

# Auto-organisation en biologie

Annick Lesne

Laboratoire de Physique Théorique des Liquides,  
Université Pierre et Marie Curie,  
Case courrier 121, 4 Place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France  
lesne@lptl.jussieu.fr

## École thématique « **Forme et Information en biologie** », Berder, 17-23 Mars 2002

Le titre de ces rencontres est « Forme et Information ». Ces deux notions recouvrent une grande richesse d'idées et de questions concrètes et dépassent largement le cadre de la biologie moléculaire et cellulaire. Les développements effectués en physique, en chimie et en écologie peuvent sans aucun doute inspirer les biologistes – et inversement.

Dans les systèmes ouverts, parcourus par des flux de matière, d'énergie ou de charges, les formes observées s'expliquent par la dynamique sous-jacente, dont elles sont des états stationnaires. Ce point de vue dynamique relie naturellement la notion de *forme* à celle d'*auto-organisation*. Ce terme résume le fait qu'un équilibre dynamique s'établit spontanément et, implicitement, que l'assemblage des différents éléments par le biais d'échanges, d'interactions, de couplages divers conduit à un résultat inédit, qualitativement différent de chacune de ses parties.

Se pose alors la question de la *stabilité* de cet assemblage. On doit analyser d'une part la sensibilité aux conditions initiales, d'autre part la *stabilité structurelle*, c'est-à-dire la sensibilité aux variations des paramètres et plus généralement aux modifications des règles de construction et d'évolution à l'œuvre dans le système. Cette étude est indispensable pour évaluer la robustesse des phénomènes observés et déterminer s'ils sont la règle ou l'exception. On peut aussi chercher à quantifier la *complexité* de la structure auto-organisée, par exemple à des fins de comparaison ou de classification. Pour toutes ces questions, c'est la dynamique sous-jacente qui doit être analysée et non la structure en elle-même. Dans ce cadre, la *morphogenèse* apparaît comme un phénomène régi tout à la fois par l'*information génétique*, qui contrôle certains de ses paramètres ainsi que les éléments constitutifs, et par les caractéristiques du *métabolisme*, qui contrôlent les flux de matière ou d'énergie entrants et sortants.

Une grande similitude émerge entre les formes spatiales ou spatio-temporelles apparaissant à l'intérieur d'une cellule (cytosquelette, fuseau mitotique, centrosome, réseaux de protéines, oscillateurs biochimiques), celles constituées d'un assemblage de cellules (réseaux de neurones, système immunitaire, chimiotactisme, vision « hasard-sélection » de la différenciation cellulaire et de l'embryogenèse, phyllogénie) et, à une échelle très supérieure, celles rencontrées dans les écosystèmes (système prédateur-proie, métapopulations). Cela n'a rien d'étonnant ; cette similitude reflète simplement la robustesse et l'universalité des principes à l'œuvre dans les structures auto-organisées. En effet, ce sont les schémas relationnels, c'est-à-dire la façon dont les éléments sont couplés et dont se fait la répartition des flux entrants et sortants, qui sont déterminants, et non la nature concrète de ces couplages et de ces flux.

En conclusion, les formes observées dans les organismes vivants sont des structures stationnaires dites *hors d'équilibre*, au sens où elles résultent d'un *équilibre dynamique* entre des flux entrants et sortants. Leur compréhension nécessite une approche globale, à la fois en temps et dans l'espace, et reliant les différentes échelles caractéristiques du système. En particulier, ce point de vue dynamique est nécessaire pour expliquer le passage du génotype au phénotype et déterminer le rôle exact des gènes dans la construction et le fonctionnement d'un organisme vivant. L'information génétique intervient basiquement, via les protéines exprimées, au niveau des interactions moléculaires (acides nucléiques/protéines et protéines/protéines), des réactions chimiques (catalyse enzymatique) et des mouvements microscopiques (protéines motrices). Ce qu'il « reste » à décrire, c'est comment cette information exprimée au niveau moléculaire va être relayée, amplifiée et stabilisée par les processus dynamiques en jeu, pour finalement se refléter dans des structures à toutes les échelles supramoléculaires, jusqu'à celle de l'organisme tout entier. Les travaux sur l'auto-organisation dans les systèmes physiques, chimiques et dans les écosystèmes peuvent fournir aussi bien des concepts que des outils pour progresser dans cette direction.

### Références

- S. Camazine, J.L. Deneubourg, N.R. Franks, J. Sneyd, G. Theraulaz and E. Bonabeau, *Self-organization in biological systems*, Princeton University Press (2001).
- K. Kaneko et H. Tsuda, *Complex systems : chaos and beyond*, Springer (2001).
- S.A. Kauffman, *The origins of order : self-organization and selection in evolution*, Oxford University Press (1993).
- G. Nicolis et I. Prigogine, *Exploring complexity*, Freeman (1989).
- S.L.Pimm *The Balance of Nature ? Ecological issues in the conservation of species and communities*, Chicago University Press (1991).
- R. Thom, *Structural stability and morphogenesis*, Benjamin, Reading Mass. (1975).
- T. Vicsek, *Fluctuations and scaling in biology*, Oxford University Press (2001).