

# Un regard sur la cristallographie

Par Jean-François Gazin, membre de la SAGA.

*Hors de toute prétention scientifique, il peut être intéressant d'aborder la cristallographie sous un angle peu traditionnel, en considérant le cristal comme une « forme naturelle optimale ». Ce regard différent permet d'entrevoir les processus de cristallogenèse qui ont donné naissance à des minéraux dont les formes n'ont pas fini de nous émerveiller.*

## CRISTAL ET FORME OPTIMALE

En 1686, Isaac Newton publie sa « Philosophie naturelle des principes mathématiques ». Il y énonce alors un principe dont il ne soupçonne pas qu'il s'applique parfaitement aux architectures cristallines : *La Nature ne fait rien en vain ; or beaucoup est vain lorsqu'une moindre quantité suffit ; car la Nature aime ce qui est simple et ne se revêt pas d'un luxe superflu.* Autrement dit, et dans un langage plus contemporain : un cristal représente une forme optimale, en ce qu'elle minimise l'énergie totale qui a prévalu pour sa création. Pour être un peu plus précis : tout système en évolution libre tend vers une configuration la plus stable possible, telle que la somme des interactions électrostatiques internes au système, plus l'énergie de pesanteur, soit minimale.

A défaut de démonstration (qui n'interviendra pas avant 1836) et même d'explication, le concept lui-même n'est pas nouveau dans la mesure où le « principe isopérimétrique » avait déjà été formulé par les mathématiciens grecs : *Parmi toutes les figures planes de même superficie, le disque est celui dont le périmètre est minimal.* Le même raisonnement se transpose en trois dimensions : il s'applique par exemple à la sphère, forme optimale qui minimise la surface du système pour un volume donné. En l'absence de pesanteur externe au système qu'il constitue, le soleil en est un bon exemple. La bulle de savon s'en approche. A contrario, la goutte d'eau, soumise à la pesanteur terrestre, tend vers une forme composite, entre la sphère (qui ne sera sphérique que dans la navette spatiale !) et le plan monomoléculaire qui serait sa forme naturelle en l'absence d'interactions électrostatiques internes et en présence de la seule accélé-

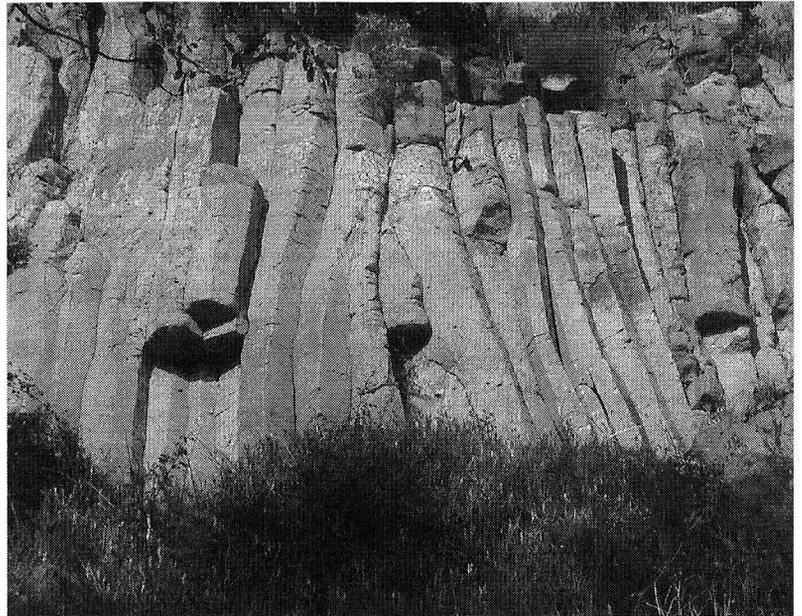


Figure 1 - La section prismatique des basaltes traduit une forme naturelle optimale (coulée de l'Auverne, Lodévois, ph. Alain Guillon).

ration de pesanteur.

L'agrégation de disques ou de sphères permet de poursuivre un raisonnement voisin : l'hexagone apparaît alors. Cette forme optimale est familière, dont les cellules d'une ruche d'abeilles offrent une illustration. Plus près cependant du souci du géologue, la prismation des basaltes (figure 1), les figures superficielles de l'argile asséchée, la géométrie de certaines fractures de la croûte terrestre, sont autant de ces formes optimales que le paléontologue retrouvera dans le squelette des radiolaires (figure 2). Le débat est loin d'être clos pour

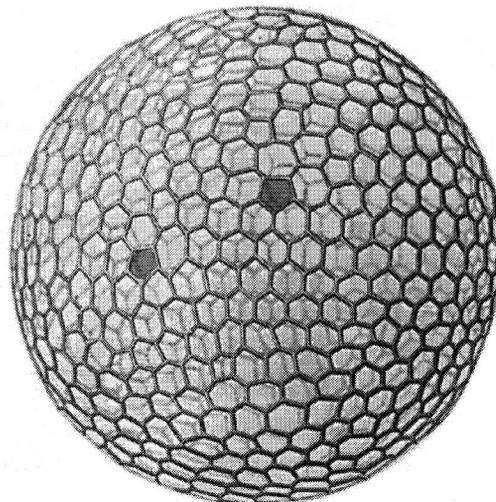


Figure 2- Le squelette d'un radiolaire fait apparaître des structures hexagonales voisinant avec quelques pentagones (dont deux repérés en grisé).

savoir si l'agrégation de disques débouche exactement sur l'hexagone ou sur une figure géométrique dont le nombre de côtés est non entier et compris entre 5 et 6 (on touche alors à la géométrie fractale) : la présence aléatoire de sections pentagonales dans les exemples précédents justifie le débat.

#### LA MORPHOLOGIE DU CRISTAL ...

... procède de la même analyse. Cette forme sera en effet la plus stable possible, compte tenu des interactions électrostatiques à l'intérieur du réseau cristallin. La pesanteur terrestre intervient alors peu dans cette forme, dans la mesure où ces interactions sont beaucoup plus fortes que l'accélération de pesanteur : les cristaux de synthèse obtenus dans la navette spatiale auront les mêmes formes que leurs équivalents terrestres.

Au cours du processus de développement du cristal, un atome extérieur qui « aurait le choix » de sa position dans l'architecture en cours de constitution (c'est ce qu'on appelle la croissance automorphe) prendra systématiquement celle qui correspond à l'état le plus stable, celui où il est entouré d'un maximum d'atomes voisins les plus proches possibles pour bénéficier d'une attraction électrostatique maximale (figure 3). La cinétique de la croissance du cristal et sa morphologie à un instant donné s'en ressentent, avec la disparition des faces à croissance rapide. La face plane que nous rencontrons si souvent sur les cristaux traduit alors l'état le plus stable possible qui s'apparente à une forme optimale au sens de Newton.

#### LA GENÈSE HYDROTHERMALE ...

... laisse au cristal en devenir la possibilité d'une croissance automorphe, d'où l'importance de ce mécanisme et le fait que nombre des plus beaux cristaux se sont constitués de cette façon.

En remontant vers la surface terrestre par convection, les fluides à hautes températures se sont saturés en composés minéraux. Ces solutions, sursaturées avec la baisse de température consécutive à la relative proximité des couches terrestres superficielles, précipitent et déposent alors ces composés. Mais les atomes et les molécules correspondantes seront en position « de choix » et trouveront, dans une architecture cristalline en gestation, une place la plus « confortable », en l'occurrence celle qui confèrera au cristal une stabilité maximale et qui conduira par exemple au développement d'une face plane.

Encore faut-il que le processus de cristallogénèse automorphe ait le temps physique de s'effectuer pour que la question : « Où vont se fixer les atomes ? » ait un sens. C'est ainsi qu'une cristallisation très rapide (associée à une chute très brutale de la température, épanchement de laves par exemple) se traduira par des microcristaux discontinus, de nombreux vides et dislocations, voire même par des minéraux sans structures cristallisées apparentes (verres naturels, obsidiennes, etc.).

A l'inverse, de beaux cristaux seront donc associés à :

- un refroidissement lent, donc à des remontées très progressives (pegmatites brésiliennes) ou à de lentes surrections montagneuses ;
- un espace physique suffisant pour permettre une croissance automorphe (fentes alpines) ;
- une symétrie naturelle dans le flux des solutions nourricières permettant un développement isotrope du cristal.

Au terme de la longue et hasardeuse naissance de cette forme optimale, comment ne pas rejoindre Roger Caillois ou Pablo Neruda qui regardaient, l'un et l'autre, tout cristal comme une structure vivante, éternellement ?

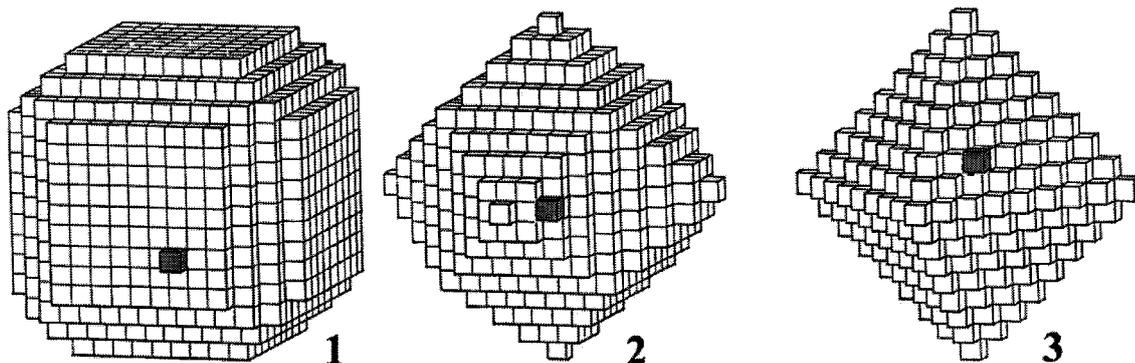


Figure 3 - Une cristallogénèse automorphe fera que la molécule incidente (repérée en gris) aura une probabilité réduite de prendre la place notée en 1, une probabilité plus importante de se fixer selon 2 et une forte probabilité de se placer selon 3.