

## FORMES

«savoir que les blessures rondes guérissent plus lentement que les autres relève du médecin, et savoir pourquoi, du géomètre» (Aristote, *Anal. post.*, I, 13, 79 a 14-16).  
«La matière est sensible ou intelligible. La matière sensible, c'est celle qui est, par exemple, de l'airain, du bois, ou toute matière susceptible de changement. La matière intelligible est celle qui est présente dans les êtres sensibles, mais pris non en tant que sensibles, les êtres mathématiques par exemple» (Aristote, *Métaphysique*, Z, 10, 1036 a 9-12).

### Intr.

La biologie des organismes en se 'molécularisant', la biologie des populations en adoptant le schéma évolutif darwinien, ont marginalisé les problèmes de morphologie et de morphogenèse. Ces problèmes restent cependant à l'arrière-plan de la biologie évolutive ('paysage adaptatif' de Sewall Wright, 'paysage épigénétique' de Waddington), et de la biologie du développement (embryologie: 'pouvoir organisateur' de l'oeuf, 'gènes architectes').

«1° Il y a un ensemble, une harmonie générale, un but vers lequel toutes les parties convergent; 2° Chacune des parties pourrait aussi à la rigueur constituer un même petit tout également harmonisé» (Cl. Bernard, *Le Cahier rouge*, 31 août 1850; publ. posth. Gallimard, 1942).

«En parlant de forme et de finalité on met l'accent sur les conditions globales et spatiales dans la production des phénomènes. La science contemporaine a favorisé, au contraire, les conditions locales et matérielles. La biologie moléculaire et la mécanique quantique illustrent bien cette tendance analytique. Ces deux voies, l'explication par le haut et l'explication par le bas, sont nécessaires et compatibles. Ainsi, un reproche possible à la science contemporaine n'est pas qu'elle choisit la méthode locale, analytique et matérialiste, mais que souvent elle l'utilise exclusivement» (Espinoza, 1994, p. 36).

**Espinoza** Miguel, *Théorie de l'intelligibilité*, Toulouse: EUS, 1994.

**Gayon** Jean, 'La marginalisation de la forme dans la biologie de l'évolution', *Bull Hist Epistém Sci Vie*, 1998, 5 (2): 133-166.

**Le Douarin** Nicole, *Des chimères, des clones et des gènes*, Paris: Odile Jacob, 2000.

**Peyret** François & **Prochiantz** Alain, *La génisse et le pythagoricien. Traité des formes I*, Paris: Odile Jacob, 2002.

### 1. La «philosophie naturelle» de Goethe et l'hypothèse de l'unité morphologique du monde vivant

En 1830 Goethe assiste, à l'Académie des sciences de Paris, à un débat sur «un sujet de philosophie naturelle». La «théorie des analogues» d'Etienne Geoffroy Saint-Hilaire est violemment combattue par le baron Cuvier. Goethe écrit un compte rendu de ce débat: «Je ne juge pas, je raconte (Montaigne)» (Goethe, 1830; cit. in: Tort, ed., p. 39).

«à la date de 1753, le comte de Buffon reconnaissait qu'il existe un type primitif, un dessin général, qu'on peut suivre très loin, sur lequel tout semble avoir été construit» (Goethe, 1832; cit. in: Tort, éd., p. 64).

«ce plan, toujours le même, toujours suivi de l'homme au singe, du singe aux quadrupèdes, des quadrupèdes aux cétacés, aux oiseaux, aux poissons, aux reptiles; ce plan, dis-je, bien saisi par l'esprit humain, est un exemplaire fidèle de la nature vivante, et la vue la plus simple et la plus générale sous laquelle on puisse la considérer; et lorsqu'on veut l'étendre et passer de ce qui vit à ce qui végète, on voit que ce plan, qui d'abord n'avait varié que par nuances, se déforme par degrés des reptiles aux insectes, des insectes aux vers, des vers aux zoophytes, des zoophytes aux plantes; et quoique altéré dans toutes ses parties extérieures, conserve néanmoins le même fond, le même caractère, dont les traits principaux sont la nutrition, le développement et la reproduction; traits généraux et communs à toute substance organisée» (Buffon, *Histoire naturelle*, 1766, XIV, 'Nomenclature des singes', pp. 28-29).

«115. Que la plante croisse, fleurisse ou porte des fruits, ce sont pourtant toujours les mêmes organes qui remplissent l'intention de la Nature avec des destinations diverses et sous des formes souvent très modifiées. Le même organe qui sur la tige s'est étalé sous l'état de feuille et a pris les formes les plus diverses, se contracte ensuite en un calice, s'élargit de nouveau en pétales, se contracte pour produire l'étamine et se dilate enfin une dernière fois pour passer à l'état de fruit» (Goethe, 1790).

«Une vérité constante pour l'homme qui a observé un grand nombre de productions du globe, c'est qu'il existe entre toutes leurs parties une grande harmonie et des rapports nécessaires; c'est qu'il semble que la nature s'est renfermée dans de certaines limites, et n'a formé tous les êtres vivants que sur un plan unique, essentiellement le même dans son principe, mais qu'elle a varié de mille manières dans toutes ses parties accessoires» (Etienne Geoffroy Saint-Hilaire, *Mémoire sur les rapports naturels des makis*, 1796; cit. Callot, 1966, p. 265).

**Goethe** Johann Wolfgang von, *Die Metamorphose der Pflanzen*, 1790, 2e ed. augmentée 1831; tr. fr. par F. Soret, *Essai sur la métamorphose des plantes*, Stuttgart: Cotta, 1831; reprod. Genève: Impr. La Sirène, 1985.

**Geoffroy** Saint-Hilaire Etienne, *Principes de philosophie zoologique*, Paris, 1830.

**Goethe, Geoffroy Saint-Hilaire, Cuvier**, *La querelle des analogues*, présentation P. Tort, Plan de la Tour (Var): Editions d'aujourd'hui, 1983.

### 2. d'Arcy W. Thompson et sa «théorie des transformations»

D'Arcy W. Thompson (1860-1948), naturaliste écossais, après des études à Cambridge où il côtoie Haldane et Whitehead, enseigne la biologie à Dundee, puis à Edinburgh. Savant érudit (il pratique couramment plusieurs langues: grec, latin, allemand, français, suédois), et marin expérimenté, il entreprend d'étudier les êtres vivants en géomètre («je me suis mis aux mathématiques»...). Il montre comment les formes vivantes répondent à des contraintes spatiales et à des jeux de forces physiques.

«So long and so far as 'fortuitous variation' and the 'survival of the fittest' remain engrained as fundamental and satisfactory hypotheses in the philosophy of biology, so long will these 'satisfactory and specious causes' tend to stay 'severe and diligent enquiry ... to the great arrest and prejudice of future discovery' ([Note] I speak, not of the 'severe and diligent enquiry' of variation or of fortuity, but merely of the easy assumption that these phenomena are a sufficient basis on which to rest, with the all-powerful help of natural selection, a theory of definite and progressive evolution)» (Thompson, 1942, Intr., p. 8).

«We want to see how, in some cases at least, the forms of living things, and of the parts of living things, can be explained by physical considerations, and to realise that in general no organic forms exist save such as are in conformity with physical and mathematical laws» (Thompson, 1942, Intr., p. 15).

«if ... diverse and dissimilar fishes can be referred as a whole to identical functions of very different coordinate systems, this fact will of itself constitute a proof that variation has proceeded on definite and orderly lines, that a comprehensive 'law of growth' has pervaded the whole structure in its integrity, and that some more or less simple and recognisable system of forces has been in control. It will not only shew how real and deep-seated is the phenomenon of 'correlation', in regard to form, but it will also demonstrate the fact that a correlation which had seemed too complex for analysis or comprehension is, in many cases, capable of very simple graphic expression» (Thompson, 1942, chap. XVII, p. 1037).

«If we choose, to begin with, such a crab as Geryon and inscribe it in our equidistant rectangular coordinates, we shall see that we pass easily to forms more elongated in a transverse direction, such as Matuta or Lupa, and conversely, by transverse compression, to such a form as Corystes. In certain other cases the carapace conforms to a triangular diagram, more or less curvilinear, which represents the genus Paralomis» (Thompson, 1942, chap. XVII, p. 1057).

**Thompson** D'Arcy Wentworth, *On Growth and Form*, Cambridge: CUP, 1917, 2nd ed. 1942, repr. 1979, 2 vols; édition abrégée, tr. fr. par D. Teyssié, préface de S.J. Gould, av. prop. de A. Prochiantz, *Forme et croissance*, Paris: Seuil, 1994.

**D'Arcy Thompson** Ruth, *D'Arcy Wentworth Thompson, the Scholar Naturalist*, Oxford: OUP, 1958.  
*La Recherche*, spécial 'L'origine des formes', janvier 1998, n° 305.

### 3. René Thom et les «modèles mathématiques de la morphogénèse»

Le mathématicien René Thom (1923-2002, médaille Fields 1958) cite d'Arcy Thompson en épigraphe à *Stabilité structurelle et morphogénèse*, et dit qu'il a voulu «donner un sens mathématique au concept de *champ morphogénétique* des embryologistes». Le problème fondamental de la biologie, dit-il, est un problème de Topologie, «discipline mathématique qui permet le passage du local au global». Soit le «champ vital» (comme en physique le «champ gravitationnel»). Les êtres vivants sont les «singularités structurellement stables» de ce champ. Il interagissent (par symbiose, prédation, parasitisme, sexualité, etc). Il s'agit de donner du champ vital une «description géométrique», et de déterminer ses «propriétés formelles» et ses «lois d'évolution» (1972, chap. 8: 'Biologie et topologie').

[La théorie des catastrophes] «offre des moyens d'intelligibilité dans des situations qui sont en général trop complexes pour être analysées selon des méthodes réductionnistes» (Thom, 1991, p. 30).

«déterminer la structure tertiaire d'une protéine en fonction de sa structure primaire est typiquement un problème de dynamique des formes» (Thom, 1972, p. 163).

«le problème de l'intégration des mécanismes locaux en une structure globale est le problème central de la biologie; celui de la morphogénèse, à nos yeux, c'est l'objet même de la biologie théorique» (Thom, 1980, § 921, p. 154).

«comment réaliser de tels assemblages sinon par une construction, non pas par étapes, mais concertée?» (Linda Spierling, 'Morphogénèse virale', in: Petitot, ed., 1988, p. 247-251).

«Le thème essentiel du livre est de s'opposer à l'idée de 'plan' ou 'programme codé dans l'ADN'» (Thom, préface à Chandebois, 1989).

«L'apport spécifique de la théorie des catastrophes ... est de montrer que, dans certaines limites, toutes les formes sont engendrées par un petit nombre de types universels qui constituent une sorte d'alphabet morpho-génétique. Le résultat fondamental de Thom, dans ce qu'on appelle la théorie restreinte, est qu'il existe sept catastrophes élémentaires possibles pour l'évolution d'un système soumis à quatre paramètres externes, quels que soient le nombre et la nature des variables internes au système, celles qui définissent son état en tant que dispositif physique concret» (Andler, in: DA, AFL, BSS, 2002, chap. 9, p. 1123).

«dans sa simplicité le modèle de la frounce a d'abord ... une valeur paradigmatique. Il nous montre que les morphologies empiriques ne sont rien d'autre, dans le formalisme catastrophiste, que la trace de superstructures géométriques abstraites. ... Ce doublement de l'espace géométrique concret, lieu de l'apparaître, par un espace mathématique abstrait, lieu de l'être, rend incontestablement un son platonicien. Thom lui-même compare (dans Paraboles et catastrophes, p. 85) les morphologies empiriques aux ombres de la caverne de la République de Platon» (Boutot, 1993, p. 82).

«ce qui m'agace dans les théories du genre fractale, chaos, thermodynamique (loin de l'équilibre à la Prigogine-Stengers) ou «des catastrophes», c'est leur prétention à tout expliquer hors du domaine originel de leur spécificité: la vie des cités, la construction des organismes, la structure des termitières, le déchéqueté des côtes bretonnes, le delta du Nil, la forme des neurones, celle des branches des arbres, les cours de la Bourse, la forme des circonvolutions cérébrales, etc. Un tel universalisme, je trouve ça suspects» (Prochiantz, 2002, p. 84).

**Thom René**, *Stabilité structurelle et morphogénèse. Essai d'une théorie générale des modèles*, New York: Benjamin & Paris: Ediscience, 1972; 2e éd., *Modèles mathématiques de la morphogénèse*, Paris: Christian Bourgois, 1980.

**Thom René**, *Paraboles et catastrophes. Entretiens sur les mathématiques, la science et la philosophie*, Paris: Flammarion, 1983.

**Thom René**, *Apologie du logos*, Paris: Hachette, 1990.

**Thom René**, *Prédire n'est pas expliquer*, Paris: Eshel, 1991. <

**Petitot Jean**, dir., *Logos et théorie des catastrophes*, Genève: Patifio, 1988.

**Chandebois Rosine**, *Le gène et la forme, ou la démythification de l'ADN*, Montpellier: Editions Espaces 34, 1989, préface de René Thom.

**Coll.**, *La querelle du déterminisme. Philosophie de la science d'aujourd'hui*, Paris: Gallimard - Le Débat, 1990.

**Boutot Alain**, *L'invention des formes*, Paris: Editions Odile Jacob, 1993.

**Poston Tim & Stewart Ian**, *Catastrophe Theory and its Applications*, London: Pitman, 1978.

**Zeeman E.C.**, *Catastrophe Theory. Selected Papers*, London, etc.: Addison-Wesley, 1977; 2nd printing, 1978.

### 4. Qu'est-ce que la «biologie théorique»?

Entre 1966 et 1970 Conrad Waddington organisa pour l'Union Internationale des Sciences Biologiques une série de quatre réunions savantes à Bellagio (Italie); l'objectif était de «formuler une ébauche des concepts et méthodes susceptibles d'amener la biologie théorique à un niveau comparable à celui de la physique théorique». La communauté française des biologistes théoriciens tint entre 1980 et 1990 ses 'Ecoles' à Solignac, initialement sous la houlette de Pierre Delattre. Aujourd'hui la biologie théorique, souvent couplée à la bioinformatique, a ses sociétés savantes (ex. European Society for Mathematical and Theoretical Biology), ses journaux (ex. *Journal of Theoretical Biology*, *Journal of Mathematical Biology*, *Acta biotheoretica*), ses instituts de recherche. Elle n'a pourtant pas de statut académique clair.

«A better name would have been *Theory of General Biology*. It has always been clear that we were not so deeply interested in the theory of any particular biological phenomenon for its own sake, but mainly in so far as it helps to a greater comprehension of the general character of the processes that go on in living as contrasted with non-living systems» (Waddington, 1972, 'Epilogue').

«The question under consideration is whether we can develop a fairly general and widely applicable theory on the structure and dynamics of complex systems, which would be applicable to work in biology at the level of the population, the cell, development, and perhaps be of some use in the analysis of other complex systems of a social kind, even of the complexity in the evolution of languages and other areas» (R. Levins, in: Waddington, ed., 1970, p. 73).

«a new mathematical theory, the theory of structural stability, inspired from qualitative dynamics and differential topology, seems to offer far-reaching possibilities to attack the problem of the stability of self-reproducing structures, like living beings. But - at least in the author's opinion - the validity of this type of dynamics description exceeds by far the biological realm, and may be applied to all morphological processes, whether animate or inanimate, where discontinuities prohibit the use of classical quantitative models» (Thom, in: Waddington, ed., 1970, p. 89).

«Theoretical biology may be described as the application of reason to biology. In this sense, every biologist is, at least part of the time, a theoretical biologist. However, the daily goal of a theoretician is to explain the biological world. The theoretical biologist's product is a theory, an idea, not an observation or an experimental result, though it is based on them. This is what sets the theoretical biologist apart from other biologists. The theoretical biologist delves deeply into all the data available, comes up with unexpected relationships, tries to quantify them using all the tools of reason (math, logic, computers, etc.), and makes specific predictions about the outcome of future experiments and observations. Sometimes a critical experiment would never have been done without the inspiration of your theory in the first place. There is nothing more satisfying than seeing your theory proven correct» (Richard Gordon, President, Canadian Society for Theoretical Biology, <http://life.biology.mcmaster.ca/>).

**Turing Alan M.**, 'The chemical basis of morphogenesis', *Phil. Trans. Roy. Soc.*, 1952, B 237: 37.

**Waddington C.H.**, ed., *Towards a Theoretical Biology*, Four Symposia on Theoretical Biology, International Union of Biological Sciences & Edinburgh University Press, Edinburgh, Vol. I: Prolegomena, 1968; II: Sketches, 1969; III Drafts, 1970; IV: Essays, 1972.

**Sheldrake Rupert**, *A New Science of Life. The Hypothesis of Formative Causation*, Blond & Briggs, 1981; new edition with an appendix and comments, controversies and discussions provoked by the first edition, London: Anthony Blond, 1985.

**Lück Hermann B.**, ed., *Biologie théorique. Solignac 1985*, Paris: CNRS, 1987.

**Snow C.D., Nguyen H., Pande V.S., Grubel M.**, 'Absolute comparison of simulated and experimental protein-folding dynamics', *Nature*, 7 Nov 2002, 420: 102-105; et commentaire: Brooks III, 33-34.

### Concl.

La biologie théorique imagine des solutions à des questions biologiques spéciales (méthode de défibrillation, description de systèmes proie-prédateur, modèles de diffusion de substances à travers les membranes biologiques, description du cycle de division cellulaire d'une levure à l'aide de la théorie des catastrophes, simulation informatique du pliage d'une protéine: cf. Lück, 1987; Snow *et al.*, 2002). Elle traite aussi de problèmes généraux de 'philosophie naturelle': auto-organisation, complexité, émergence...

«tout du moléculaire à l'évolutif est, peu ou prou, en fin de compte, une affaire de formes» (Prochiantz, 2002, p. 88).

«Materiam superabat opus» («l'oeuvre surpassait la matière»: Ovide, *Métamorphoses*, II, 5).

**Faure Elie**, *L'esprit des formes*, Paris: Gallimard, 1991 (Folio Essais).

**Andler D., Fagot-Largeault A., Saint-Sernin B.**, *Philosophie des sciences*, Paris: Gallimard, 2002.