

Les mollusques sont de fantastiques architectes. Ils se construisent des structures solides qui protègent leur corps mou des prédateurs et des éléments : les coquilles, qui sont d'une robustesse, d'une durabilité et d'une beauté hors du commun. Beaucoup de ces coquillages présentent des formes complexes et spectaculaires, des spirales logarithmiques garnies d'épines bien ordonnées ou d'autres ornements, d'une régularité mathématique presque parfaite. Les mollusques n'ont pourtant aucune notion en mathématiques, évidemment. Les chercheurs se sont donc demandé comment ces humbles créatures produisent des motifs aussi complexes avec une telle précision.

Depuis plus d'un siècle, les scientifiques savent que les cellules, les tissus et les organes doivent obéir aux mêmes forces physiques que le reste de la matière. Mais pendant une bonne partie du ^{xx} siècle, les biologistes se sont attachés à comprendre comment le code génétique régit la formation de motifs biologiques et à déterminer comment ces motifs fonctionnent. Au cours des dernières décennies, cependant, les chercheurs se sont mis à appliquer la modélisation mathématique, appuyée sur la physique, pour tenter de comprendre comment apparaissent les formes du vivant. Dans cette optique, nos propres travaux ont livré ces dernières années des indices passionnants sur la façon dont les coquillages acquièrent des structures si remarquables.

En utilisant les outils de la géométrie différentielle, la partie des mathématiques qui étudie les courbes et les surfaces, nous avons déterminé que les formes complexes des coquillages découlent de quelques règles simples que suivent les mollusques lorsqu'ils bâtissent leur demeure. Ces règles interagissent avec les forces mécaniques produites au cours de la croissance du coquillage et engendrent une grande diversité de motifs. Nos découvertes contribuent à expliquer comment des caractéristiques singulières telles que les épines sont apparues de façon indépendante dans tant de lignées de gastéropodes (le groupe de mollusques le plus diversifié). Ces organismes n'ont nul besoin de subir les mêmes modifications génétiques pour acquérir le même type d'ornements, car les lois de la physique font l'essentiel du travail.

C'est au manteau du mollusque qu'il incombe de construire la coquille. Cet organe fin et mou sécrète couche après couche une substance riche en carbonate de calcium au niveau de l'ouverture du coquillage. Il lui suffit de suivre trois règles élémentaires pour former la spirale caractéristique des coquilles d'escargots, par exemple, et de nombreuses autres espèces de mollusques.

La première règle est l'*expansion* : en déposant uniformément davantage de matériau qu'à

l'incrément de croissance précédent, le mollusque crée une ouverture un peu plus large à chaque itération. Ce processus engendre un cône à partir d'un cercle initial. La deuxième règle est la *rotation* : en déposant légèrement plus de matériau d'un côté de l'ouverture, le mollusque finit par opérer une rotation complète de cette ouverture, ce qui construit un tore (la forme d'une chambre à air de pneu) à partir d'un cercle initial. La troisième règle est la *torsion* : le mollusque fait tourner les points où a lieu le dépôt. Si l'on n'effectue que les opérations *expansion* et *rotation*, on obtient un coquillage planispiralé comme celui des nautilus. Ajoutez la torsion, et le résultat est ce qu'on appelle une coquille hélicospirale comme celle des escargots.

Pour certains bâtisseurs de coquille, c'est la fin de l'histoire, une demeure toute en élégance et en simplicité. Pour d'autres, quelques fioritures sont de mise. Pour comprendre comment se forment des ornements tels que les épines, il nous faut examiner les forces produites au cours de la croissance du coquillage.

Le processus de sécrétion du coquillage repose sur un système mécanique intéressant. Le manteau est attaché à la coquille par ce qu'on

L'application de trois règles élémentaires suffit pour reproduire les spirales observées

omme la zone générative, une région de matériau sécrété mais pas encore calcifié. C'est dans cette interaction entre le manteau et la coquille que réside le potentiel de formation de motifs. Tout décalage entre le manteau et l'ouverture de la coquille va imposer une contrainte mécanique au tissu du manteau. Si le manteau est trop petit pour l'ouverture, il devra s'étirer pour y rester attaché. Si le manteau est trop grand, il devra se comprimer. Et si la zone générative se déforme à cause de ces contraintes, le nouveau matériau sécrété par le manteau à ce stade adoptera la déformation du contour et se solidifiera, ce qui exercera une influence accrue sur le manteau à l'incrément de croissance suivant.

Pour résumer, si la coquille ne croît pas exactement au même rythme que le manteau >