

TRAQUEURS

Quand les morphologues réinventent la nature

Ce ne sont pas vraiment des chercheurs comme les autres. Souvent physiciens, mathématiciens ou informaticiens, ils n'aiment rien tant qu'exporter les outils classiques de leur discipline vers des rivages inattendus. Spécialistes des sujets qui n'appartiennent à aucun domaine en particulier et à tous en général, ils se passionnent pour la forme des dunes de sable et les rayures du pelage des zèbres. Fascinés tout autant par la beauté de la nature que par celle des systèmes non linéaires, dynamiques ou statistiques, ils s'attachent à décrire ce que la science rencontre de plus simple et de plus complexe : notre monde tel qu'il s'offre quotidiennement à nos yeux, à l'échelle macroscopique.

Les pages qui précèdent le démontrent : il suffit de regarder le monde autour de nous pour découvrir, dans chacun de ses recoins, des merveilles architecturales façonnées par un jeu subtil

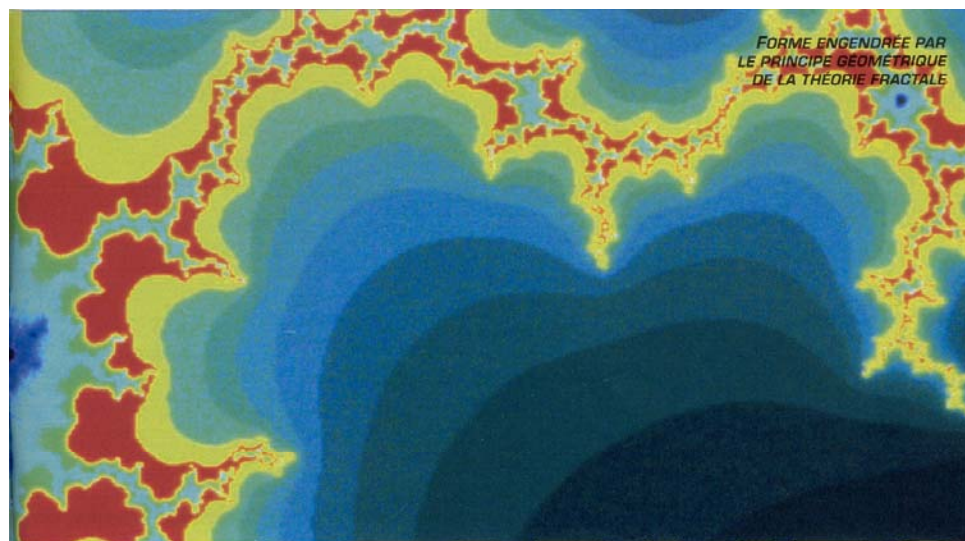
giste peut se focaliser sur un gène, le physicien sur une particule élémentaire et le chimiste sur une molécule, le morphologue, lui, doit prendre du recul pour comprendre comment ces matières prennent formes. Il sait que ce n'est pas dans un grain de sable que se révèle la dune ni dans un gène que se trouve le secret du zèbre. Il sait qu'il doit se placer à une échelle intermédiaire, là où la collectivité d'éléments est capable de s'organiser pour faire jaillir spontanément un ordre qui n'existe pas au niveau inférieur.

LES "ENFANTS DE D'ARCY THOMPSON"

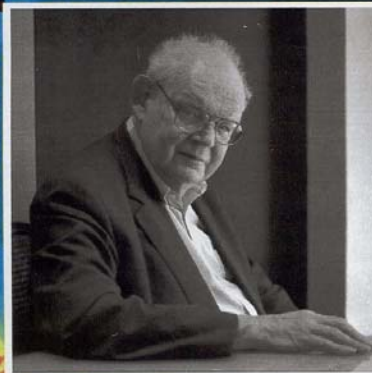
C'est cette nouvelle voie de recherche que défricha le premier le zoologiste écossais D'Arcy Thompson au début du XX^e siècle. Mais il a fallu attendre la naissance de l'informatique et de la cybétique pour que les lois de la morphogenèse commencent

ANGELUCCI/OMEGA - S. PICARD/VEU

FORME ENGENDRÉE PAR
LE PRINCIPE GEOMETRIQUE
DE LA THEORIE FRACTALE



DE FORMES



Benoît Mandelbrot

MATHÉMATICIEN FRANÇAIS,
INVENTEUR DE LA THÉORIE DES FRACTALES

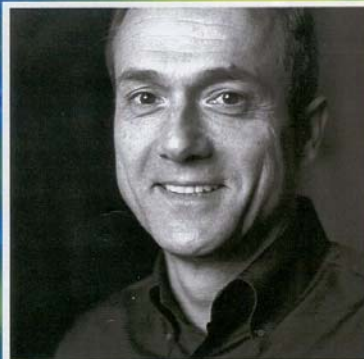
Son regard de géomètre malicieux a vu des choses que personne n'avait soupçonnées avant lui. A partir d'une idée simple (un objet est fractal si un zoom sur une de ses parties fait réapparaître sa forme globale), Benoît Mandelbrot, aujourd'hui âgé de 81 ans, a en effet inventé il y a quarante ans une nouvelle façon de décrire les formes. Cette idée fait toujours l'objet de travaux approfondis, mais elle a d'ores et déjà envahi la physiologie, l'astronomie, la géophysique ou la chimie (voir *Science & Vie* n° 1056, p. 114). Car loin des espaces lisses et calmes de la géométrie euclidienne, la géométrie fractale dévoile un monde agité et rugueux. Un monde très semblable à celui dans lequel on vit.

→ d'éclatants succès obtenus par ces "enfants de D'Arcy". Certains, comme Alan Turing ou Ilya Prigogine, se sont concentrés sur des réactions chimiques qui, en se diffusant, façonnent des motifs réguliers; d'autres, comme Benoît Mandelbrot, ont montré que la répétition de règles géométriques élémentaires dessinait des formes toujours plus alambiquées; d'autres, encore, tels John von Neumann ou Stephen Wolfram, ont révélé comment des calculs informatiques simples génèrent des structures compliquées. Autant d'approches éloignées les unes des autres mais qui, toutes, tentent de comprendre l'émergence de structures spatiales sous les effets conjoints d'énergies extérieures et d'interactions intérieures. Une tâche loin d'être achevée, mais plus que jamais d'actualité.

LA RÉPONSE DANS L'INFINIMENT COMPLEXE

Car mettre en évidence et modéliser l'auto-organisation des systèmes complexes permettra non seulement de comprendre les tas de sable et les pelages d'animaux, mais aussi tout ce qui concerne les questions les plus cruciales des sciences biologiques, cognitives, sociales et environnementales. Ainsi, comment la coopération entre quelques dizaines de milliers de gènes façonne-t-elle le corps des êtres vivants? Comment un réseau inextricable de milliards de neurones peut-il former une conscience? Comment les interactions entre individus organisent-elles les systèmes politiques, économiques et culturels de nos sociétés modernes? Comment les innombrables actions sur notre planète influencent-elles l'équilibre du climat? Pour chacune de ces questions, il s'agit de →

FORME GÉNÉRÉE PAR LE PRINCIPE INFORMATIQUE DES AUTOMATES CELLULAIRES.



Adrian Bejan

PHYSICIEN AMÉRICAIN,
FONDATEUR DE LA THÉORIE CONSTRUCTALE

Spécialiste de la thermodynamique et des transferts de chaleur, Adrian Bejan, 58 ans, développe depuis dix ans une théorie morphologique originale qui voit dans chaque objet de la nature une machine. Selon lui, la nature est soumise aux mêmes contraintes qu'un ingénieur : la forme des objets qu'elle construit doit faciliter l'accès aux flux qui le traversent. Sa "théorie constructale", exploitée dans divers domaines, permet de vérifier que les formes de la nature sont optimales (voir *Science & Vie*, n° 1034, p. 44). Et de remarquer qu'"il y a très peu de types de formes et de structures naturelles. Tellement peu que cela ferait un livre très petit, comparé à ceux des botanistes qui cataloguent les plantes connues"...



Stephen Wolfram

INFORMATICIEN AMÉRICAIN,
SPÉCIALISTE DES AUTOMATES CELLULAIRES

Auréolé d'un prestige de jeune prodige et devenu riche grâce à un logiciel de calcul formel, Stephen Wolfram, 47 ans, développe depuis deux décennies "un nouveau genre de science". Son idée – une même règle simple répétée automatiquement peut produire des structures à la complexité inattendue – n'est pourtant pas nouvelle. Mais son analyse systématique de ces "automates cellulaires", publiée en 2002 dans un opus de 1 200 pages, le pousse à conjecturer que des mécanismes similaires pourraient expliquer des phénomènes physiques complexes. Ses avalanches de calculs permettent par exemple de représenter de façon convaincante les failles d'un séisme, la forme d'une fleur ou la pigmentation

FORMES ENGENDRÉES PAR LE PRINCIPE
CHIMIQUE DE LA RÉACTION-DIFFUSION.

→ comprendre comment une forme émerge d'une pluralité d'interactions. Les réponses ne se trouvent donc ni dans l'infiniment petit ni dans l'infiniment grand, mais à la lisière de la troisième grande frontière scientifique : celle de l'infiniment complexe.

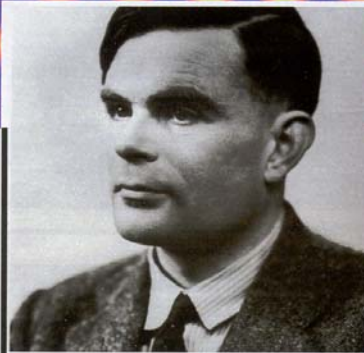
Pour arracher des réponses, c'est une nouvelle façon de faire la science que les morphologues sont en train d'inventer. Plutôt que de discipliner les objets, ils les laissent s'épanouir. Plutôt que de les réduire en des processus élémentaires, ils les abordent dans toute leur globalité. Plutôt que de s'en remettre au seul calcul, ils réhabilitent le regard, avec l'intuition qu'il s'agit là du moyen le plus adéquat pour comprendre le monde tel qu'il se présente à nos yeux. Pour l'étudier dans toute sa complexité. L'embrasser dans toute sa diversité. Le contempler jusqu'à faire surgir l'intelligence de sa beauté.

En savoir

Forme et croissance, de D'Arcy Thompson, éditions du Seuil, 1994. C'est le premier livre publié sur le domaine. Écrit dans une langue savoureuse par un esprit anticonformiste doté d'un savoir encyclopédique, c'est un chef-d'œuvre de la littérature scientifique, qui, à travers mille exemples et cent dessins, nous invite à regarder le monde différemment.

Morphogenèse, sous la direction d'Annick Lesne et Paul Bourguine, édition Belin, octobre 2006. C'est le dernier livre en date (bientôt) publié sur le domaine. Un panorama complet des travaux actuels sur l'origine des formes. Nécessaire pour tous ceux qui veulent aller plus loin...

A. TURING - LIFE MAGAZINE & LIFE PICTURESGETTY



Alan Turing

CHIMISTE BRITANNIQUE, SPÉCIALISTE
DES PROCESSUS DE RÉACTION-DIFFUSION

C'est dans des conditions tragiques que ce pionnier de l'informatique s'intéresse aux formes de la nature. Condamné en 1952 pour homosexualité à un traitement hormonal, il publie un article, "Les bases chimiques de la morphogenèse", où il étudie les formes qui émergent de la diffusion de produits chimiques réagissant les uns avec les autres. Les rayures et taches obtenues l'incitent à penser que la diversité des motifs sur le pelage des mammifères pourrait résulter des mêmes processus de réaction-diffusion. Il est convaincu que ces derniers jouent aussi un rôle clé dans la morphogenèse de l'embryon. Il meurt en 1954, à l'âge de 42 ans, après avoir mangé une pomme contenant du cyanure.