

- > L'ouvrage défend l'idée que la biologie surestime le rôle de l'évolution en négligeant les contraintes physiques et mécaniques, qui sont des facteurs déterminants dans l'organisation et les formes des organismes vivants et de leurs composants.

Richement illustré, ce livre s'intéresse aux ailes des insectes, aux plumes des oiseaux, aux cornes plus ou moins enroulées des mammifères, aux méduses, aux graines végétales. Il traite soigneusement de la physique et de la délicate géométrie des contacts cellulaires

et des agrégats cellulaires, de la solidité et de la souplesse des os. Il étudie les structures géométriques de différentes espèces de poissons et établit des liens, introduisant une théorie des transformations aujourd'hui utile aux méthodes informatiques dans le domaine de la reconnaissance des formes. Il considère les alvéoles des ruches d'abeilles et, à cette occasion, le remplissage de l'espace par des polyèdres. Il ne manque pas de s'émerveiller des flocons de neige, des fascinants squelettes des radiolaires (organismes unicellulaires à

3

AUTOMATES CELLULAIRES
À UNE DIMENSION

Pour déterminer le motif coloré que présente un coquillage, la méthode la plus simple qui s'appuie sur l'idée de la croissance de la coquille couche par couche est celle des automates cellulaires unidimensionnels. En voici l'idée.

Un dessin quelconque composé de cases blanches et noires alignées (ou disposées en cercle) est donné. Par exemple : ...blanc, blanc, blanc, noir, blanc, blanc, blanc..., que nous noterons ...bbbnbbb... On choisit une règle d'évolution. Par exemple :

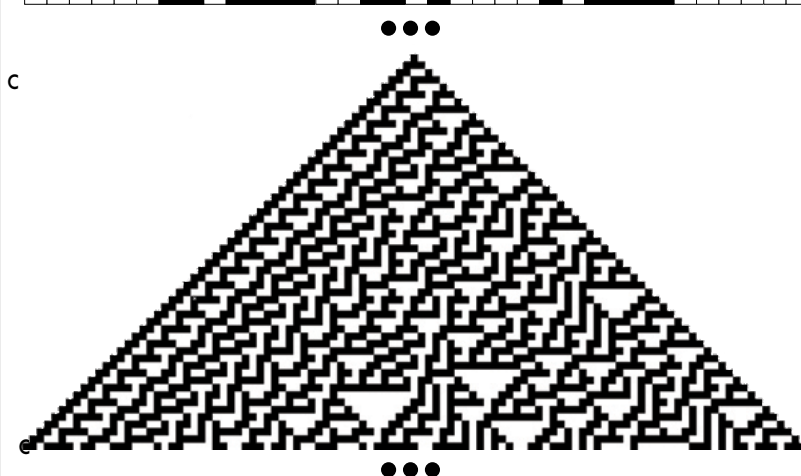
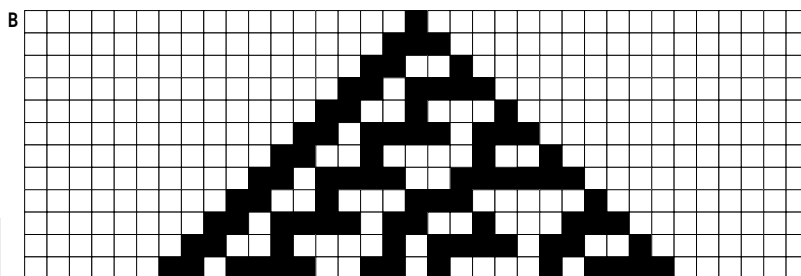
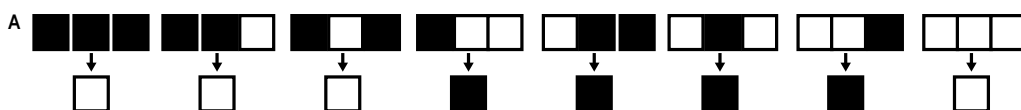
si on a *nnn*, la case centrale devient *b* ;
si on a *nnb*, la case centrale devient *b* ;
si on a *nbnn*, la case centrale devient *b* ;
si on a *nbb*, la case centrale devient *n* ;
si on a *bnn*, la case centrale devient *n* ;
si on a *bnb*, la case centrale devient *n* ;
si on a *bbn*, la case centrale devient *n* ;
si on a *bbb*, la case centrale devient *b*.

Cette règle est schématisée par la figure A.

Partant de la ligne ...bbbnbbb..., en écrivant les lignes qui s'en déduisent successivement, on obtient les figures B et C.

La méthode, appliquée ici à une ligne initialement infinie, s'adapte de façon évidente à une courbe fermée, et donc à la croissance d'un coquillage qui ajoute des couches nouvelles à son opercule, pourvu qu'on accepte l'idée d'une discrétisation des couleurs, ici au nombre de deux (noir et blanc).

Le type de résultats obtenu, après impression 3D, est représenté en D.



squelette siliceux, faisant partie du plancton marin) et, bien sûr, des coquillages.

L'ouvrage de D'Arcy Thompson a eu une grande influence en biologie en remettant à sa juste place la physique; et indirectement les mathématiques: les lois physiques créent des formes qu'on ne comprend qu'en résolvant des systèmes d'équations parfois assez complexes, et donc en mettant en œuvre les outils mathématiques de l'analyse.

DES FORMES CONSTRUITES PAR UNE IMPRIMANTE 3D À PARTIR D'UNE FORMULE UNIQUE

Revenons à nos coquillages et considérons le modèle le plus simple qui les décrit. Conduit-il à reproduire de manière satisfaisante les espèces connues? Jusqu'à récemment, les outils informatiques ne permettaient que d'envisager des modèles de coquillages dans la mémoire de l'ordinateur ou projetés sur un plan, celui-ci étant l'écran d'un terminal ou une feuille de papier. Les imprimantes 3D, dont les développements techniques se sont accélérés, offrent la possibilité d'aller plus loin en transformant les équations, trouvées ou supposées, en objets qu'on prend en main, qu'on soupèse, qu'on examine avec soin... et qu'on met contre son oreille pour «entendre la mer»!

Rappelons que les imprimantes 3D fonctionnent à partir d'une définition mathématique de l'objet que l'on veut obtenir, définition qui s'exprime dans un programme informatique. Ces machines produisent parfois des objets impossibles à obtenir par des techniques de moulage ou par des découpages et usinages classiques (par exemple un cube dont l'intérieur serait creusé pour laisser un espace vide qui aurait la forme de votre tête). Mais tout n'est pas possible.

En effet, les diverses parties de la forme sculptée par l'imprimante ou fabriquée couche par couche doivent être liées dans l'espace si l'on veut un objet qui garde sa rigidité. Surtout, l'objet visé ne doit pas comporter de parties trop fines que l'imprimante serait incapable de créer, ou qui fragiliseraient trop le résultat final.

Les formes réalisées par Francesco de Comitè (voir les encadrés) ont toutes été obtenues à partir d'une unique formule traduite en programme et qui ne comporte que quelques paramètres qu'il a fait varier en exploitant le modèle mathématique présenté dans l'encadré 2. Ces paramètres géométriques sont principalement ceux qui déterminent la spirale tridimensionnelle décrite par le centre de l'opercule lors de la croissance du coquillage, auxquels il faut ajouter les paramètres de la courbe correspondant à la forme de l'opercule ainsi que quelques données pour spécifier les motifs décorant la surface du coquillage.

4

D'ARCY THOMPSON (1860-1948)

Né en 1860 d'un père professeur de grec au Queen's College de Galway, en Irlande, D'Arcy Wentworth Thompson était marin et naturaliste, en même temps qu'un fin helléniste, un bon géomètre et un physicien expert.

Il a occupé durant trente-deux ans le poste de professeur d'histoire naturelle à l'université Saint-Andrews, à Dundee, en Écosse. Il a été élu Fellow de la Royal Society en 1916, puis anobli en 1937 et récompensé de la médaille Darwin en 1946. C'était un remarquable orateur qui avait un don exceptionnel pour les langues.

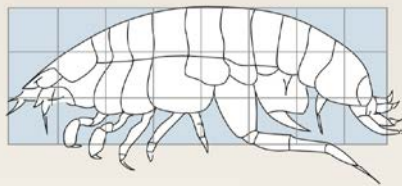
Son livre *On Growth and Form*, paru en 1917, et dont la seconde édition en 1942 était encore plus volumineuse, développait ce qu'on dénomme aujourd'hui les biomathématiques

(voir les sites <https://archive.org/details/ongrowthform00thom> et www.ongrowthandform.org).

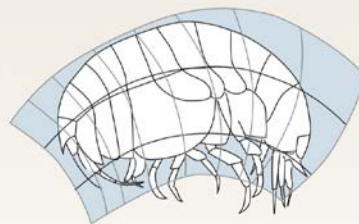
Sa théorie des transformations, dont il donna une version pratique illustrée par des images qui parlent d'elles-mêmes, est un outil maintenant formalisé pour étudier et comprendre les formes et leurs liens (voir l'article d'Yves Bouligand, « D'Arcy Thompson et la logique des formes », *Dossier Pour la Science* n° 44, pp. 4-9, juillet-septembre 2004).

Certains animaux semblent ainsi avoir des formes très différentes. On comprend qu'en réalité, ils sont proches, car une simple transformation géométrique permet de passer de l'un à l'autre. L'analogie est rendue visuellement évidente par la superposition d'un quadrillage sur les figures, comme ci-dessous.

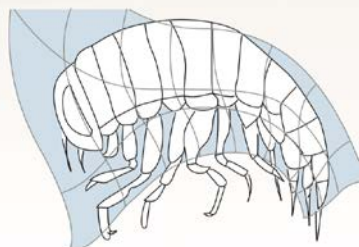
Harpinia plumosa



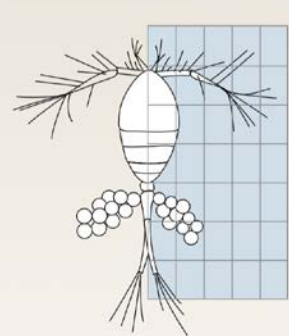
Stegocephalus inflatus



Hyperia galba



Oithona nana



Sapphirina

