

La chimie des formes

PATRICK DE KEPPER • ÉTIENNETTE DULOS

Des réactions chimiques engendrent des figures évoquant les rayures du zèbre et les taches du léopard. Ces similarités sont-elles fortuites ?

Depuis le prodigieux Big Bang d'où émergea l'Univers jusqu'aux mécanismes du développement embryonnaire, les processus qui gouvernent l'apparition spontanée des formes sont objets de recherches très actives.

L'information qui orchestre le développement des êtres vivants est-elle directement inscrite dans les chromosomes ? C'est peu probable. La quantité d'information nécessaire à la construction d'un être vivant dépasse de beaucoup celle contenue dans le

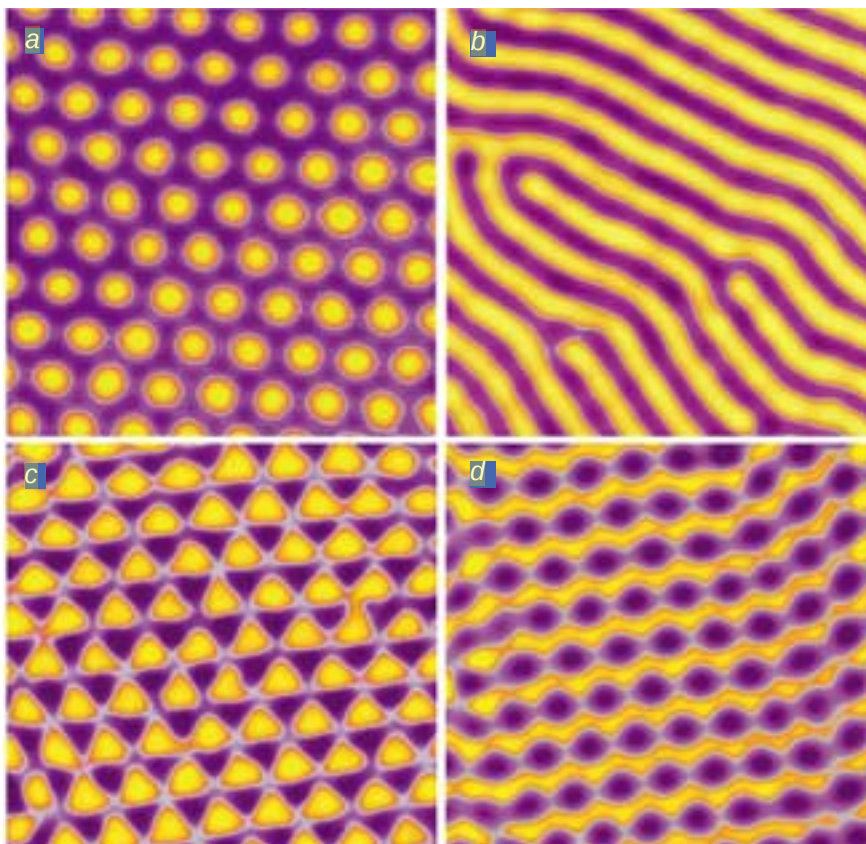
génome. Nombre d'approches contemporaines de la biologie du développement posent pour principe que morphogenèse et différenciation cellulaire résultent de deux types de processus : les processus génétiques et des processus physiques, qualifiés de «génériques». Nous allons examiner dans cet article comment les processus génériques produisent des motifs semblables à ceux qui décorent le pelage de certains mammifères.

Tandis que les processus génétiques président à la synthèse des élé-

ments constitutifs d'un organisme, les processus génériques interviennent à différents stades du développement embryonnaire pour gouverner la différenciation cellulaire et le développement des formes. Dès 1952, le mathématicien anglais Alan Turing publie un article intitulé *Les bases chimiques de la morphogenèse* où il démontre l'effet possible de certains processus génériques. Il imagine un mécanisme ingénieux où la réaction entre des molécules biochimiques (des «morphogènes»), qui diffusent dans un tissu, engendre spontanément des structurations. Turing démontre que, partant d'un milieu homogène, on peut aboutir à une répartition périodique dans l'espace de la concentration de ces morphogènes. Dans le modèle de Turing, une instabilité résultant des propriétés intrinsèques du système réactionnel brise la symétrie initiale du milieu, engendrant spontanément sa structuration, son «auto-organisation». À l'époque, cette idée ne suscita que peu d'intérêt, en partie parce que la chimie peu orthodoxe du modèle de Turing conduisait parfois à des concentrations négatives de certaines substances... hérésie qui rendit peu crédible cette étrange prédiction !

Théorie, simulation et motifs naturels

Dans les années 1960, P. Glansdorf et I. Prigogine élaborent le cadre conceptuel justifiant, sur le plan thermodynamique, l'approche de Turing. I. Prigogine et ses collaborateurs de l'École de thermodynamique de Bruxelles démontrent que de tels phénomènes d'auto-organisation sont possibles lorsque le système évolue loin de son état d'équilibre thermodynamique. Ils proposent même un modèle chimique très simple, affranchi des travers du



1. STRUCTURES CHIMIQUES vues par transparence dans des réacteurs à disque de gel. Les motifs sont présentés en fausses couleurs pour mettre en évidence leurs éléments géométriques (le bleu violacé et le jaune orangé correspondent respectivement aux fortes et aux faibles concentrations en iode). Motifs bidimensionnels standards : a) réseau hexagonal de taches, b) bandes parallèles. Motifs exotiques à caractère tridimensionnels : c) réseau triangulaire, d) bandes «variqueuses».