

The Universality of Science

Lisboa, 22 mars 2002

Le conflit entre science et sens commun

Jean Petitot

EHESS & Ecole Polytechnique, Paris

INTRODUCTION

Le conflit entre les technosciences “dures” et la phénoménologie du sens commun est traditionnel. Bien que notre rapport spontané à notre environnement soit régi par les structures et les règles du sens commun, on considère en général que ces structures et ces règles s'opposent à la vérité progressivement élaborée par les disciplines scientifiques, expérimentales et mathématisées.

Pourtant, les choses ont profondément changé ces 30 dernières années dans la mesure où, dans de très nombreux domaines, le sens commun est devenu *lui-même* un nouvel objet d'investigation scientifique. Évidemment cela n'a été possible que dans le cadre de sciences naturelles élargies, essentiellement des sciences concernant les structures émergentes dans les systèmes complexes. Or le sens commun est fondamentalement adapté à ces structures.

J'évoquerai ici très rapidement deux exemples :

- (i) l'organisation morphologique du monde sensible ;
- (ii) la constitution perceptive des formes.

Dans les deux cas je poserai d'abord brièvement le problème puis je donnerai quelques indications sur la modélisation.

I. DES SCIENCES EXACTES À LA PHÉNOMÉNOLOGIE DU SENS COMMUN

La “synthèse computationnelle” des phénomènes, c'est-à-dire la reconstruction mathématique théoriquement fondée des données empiriques, est caractéristique de sciences comme la physique. Mais elle n'a été jusqu'ici véritablement effective qu'en physique et cela parce qu'on s'est restreint à un domaine très étroit et très contraint de la réalité phénoménale. On a laissé en dehors de la reconstruction mathématique de la réalité des régions immenses de phénomènes, même si de très nombreuses disciplines descriptives et théoriques les ont étudiées en détail. Mais une théorisation conceptuelle est totalement différente d'une reconstruction mathématique par synthèse computationnelle.

Parmi les domaines ignorés par la science classique citons par exemple :

- (i) toute la complexité morphologique et organisationnelle macroscopique des systèmes matériels ;
- (ii) toutes les opérations cognitives : catégorisation, inférence, induction, etc. ;
- (iii) tous les phénomènes sémiotiques de signification ;
- (iv) et, plus profondément, tout ce qui a trait à la *phénoménalisation* de l'objectivité physique.

C'est ainsi que s'est imposée l'"évidence" – en fait le préjugé – *d'une scission irrémédiable* entre d'une part *la phénoménologie* (l'être manifesté du monde sensible apparaissant de façon accessible à la perception, l'action et le langage et les autres facultés cognitives qui le prennent en charge) et d'autre part *la physique* (l'être objectif du monde matériel). Cette disjonction transcendantale a transformé le monde sensible du sens commun en un monde d'apparences subjectives-relatives – de projections mentales – ne possédant pas de véritable contenu objectif. On a admis tout au plus comme type d'objectivité de ces apparences une objectivité de type *formel*.

Ce n'est pas le lieu ici d'aborder techniquement ces difficultés. Nous évoquerons simplement de façon extrêmement brève deux exemples parmi beaucoup d'autres des immenses difficultés philosophiques rencontrées.

1. Husserl et l'objectivation physico-mathématique

Husserl a fort bien analysé la façon dont l'objectivation physico-mathématique du monde sensible a méconnu les structures (les "essences") morphologiques vagues de la manifestation sensible pour en faire de simples apparences à étudier psychologiquement.

Par exemple, dans la *Krisis (la Crise des sciences européennes et la phénoménologie transcendantale)* et dans son appendice qu'est *L'Origine de la Géométrie*, il explique en détail que la géométrie et la physique n'ont pu devenir ce qu'elles sont qu'en s'"arrachant" au

"flux héraclitéen des morphologies sensibles remplissant la spatialité intuitive" (p. 32),

au flux des données changeantes de l'expérience pré-scientifique, des "essences morphologiques vagues" et des formes "anexactes" proto-géométriques dans leur rapport d'adéquation aux concepts descriptifs de la langue naturelle.

C'est sur cette base que Husserl a dénoncé un "objectivisme" physicaliste qui en arrive à ce paradoxe de rendre incompréhensible la physique elle-même. Dans le §52 des *Ideen I*, "La chose selon la physique et la 'cause inconnue' des apparences", il dénonce l'absurdité qu'il y a à soutenir que l'apparaître perçu n'est que l'indice d'une vérité physique transcendantale, qu'il n'est que pure apparence subjective, "simulacre", "signe" de la "vraie" chose physique,

“une réalité totalement inconnue qui serait à l’égard des apparences une *cause* cachée qu’on pourrait seulement caractériser de façon indirecte et analogique par le biais de concepts mathématiques.”

2. Hilary Putnam et le réalisme

Plus proche de nous, Hilary Putnam a également fort bien étudié le conflit entre le réalisme physique et le réalisme du sens commun qui traverse notre conception moderne de la réalité. Dans ses “Paul Carus Lectures” de 1987 *The Many Faces of Realism* il rappelle l’histoire de la distinction entre qualités premières (extension spatiale) et qualités secondes (qualités sensibles comme la couleur), l’impossibilité de réduire les qualités secondes à des fonctions mathématiques de variables physiques, ainsi que la genèse du dualisme entre, d’une part, l’objectivité physique (transformée en une ontologie d’une réalité externe substantielle, indépendante, transcendante et en soi) et, d’autre part, la reconstruction cognitive du monde sensible à partir des sense data. Il rappelle, tout comme Husserl, à quel point ce dualisme spontané et naïf est dommageable.

Car partir du moment où elles sont inexprimables dans le langage de la physique, comment penser les structures phénoménologiques qualitatives du monde manifesté ? Selon Putnam, il faut remettre en question l’opposition communément acceptée entre propriétés intrinsèques (i.e. transcendantes, indépendantes de l’esprit, de la perception et du langage) et propriétés extrinsèques (i.e. apparentes, projetées, dispositionnelles). En effet :

“to explain the features of the commonsense world (...) in terms of a mental operation called «projection» is to explain just about every feature of the commonsense world in terms of thought”(p. 12).

La conséquence en est immédiate : le réalisme s’inverse de fait en un pur idéalisme subjectif :

“So far as the commonsense world is concerned (...) the effect of what is called «realism» in philosophy is to deny objective reality, to make it all simply thought”(p. 12).

La réponse de Putnam à ces apories est celle d’un *réalisme interne* qui soit compatible avec un *relativisme conceptuel* (les méta-notions catégoriales d’objet, d’ensemble, d’existence, de réalité, de cause, etc. n’ont pas de sens absolu, mais seulement un usage relatif au choix d’un langage et de schèmes conceptuels) et permette de préserver le réalisme du sens commun tout en évitant les contradictions du réalisme métaphysique.

Sur l’arrière-fond de cet énorme débat métaphysique, je dirai en deux mots que l’un des aspects les plus caractéristiques de notre actualité techno-scientifique est d’avoir effectué “un retour aux choses mêmes” non plus sous la forme d’une régression

phénoménologique vers l'expérience vécue pré-physique et pré-objective et vers le sens commun, mais bien au contraire par une progression techno-scientifique vers de *nouvelles* synthèses computationnelles. L'horizon de cette question est que la *phénoménalisation* de l'objectivité physique (ce que Kant appelait le “phénomène du phénomène” dans l'*Opus Postumum*) est devenue elle-même un objet de science relevant de la méthode expérimentale, de modélisations mathématiques et de simulations informatiques.

II. LA COMPLEXITÉ MORPHOLOGIQUE ET ORGANISATIONNELLE MACROSCOPIQUE DES SYSTÈMES MATÉRIELS

Comme premier exemple de ces progrès, je donnerai un exemple de modèle morphologique. Depuis les travaux pionniers des années 70 (en particulier ceux de René Thom), on a commencé à comprendre comment des formes pouvaient “émerger” et “s’auto-organiser” stablement à l’échelle macroscopique sur la base causale d’interactions complexes de déroulant à l’échelle microscopique. Ce sont des phénomènes microphysiques collectifs coopératifs et compétitifs qui déterminent l’origine causale des comportements macroscopiques d’ensemble brisant l’homogénéité des substrats. L’exemple physique standard est celui des *phénomènes critiques* comme les transitions de phases.

Contrairement aux systèmes mécaniques déterministes classiques, les systèmes complexes sont des systèmes

- qui sont *singuliers* et *individus*, en grande partie contingents (non concrètement déterministes, même quand ils sont idéalement déterministes, parce qu'ils présentent une sensibilité à des variations infinitésimales de leurs paramètres de contrôle et que cette sensibilité produit des effets de divergence) ;
- qui sont historiques et résultent de processus d'évolution et d'adaptation ;
- qui sont des systèmes hors équilibre possédant une régulation interne leur permettant de demeurer à l'intérieur de leur domaine de viabilité.

Le rôle des systèmes dynamiques non linéaires (de leurs attracteurs, de leurs propriétés de stabilité structurelle et de leurs bifurcations), des théories du chaos, des fractales, de la physique statistique (groupe de renormalisation), de l'entropie, de la criticité auto-organisée, de la complexité algorithmique, des algorithmes génétiques, des automates cellulaires est ainsi devenu central dans la compréhension des systèmes complexes adaptatifs multi-agents réels et de leurs propriétés statistiques et computationnelles.

Nous ne considèrerons qu'un exemple. Hans Meinhardt du Max Planck Institut a développé des modèles pour des motifs morphologiques comme ceux des coquilles (figure 1).¹

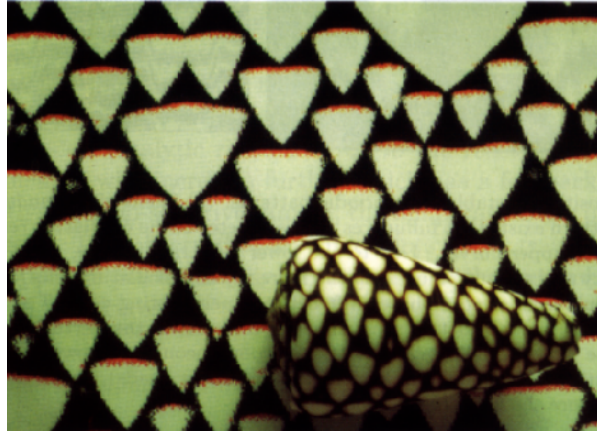


Figure 1. Simulation des motifs d'une coquille de l'espèce *Conus marmoreus*. La coquille est photographiée sur le fond de la simulation. (D'après Meinhardt [1995].)

La croissance d'une coquille se fait par couches successives d'accrétion de matériau calcifié le long du bord du manteau. L'état de pigmentation d'une cellule est déterminé par la cellule sous-jacente et l'état des cellules voisines. Une coquille peut donc être considérée comme un diagramme "position \times temps de développement".

On utilise des *équations de réaction-diffusion* (introduites par Turing en théorie de la morphogénèse) qui couplent des équations cinétiques de réaction décrivant des interactions moléculaires locales et des équations de diffusion décrivant des phénomènes de transport. La diffusion produit de l'uniformisation, elle homogénéise. C'est par excellence un processus destructeur de morphologies. Mais si le milieu est le siège de réactions chimiques avec catalyse et autocatalyse (les équations différentielles de la cinétique chimique exprimant l'évolution temporelle des concentrations des espèces chimiques sont alors non linéaires) et s'il est loin de l'équilibre thermodynamique (système ouvert) alors il peut y avoir des morphologies spatio-temporelles complexes qui émergent de façon stationnaire et qui sont engendrées par des processus d'auto-organisation. Le caractère explosif de l'autocatalyse se trouve inhibé par d'autres réactifs et, suivant les vitesses de diffusion relatives des produits de la réaction, les morphologies peuvent être très différentes.

Par exemple si A est un activateur auto-catalytique et si H est un inhibiteur dont la synthèse est catalysée par A , alors à partir d'une situation initiale homogène on peut obtenir des motifs périodiques. Une petite fluctuation de A produit par autocatalyse un

¹ Meinhardt [1995].

pic local de A . Mais cela amplifie aussi la concentration de H localement. Et si H diffuse plus vite que A , la formation de A ne sera inhibée par H que latéralement et non pas au centre du pic. D'où un pic de A bordé par un manque de A .

Dans le cas de l'espèce *Conus marmoreus*, Meinhardt suppose que l'activateur produisant la pigmentation noire se déclenche aléatoirement, s'autocatalyse et diffuse lentement. D'où la formation de triangles noirs. Mais quand la production a duré assez longtemps (donc après un certain délai), l'inhibiteur se déclenche et diffuse rapidement. D'où l'arrêt brutal de la diffusion et l'extinction des bases de ces triangles. Mais l'activateur reste actif sur les bords de ces intervalles car il a été tardivement déclenché. D'où de nouveaux triangles de diffusion. On obtient ainsi des cascades caractéristiques.

III. MODÈLES PERCEPTIFS

Nous allons maintenant donner un exemple de la façon dont le système visuel implémente neuralemement des primitives géométriques permettant de calculer (au sens computationnel) des morphologies.

À cause de la structure de leur champ récepteur, les neurones “simples” de l'aire V1 (la première aire corticale visuelle) détectent des paires (a, p) d'une position rétinienne a et d'une orientation p en a . La figure 2, due à William Bosking et ses collègues ² représente l'architecture fonctionnelle de l'aire V1 d'un petit mammifère, les directions préférentielles p étant codées par des couleurs. Elle est géométriquement organisée en “hypercolonnes” d'orientation ayant la forme de “roues d'orientation” baptisées *pinwheels*. Elle est réticulée par un réseau de points singuliers qui sont les centres de *pinwheels* locaux qui se recollent eux-mêmes en une structure globale.

La méthode d'imagerie employée a été introduite au début des années 1990, entre autres par Tobias Bonhöffer et Amiram Grinvald. Baptisée “in vivo optical imaging based on activity-dependent intrinsic signals” elle permet d'acquérir des images de l'activité des couches corticales superficielles. On présente à l'animal plusieurs dizaines de fois (de 20 à 80 fois) des grilles de fort contraste constituées de bandes noires (par exemple de 6.25°) alternées avec des bandes blanches (par exemple de 1.25°), avec plusieurs (par exemple 8) orientations différentes et une vitesse par exemple de $22.5^\circ/s$. On ouvre une fenêtre crânienne au-dessus de V1 et l'on illumine le cortex en lumière orange. On somme ensuite les images de l'activité de V1 obtenue pour différentes grilles et l'on construit des cartes différentielles que l'on normalise (en divisant la déviation relative à la moyenne de chaque pixel par la déviation moyenne globale) et dont on élimine le bruit de basse fréquence. On obtient ainsi des cartes comme celles de la figure 2 où, les orientations étant codées par des couleurs, les lignes d'iso-orientation sont les lignes monochromatiques.

² Bosking *et al.* 1997.

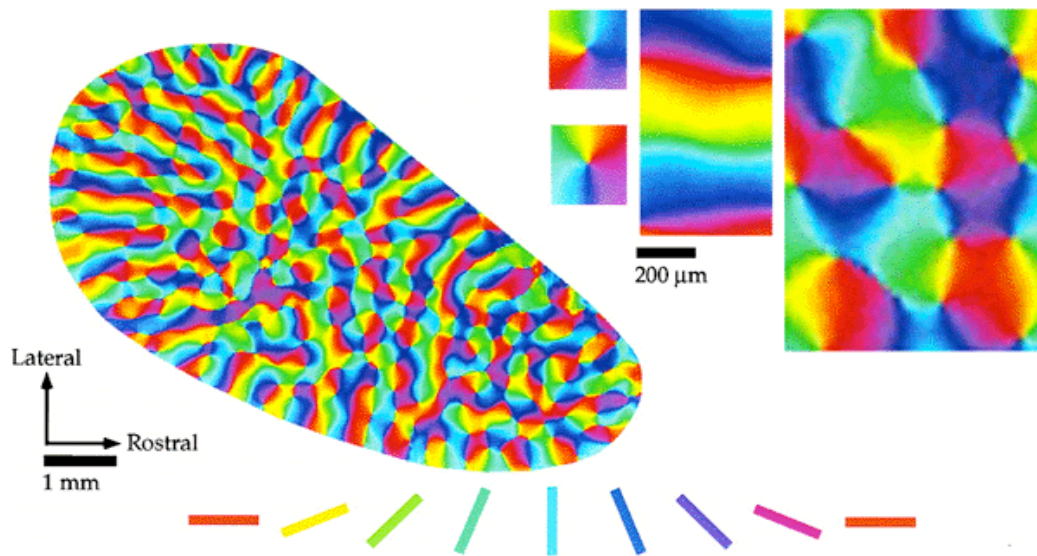


Figure 2. À gauche, la structure en pinwheels de l'aire V1 d'un tree shrew. Les différentes orientations sont codées par des couleurs. À droite, zoom sur des exemples de points réguliers et de points singuliers de chiralités opposées. (D'après Bosking *et al.* 1997).

On remarquera qu'il existe 3 classes de points :

- (i) des points réguliers où le champ d'orientation est localement trivial au sens où les lignes d'iso-orientation y sont approximativement parallèles ;
- (ii) des points singuliers au centre des pinwheels où convergent toutes les orientations ; ils sont de chiralités opposées lorsqu'ils sont adjacents ;
- (iii) des points cols au centre des mailles du réseau, points où les lignes d'iso-orientation bifurquent : deux lignes d'iso-orientation voisines partant du même point singulier aboutissent à deux points singuliers différents.

La figure 3, également due à William Bosking montre comment un marqueur (de la biocytine) injecté localement dans une zone de V1 d'orientation donnée (codée par du bleu-vert) diffuse le long des connexions “horizontales” cortico-corticales internes à V1.³ On constate que la diffusion à courte portée est isotrope alors que la diffusion à longue portée est au contraire hautement anisotrope et restreinte à des domaines essentiellement de même orientation (de même couleur) que celle du site d'injection.

³ Ces connexions “horizontales” s'opposent aux connexions “verticales” de la voie rétino-géniculocorticale.

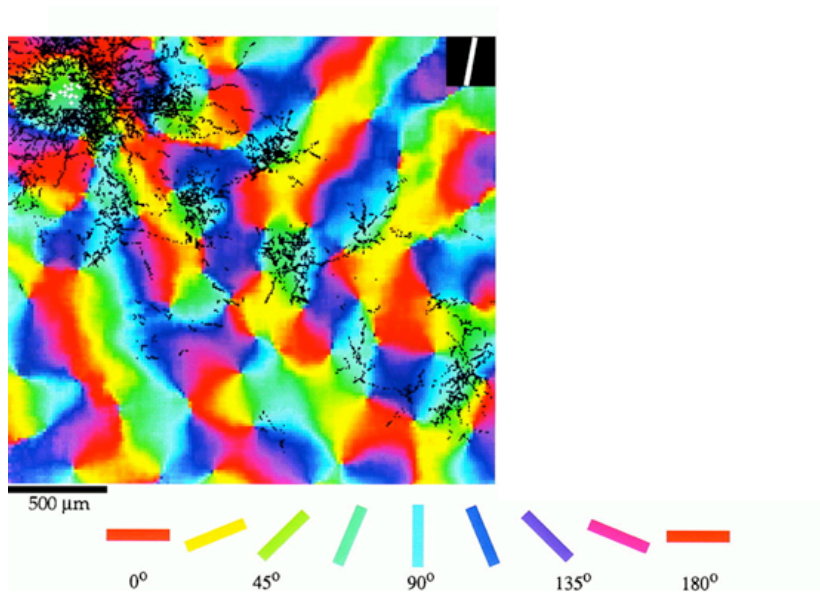


Figure 3. La diffusion du marqueur de la biocytine le long des connexions horizontales. (D'après Bosking *et al.* 1997)

Les connexions horizontales cortico-corticales garantissent une cohérence géométrique à grande échelle. Au-delà de deux hypercolonnes (environ 1,5mm) les champs récepteurs moyens des hypercolonnes deviennent disjoints et, sans les connexions horizontales, des hypercolonnes voisines deviendraient indépendantes, ce qui ferait perdre tout sens à la cohérence globale car elle n'existerait plus que pour l'observateur externe et n'aurait plus aucune réalité *immanente* pour le système lui-même.

Alors que les connexions “verticales” rétino-géniculo-corticales donnent un sens interne *immanent* aux relations entre (a, p) et (a, q) (*différentes* orientations p et q au *même* point a), les connexions “horizontales” cortico-corticales donnent un sens interne immanent aux relations entre (a, p) et (b, p) (*même* orientation p à *différents* points a et b) (voir figure 4).

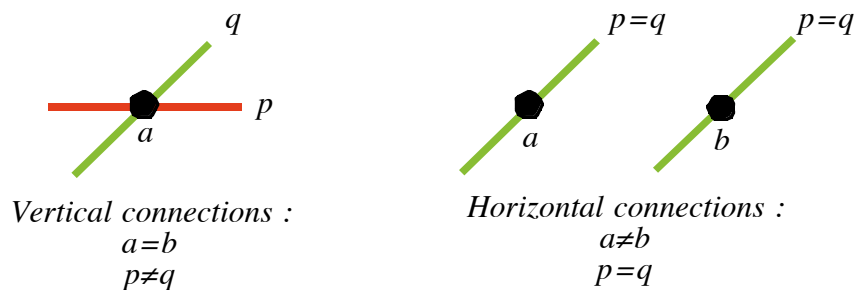


Figure 4. Les deux classes de connexions de l'architecture fonctionnelle de V1.

Qui plus est, on peut montrer que les connexions cortico-corticales connectent de façon préférentielle non seulement des paires parallèles (a, p) et (b, p) mais surtout des paires *coaxiales*, c.a.d. des paires telles que p soit l'orientation de l'axe ab (figure 5).

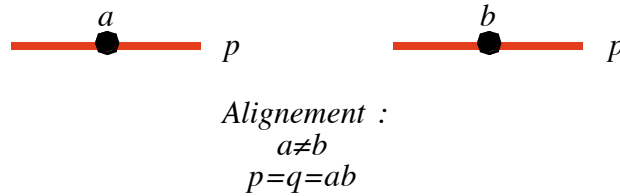


Figure 5. Coaxialité des éléments de contact représentant des neurones connectés par des connexions horizontales.

En résumé, comme l'explique William Bosking :

“The system of long-range horizontal connections can be summarized as preferentially linking neurons with co-oriented, co-axially aligned receptive fields.”

Cette architecture fonctionnelle explique l'intégration des contours et la perception des lignes, y compris celle des *contours illusoires* comme dans la figure 6 représentant un célèbre exemple de Kanizsa. Ces contours sont l'une des manifestations les plus spectaculaires des propriétés gestaltistes de complétion de données sensorielles lacunaires. Ils sont dus au fait que l'activation de neurones (a, p) et (b, q) jouant comme conditions aux limites active, à travers les connexions cortico-corticales horizontales, des neurones (c, r) intermédiaires correspondant à une courbe interpolant entre (a, p) et (b, q) .

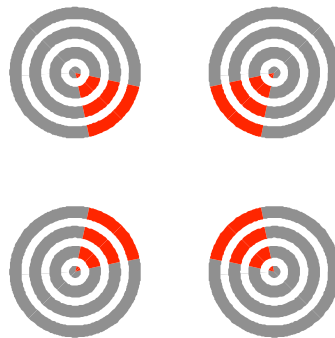


Figure 6. Un contour illusoire à la Kanizsa avec “effet néon” (diffusion de la couleur à l'intérieur du carré curviligne défini par les contours illusoires).

CONCLUSION

Nous avons esquissé comment on pouvait commencer à modéliser la genèse physique et cognitive des formes et, par là même, surmonter le hiatus classique entre sciences naturelles, phénoménologie et sens commun. Le développement d'une

“phénoménologie naturalisée” et de “sciences du sens commun” est fondamental car il permet de dépasser certains aspects négatifs du rationalisme classique en l’intégrant dans une rationalité naturaliste élargie et unifiée. De même que pour un physicien actuel il n’y a plus d’exception ontologique des systèmes chaotiques imprédictibles (par exemple turbulents) par rapport aux systèmes mécaniques classiques comme les systèmes keplériens, mais “seulement” des différences entre des systèmes dynamiques complètement intégrables et des systèmes dynamiques non linéaires présentant de fortes propriétés d’instabilité et de sensibilité aux conditions initiales ; de même que pour un biologiste actuel il n’y a plus d’exception ontologique du vivant mais “seulement” un saut dans la complexité de mécanismes macromoléculaires ; de même il n’y aura bientôt plus d’exception ontologique du monde phénoménal et de la cognition animale et humaine mais “seulement” un autre saut dans la complexité des mécanismes informationnels et organisationnels.

BIBLIOGRAPHIE

- BONHÖFFER, T., GRINVALD, A., 1991. Iso-orientation domains in cat visual cortex are arranged in pinwheel-like patterns, *Nature*, 353, 429-431.
- BOSKING, W., ZHANG, Y., SCHOFIELD, B., FITZPATRICK, D., 1997. Orientation Selectivity and the Arrangement of Horizontal Connections in Tree Shrew Striate Cortex, *Journal of Neuroscience*, 17(6), 2112-2127.
- BUSER, P., IMBERT, M., 1987. *Vision*, Paris, Hermann.
- HUBEL, D.H., 1988. *Eye, Brain and Vision*, Scientific American Library.
- HUSSERL, E., 1976. *La Crise des sciences européennes et la phénoménologie transcendantale*, (trad. G. Granel), Paris, Gallimard.
- KANIZSA, G., 1980. *Grammatica del Vedere*, Bologna, il Mulino. Ed. anglaise *Organization in Vision: Essays on Visual Perception*, Praeger, 1979. Ed. française (préface de J-M. Morel), Paris, Diderot, 1997.
- MARR, D., 1982. *Vision*. San Francisco, Freeman.
- MEINHARDT, H., 1995. *The Algorithmic Beauty of Seashells*, Berlin, Springer.
- NINIO, J., 1996. *L'Empreinte des Sens*, Paris, Odile Jacob.
- PETITOT, J., (ed.), 1999. *Naturalizing Phenomenology: Issues in Contemporary Phenomenology and Cognitive Science*, (J. Petitot, F. J. Varela, J.-M. Roy, B. Pachoud, eds.), Stanford University Press.
- PETITOT, J., 1989. Forme, *Encyclopædia Universalis*, XI, 712-728, Paris.
- PETITOT, J., 1994. Phénoménologie computationnelle et objectivité morphologique, *La connaissance philosophique. Essais sur l'œuvre de Gilles-Gaston Granger*, (J. Proust, E. Schwartz eds), Paris, Presses Universitaires de France, 213-248.

- PETITOT, J., 2003. The Neurogeometry of pinwheels as a sub-Riemannian contact structure, *Journal of Physiology-Paris*, (à paraître).
- PUTNAM, H., 1987. *The Many Faces of Realism*, The Paul Carus Lectures (Washington, 1985), La Salle, Open Court.
- THOM, R., 1980. *Modèles mathématiques de la Morphogenèse*, Paris, Christian Bourgois.
- TURING, A., 1952. The Chemical Basis of Morphogenesis, *Collected Works*, 4, 1-36, North-Holland, 1992.
- ZEKI, S., 1993. *A Vision of the Brain*, Blackwell Scientific Publications.