

L'organisation des formes

Donald E. Ingber

La nature utilise partout – à l'échelle moléculaire comme à l'échelle macroscopique – les mêmes règles d'assemblage : aussi des motifs tels que spirales, pentagones et formes triangulaires sont-ils omniprésents. Ils apparaissent dans les structures cristallines les plus régulières et dans les protéines les plus contournées, dans des organismes aussi différents que les virus, le plancton, le pollen et... l'être humain. Les fractales, sujet de l'article précédent, nous ont montré cette remarquable «disposition de la nature». Ce constat nous étonne, mais doit-il nous stupéfier? Tout ce qui vit est constitué des mêmes atomes de carbone, d'hydrogène, d'oxygène, d'azote et de phosphore : aussi n'est-il pas extraordinaire que l'on retrouve souvent les mêmes configurations. Ce que nous allons montrer dans cet article est l'organisation des superstructures qui les rassemble, et pourquoi le monde est fractalisé.

Par auto-assemblage, les constituants se fédèrent pour donner naissance à des structures stables, plus grandes, dont les propriétés, nouvelles, ne pouvaient être prévues par les seules caractéristiques des éléments individuels. Cet auto-assemblage se manifeste à diverses échelles. À l'intérieur du corps humain, de grosses molécules s'auto-assemblent en composants cellulaires, ou organites, lesquels s'auto-assemblent en cellules, cellules qui s'auto-organisent en tissus, et tissus en organes. Le résultat est le corps, organisé hiérarchiquement en différents systèmes emboîtés comme des poupées russes.

L'ADN n'est pas la seule source de structuration : pas plus que la carte n'est le territoire, la connaissance des pièces du puzzle ne donne pas les règles de leur assemblage. Nous pensons qu'un large éventail de systèmes naturels, atomes de carbone, molécules d'eau, protéines, virus, cellules, tissus, et toutes les créatures

vivantes, sont construits sur un même principe architectural, que nous désignons par *tenségrité*. Ce terme désigne la faculté d'un système à se stabiliser mécaniquement par le jeu de forces de tension et de compression qui s'y répartissent et s'y équilibrent. Le concept de tenségrité s'applique à tous les systèmes vivants, du microbe à l'homme, en passant par la cellule, l'unité constitutrice de tous les organismes.

Ainsi la cellule n'est-elle pas une outre pleine de liquide, elle est structurée par un réseau de câbles et de filaments. Ce réseau capte et transporte l'information sur l'environnement cellulaire et commande l'activité des gènes de déplacement et de survie de la cellule. La tenségrité explique comment la forme cellulaire et les forces mécaniques – telles que la pression dans les vaisseaux

sanguins ou la compression dans les os – influent sur l'activité des gènes. Une meilleure intelligence des règles naturelles de l'auto-assemblage nous permet d'intégrer avec plus de pertinence les caractéristiques des molécules, des cellules et des autres constituants biologiques. L'omniprésence de la tenségrité dans la nature ouvre de nouvelles perspectives sur les forces qui régulent l'organisation biologique et, peut-être, sur l'Évolution elle-même.

Dans les structures régies par la tenségrité, les forces sont transmises à tous les éléments : un accroissement de la tension sur l'un des éléments est répercuté aux autres éléments de la structure, y compris les plus éloignés. Cette augmentation globale de la tension est équilibrée par une augmentation de la compression de certains éléments de la structure. Ainsi une structure se stabilise par un mécanisme associant tension globale et compression locale. Dans les élégantes sculptures de Kenneth Snelson, des éléments travaillent en compression, d'autres en traction, reproduisant et expliquant la structuration du corps humain, avec ses 206 os et les muscles qui les relient. Les os sont comprimés par la force de gravité et stabilisés par la traction exercée par les muscles, les tendons et les ligaments.

Vers la fin des années 1970, les biologistes se représentaient la cellule comme un fluide visqueux délimité par une membrane ; on savait pourtant que les cellules contiennent une armature interne, ou cytosquelette, composée de trois types de protéines, les microfilaments, les filaments intermédiaires et les microtubules. Toutefois, leur rôle dans le contrôle de la forme des cellules était mal compris. On s'interrogeait également sur le comportement des cellules quand elles sont disposées sur différentes surfaces ; les cellules s'étalent et s'aplatissent lorsqu'elles adhèrent à du verre ou au fond d'une boîte de Pétri en matière plastique. En 1980, Albert Harris, de l'Université de Caroline du Nord, montra que, lorsqu'elles sont fixées sur un substrat en caoutchouc flexible,



1. Dans les structures en porte à faux, cou de girafe ou sculpture à tiges et à câbles, les forces sur les organes en extension – les muscles et les câbles – sont équilibrées par les forces sur les dispositifs agissant en compression, les os et les tiges.



Schering-Plough