la distinction de la représentation avec une fonction mentale ; or "il existe en effet beaucoup de représentations dans le monde biologique qui n'impliquent pas la présence d'une fonction mentale" [Proust 2000, 124]. Comment définir une représentation sans fonction mentale ? Si l'on s'en tient aux travaux de Kandel & Hawkins sur le mollusque nommé Aplysie, la modification d'un réflexe de défense de l'animal est effective par l'apprentissage. L'habituation produit un changement de neurotransmetteurs si bien que ce nouvel état des neurones sensoriels définirait une représentation interne du monde.

L'adaptation du système neurocognitif aux modifications du milieu repose sur un certain nombre de contraintes et sur des capacités correctives : comme l'analyse J. Proust, "la calibration est un mécanisme d'identification des conditions d'identité spatio-temporelle d'un évènement sensoriel multimodal — la recalibration est une modulation dynamique des récepteurs sensoriels" [Proust 1997, 152–153]. À la différence de la plasticité, la recalibration est la preuve de l'intermodularité entre les diverses cartes sensorielles et motrices. Avoir un esprit repose, selon le naturalisme, sur la capacité à utiliser l'information pour contrôler le comportement : ce lien entre perception-analyse de l'information-action n'aboutit pas au behaviorisme.

Ni la communication, ni la manipulation d'outils ne seraient suffisants pour posséder un esprit si bien que le terme d'intelligence de l'animal devrait être abandonné pour considérer l'esprit-représentation comme un préalable de l'esprit-conscience : l'ambition est d'expliquer comment un individu peut construire de manière autonome ses structures de contrôle sur la base de sa propre histoire informationnelle. J. Proust, s'appuyant sur les travaux de Dretske, distingue bien information, indication et représentation afin "d'abandonner l'espoir de voir la sortie motrice contribuer à fixer un indicateur dans une fonction représentationnelle" [Proust 2004, 184]. Le prélèvement et le traitement d'une information portant sur les conditions de cohérence spatiale des données sensorielles permettent la dimension représentative ; la possession d'une carte cognitive pour le

calcul des coordonnées géocentriques et des distances exocentriques facilite la représentation objective du monde chez l'animal. Les dispositions à orienter son action dans l'espace sont depuis toujours au centre de l'argument du naturaliste pour légitimer la construction matérielle des représentations.

La recalibration, si elle établit l'adaptation dès le traitement sensoriel, exige la délimitation de structures innées dans l'apprentissage. Car le fonctionnement de ces structures dépend-t-il entièrement du développement neurogénétique de l'organisme ou relève t-il d'un travail mental spécifique ? Le remaniement bioculturel de la recalibration est une des conditions de l'apprentissage car l'externalité environnementale est incorporée au point de modifier le corps.

d) Plasticité regénérationnelle, *Internalisation externée* et **Créativité matérielle**

L'internalisation externée de structure avec inclusion dans les états internes du corps suppose l'existence dans la matière corporelle d'états non structurés qui ne fonctionnent qu'une fois que la structure exogène a été incorporée. Le corps incorpore cette structure exogène qui correspond à ce qui préexiste comme états internes dans le corps. Sans cette incorporation d'une structure exogène, le corps ne pourrait penser ses états internes sans elle : la structure exogène organise les rapports entre les états internes sans laquelle leur matière ne suffirait pour produire une activité réfléchie. Ces rapports entre les états internes produisent une activation réflexive une fois la structure exogène incorporée.

La complémentarité neurofonctionnelle peut être compensée en cas de lésion d'un hémisphère par un autre, mais contribuent, dès les travaux de Pierre Flourens (1794-1867) en 1824, à décrire la temporalité dynamique. Comme le soulignent Marc Jeannerod et Henri Hecaen "des auteurs comme Lépine (1894) et Dival (1895) avaient imaginé que les terminales nerveuses pourraient être animées de mouvements amiboïdes leur permettant d'établir ou de rompre le contact avec d'autres neurones. Pour Lugaro (1898), les corps cellulaires des neurones pouvaient devenir turgescents et leurs dendrites se couvrir d'épines pendant l'état d'activité. Surtout Tanzi (1893) et Cajal (1895) avaient déjà émis l'hypothèse que le passage itératif du courant nerveux dans un réseau de neurones peut créer l'hypertrophie de ces neurones et l'augmentation de leurs ramifications. L'exercice serait donc capable d'accroître la capacité fonctionnelle des neurones" [Jeannerod & Hecaen, 1979].

Cette plasticité synaptique, comme capacité à pouvoir s'adapter aux messages chimiques dont elle permet la transmission, trouve son principe par la mise en évidence par Viktor Hamburger (1900-2001), Rita

Levi-Montalcini (1909-) et Stanley Cohen (1922-) du facteur de croissance du nerf (NGF). Ces facteurs neurotrophiques sont-ils vraiment des molécules de la neuroplasticité ? Ces facteurs induisent la croissance des neurones et la pousse de prolongements au cours du développement. Ainsi une nouvelle thérapie se développe depuis le milieu des années 80 : greffes intracérébrales de neurones et apport de facteurs neurotrophiques. Dans tous les cas, il s'agit d'empêcher la dégénérescence des cellules nerveuses, par une action pharmacologique : l'anormalité est désormais mesurée par la quantité de neurones dopaminergiques, dont la fonction est de s'opposer à l'augmentation démesurée de la synthèse et de la libération striatale d'acétylcholine. Pour la maladie de Parkinson, en s'appuyant sur le métabolisme de la dopamine, la DOPA-thérapie a été mise au point aux environs de 1967, mais a connu de nettes améliorations, en 1974 et 1975, par l'association de DOPA et des inhibiteurs de sa transformation périphérique qui ont permis de diminuer les doses et de réduire les effets secondaires actifs. L' hypothèse neurotoxique, selon laquelle une sélection des neurones dopaminergiques pourrait être effectuée, permet aujourd'hui d'envisager un traitement, lorsque moins de 50% de ces neurones ont disparu. C'est l'arrêt du processus dégénératif qui est envisagé par la compréhension des mécanismes d'action des neurones dopaminergiques [Larsen & Calne 1985]. Stephen B. Dunnett et Anders Blörklund spécialistes des greffes neuronales, envisagent des modalités de transplantation de la substance noire de tissus embryonnaires pour les cerveaux déficients. Et même si les travaux ne portaient, jusque là, que sur des rats, les premières transplantations sur l'homme ouvrent une question éthique quant à l'utilisation de tissus d'embryons à des fins de régénérescence.

La maladie d'Alzheimer fournit une autre dimension thérapeutique contre le vieillissement cérébral. La morphologie et la chimie du cerveau sont perturbées chez les personnes âgées. Dans la maladie d'Alzheimer, comme toutes les maladies neurodégénératives, le cytoplasme de certaines cellules se remplit de faisceaux denses de paires de filaments protéiques en hélice ; cette accumulation, la dégénérescence neurofibrillaire, perturbe la conduction de l'influx nerveux. Dès 1906, le psychiatre allemand, Alois Alzheimer (1864-1915), avait souligné ces petits dépôts d'une substance particulière que l'on a identifiée, en 1984, comme un fragment de protéine d'environ 40 acides animés que l'on nomme la protéine bêta-amyloïde. L'origine moléculaire de la maladie a été découverte en 1991 ; du moins des mutations spécifiques de l'ADN sont-elles responsables de certaines formes de la maladie. Seuls, les chromosomes 21 (dont l'anomalie est la cause de la trisomie 21) et 19 ont, pour le moment, per-

mis une localisation des gènes codant les enzymes défectueuses. On a pu montrer comment l'acétylcholine pouvait agir dans le traitement de la maladie d'Alzheimer : ainsi, l'augmentation de la synthèse d'acétylcholine permet d'isoler les neurones cholinergiques. On peut aussi empêcher la dégradation de l'acétylcholine en inhibant la cholinestérase. Mais la voie chimique n'est pas encore totalement efficace et la voie de la thérapie génétique ne fait que commencer.

En fait précise Marc Pechanski, « le terme de "réinnervation" est sans doute plus approprié que celui de greffe » [Pechanski 1993, 76]. Car il s'agit plus d'une conjonction de phénomènes liés à la neuroplasticité : d'un côté des neurones fœtaux dont le programme génétique impose la croissance et de l'autre des neurones adultes privés de contacts synaptiques habituels. Ces thérapies, qui iraient de la maladie de Parkinson à la maladie de Huntington, reposent sur la plasticité des systèmes diffus. Toutefois, face au développement des tests prédictifs, l'avenir thérapeutique des maladies neuro-dégénératives n'offre qu'un traitement palliatif aux indications limitées. Aussi l'utilisation thérapeutique des facteurs neurotrophiques parait se fonder sur une modification de la structure même des neurones. L'idée est de provoquer une pousse axonale endogène pour compenser la perte d'une bonne partie de la population cholinergique.

Ainsi le système nerveux, mais aussi le corps lui-même avec les greffes, fait preuve de renouvellement neuronal et de créativité regénérationnelle en renouvelant sa propre matière. La plasticité réparatrice de cet "art plastique" [Malabou 2004, 61] produit un sujet biotechnologique : le corps naturel n'est plus qu'une matière première qu'une modification vient redéfinir tant l'identité vécue que la structure vivante. Le défi plastique du corps est de pouvoir moins changer d'état provisoire en s'adaptant aux exigences de l'extériorité que de maintenir vivant la dialectique identité/mutabilité : en changeant de différence le corps plastique ne devient pas n'importe quel autre par une sorte de perméabilité spongieuse. L'art plastique du corps ne consiste pas à devenir des identités flexibles, des *dividus* sans individualités mnésiques. Si l'extériorité définissait toute l'intériorité, il n'y aurait plus de réflexivité propre une fois que le corps cérébré est informé. Le corps ne peut être que le reflet du monde. Sa réflexivité plastique l'autorise à refonder, comme dans le cas des cellules souches, l'avenir à partir du passé, le futur à partir de l'origine. Le caractère indifférencié des cellules souches prouve que leur spécialisation s'effectuera en fonction de l'histoire bio-subjective du corps. L'extériorité doit composer avec le traitement endogène de son information : "La

plasticité du Soi ... implique une nécessaire scission et la recherche d'un équilibre entre le maintien d'une constance (ou Soi autobiographique en effet) et l'exposition de cette constance aux accidents, au dehors, à l'altérité en général" [Malabou 2004, 145].

Conclusion

L'externalité du corps cérébré est nécessaire pour la construction d'une cognition adaptée à son environnement. Sans cette interaction structurante entre le corps et le monde, le cerveau et le système nerveux ne pourraient se construire des réseaux neuro-cognitifs particulièrement adaptés à la mobilité informationnelle.

Les différentes sortes de plasticités (génomique, du système nerveux, organique) révèlent que la matière corporelle est capable d'incorporer des altérités sans altérations pathogènes dès lors que l'import exogène ne produit pas de rejet par défaut de compatibilité immunologique. Car aux interventions extérieures s'ajoutent la capacité de la matière corporelle à s'auto-réparer soit par régulation immunitaire, soit par ré-organisation des circuits et des modes d'information.

Cet art plastique du corps le définit comme une chair du cerveau.

Bibliographie

Bachelard, Gaston

1934a Lumière et substance, *Revue de métaphysique et de morale*, 3, 343–366.

1934b *Le nouvel esprit scientifique*, Quadrige, Paris : PUF.

1938 *La formation de l'esprit scientifique*, Paris : Vrin, 1980.

Alzheimer, Alois

1907 Über eine eigenartige Erkrankung der Hirnrinde. *Allgemeine Zeitschrift fur Psychiatrie und Psychisch-gerichtliche Medizin*, 64, 146–148.

Andrieu, Bernard

2006 Brains in the Flesh. Prospects for a Neurophenomenology, *Janus Head. Journal of Interdisciplinary Studies in Literature, Continental Philosophy, Phenomenology, Psychology and Arts*, NY, 129–149.

Berthoz, Alain

2003 *La décision*, Paris : O. Jacob.

Björklund, Anders & Dunnett, Stephen B.

2007 Dopamine neuron systems in the brain : an update. Trends Neurosci. Apr 2.

Bourdin, Jean-Claude

2004 Matérialisme et perfectibilité, dans B. Binoche (ed.), *L'Homme perfectible*, Lyon : Ed. Champ Vallon,. 147–169.

Brady, Donald

1975 *Philosophy of the Flesh : A Reader*, Ed. MSS Information Corp.

Cassam, Quentin

2002 Representing Bodies, *Ratio*, 15, (4) 315–334. Repris dans M. Proudfoot (ed.), *Philosophy of Body*, London : Blackwell, 1–20, 2003.

Cataldi, Steve L.

1993 *Emotion, Depht and Flesh , A Study of Sensitive Space : Reflection on Merleau-Ponty's philosophy of Embodiment*, Ed. State Univ of N.Y.

Changeux, Jean-Pierre

1983 *L'homme neuronal*, Paris : Fayard.

Clement, Fabrice

1999 Les rapports de l'âme et du corps dans la philosophie de l'esprit contemporaine, *Rev. Theol.Phil.*, 131, (1), 1–24.

Crossley, Nick

2001 *The Social Body. Habit, Identity and Desire*, London : Sage Publications.

Damasio, Antonio R.

2003 *Spinoza avait raison. Joie et tristesse, le cerveau des émotions*, Paris : O. Jacob.

Deleuze G. & Guattari, F.

1980 *Mille plateaux. Capitalisme et schizophrénie 2*, Paris : Minuit.

Dennett, Daniel

1991 *La conscience expliquée*, Paris : O. Jacob, trad. P. Engel, 1993.

Depraz, Natalie

2004 Le tournant pratique de la phénoménologie, Tourner la phénoménologie, *Revue Philosophique de France*, n° 1, 149–165.

Dodd, James

1997 *Idealism and Corporeality. An Essay on the Problem of the Body in Husserl's Phenomenology*, Kluwer Academic Publishers.

Dretske, Fred

1995 *Naturalizing the Mind*, MIT Press.

Evans, Frantz. & Lawlor, Ludwig. (éds.)

2000 *Chiams : Merleau-Ponty's Notion of Flesh*, Albany.

Flourens, Marie-Jean-Pierre

1824 *Recherches expérimentales sur les propriétés et les fonctions du système nerveux dans les animaux vertébrés*, Paris : Crevot.

Gallagher, Shaun

2001 Dimension of Embodiment : Body Image and Body Schema in Medical Contexts, in S. Kay Toombs (ed.), *Handbook of Phenomenology and Medecine*, Kluwer Acad Press, 147–176.

Garber, Daniel

1998 New Doctrines of Body and its Powers, Place and Space, in D. Garber (ed.), *The Cambridge History of Seventeenth Century Philosophy : Two Volumes*, Cambridge University Press, 553-623.

Glym, Stan

1982 Preface : Phenomenology and Embodiment, *J. of British Society of Phenomenology*, vol. 13, n°3, 212–225.

Hamburger, Viktor

1988 *The Heritage of Experimental Embryology. Hans Spemann and the Organizer*, Oxford University Press.

Hubel, David & Wiesel, Torsten

2004 *Brain and Visual Perception The Story of a 25-Year Collaboration*, Hardback Edition.

Jeannerod, Marc & Hecaen, Henri

1979 *Adaptation et restauration des fonctions nerveuses*, Villeurbanne : Simep.

Johnson, Mark

1987 *The Body in the Mind : The Bodily Basis of Meaning, Imagination and Reason*, Chicago : Univ. Chicago Press.

Kandel, Eric D. & Hawkins Robert D.

1989 Identified Serotonergic Neurons LCB1 and RCB1 in the Cerebral Ganglia of Aplysia Produce Presynaptic Facilitation of Siphon Sensory Neurons, *The Journal of Neuroscience*, vol.9, n° 2, 4227–4235.

Lakoff, George & Johnson, Mark

1999 *Philosophy of the Flesh : the Embodied Mind and its Challenge to Western Thought*, N.Y. : Basic Book

Larsen, Andreo & Calne, Donald

1985 Recent Advances in the Study of Parkinson's Disease, in D. Bousfield (ed.), *Neurotransmitters in Action*, New York-Amsterdam : Elsevier Biomedical Press, 252–256.

Le Douarin, Nicole

2000 *Chimères, clones et gènes*, Paris : O. Jacob.

Ledoux, Joseph

2002 *Neurobiologie de la personnalité*, Paris : O. Jacob, 2003.

1998 *The Emotionnal Brain*, Londres : Weidenfeld & Nicolson.

Levi-Montalcini, Rita

1988 *In Praise of Imperfection : My Life and Work*, New York : Basic Books.

Malabou, Catherine

2004 *Que faire de notre cerveau ?*, Paris : Bayard.

Montero, Bruce

1999 The Body Problem, *Nous*, 33, 2, 183–200.

Mountcastle, Vermon B. & Edelman, Gérald M.

1982 *Mindful Brain Cortical Organization and the Group-Selective Theory of Higher Brain Function*, MIT Press.

O'Shaughnessy, Brian

1995 Proprioception and the Body Image, in Jose Luiz Bermudez, Anthony Marcel & Naomi Eilon (eds.), *The Body and the Self*, MIT Press,175–203.

Patocka, Jan

1968 *Body, Community, Language World*, Ed. Carus Publishing Company, 1998.

Pechanski, Marc

1993 *Le cerveau en quatre dimensions*, Paris : Hachette.

Pinkas, David

1995 *La matérialité de l'esprit. La conscience, le langage et la machine dans les théories contemporaines de l'esprit*, Paris : Éditions La découverte.

Porter, Roy & Seha, Simon

2004 *Flesh in the Age of Reason. The Modern Foundation of Body and Soul*, Ed. Hardcover.

Proust, Joelle

1997 *Comment l'esprit vient aux bêtes*, Paris : Gallimard.

2000 Recalibration et représentation mentale, in P. Livet (ed.), *De la perception à l'action. Contenus perceptifs et perception de l'action*, Paris : Vrin, 121–145.

Saint-Aubert, Emmanuel

2004 *Du lien aux éléments de l'être. Merleau-Ponty au tournant des années 1945-1951*, Paris : Vrin.

Serres, Michel

1985 *Les cinq sens*, Paris : Grasset.

Simondon Gilbert

2006 *Cours sur la perception* (1964-1965), Paris : Les éditions de la Transparence.

Spemann, Hans

1901 Ýber Correlationen in der Entwicklung des Auges. *Verhand. Anat. Ges.* 15, 61– 79.

1938 *Embryonic Development and Induction*, Yale University Press.

Themas, Oliver

1991 Phenomenology of Body : the Subject-object Problem in Psychosomatic Medicine Role of Traditional Medical Systems, in Beatrix Pflederer & Dilles Bideau (eds), *Anthropology of Medecine : A colloquium of West European and North American perspectives*, Special Issue *Curare*, Weisbacle Wieweg, 43–58.

Thompson, Evan

1996 Embodiment and Cognitive Science, in Michel O' Donovan Anderson (ed.), *The Incorporated Self. Interdisciplinary Perspectives on Embodiment*, Boston : Rowman & Littlefield Publishers, 127–141.

Todes, Samuel

2001 *Body and World*, MIT Press.

Varela, Francisco

1992 L'incarnation de la vacuité, in *Quel savoir pour l'éthique*, Paris : Ed. la découverte, 2004.

2001 Intimate Distances. Fragments for a Phenomenology of Organ Transplantation, *J. of Consciousness Studies*, 8, n° 5-7, 259–271.

Varela, Francisco & Cohenn Amy

1989 Le corps évocateur, une relecture de l'intimité, *Nouvelle revue de Psychanalyse*, 40, 193–213.

Waddington, Conrad Hal

1956 *Principles of Embryology*, London : George Allen & Unwin

Welton, Donn

1998 The Flesh Culture, in *Body and Flesh. A Philosophical Reader*, London : Ed. Blackwell Publishers, 227–350.

1999 *The Body. Classic and Contemporary Readings*, London : Blackwell Publishers Inc.

Young, Katherine

1997 *Presence in the Flesh. The Body in Medicine*, Harvard University Press.

Zanel, Robert (ed.)

1971 *The Problem of Embodiment. Some Contribution to a Phenomenology of Body*, The Hague : Martinus Nijhoff.

Zourabichvili, François

2002 *Spinoza, une physique de la pensée*, Paris : P.U.F.