

# Sous nos pieds,

# la Terre

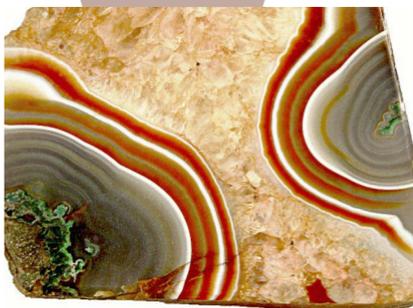
## 1 Quel vocabulaire pour quelle profession ?

Mais pourquoi la géologie paraît-elle si difficile à appréhender ? Ce n'est pourtant pas une science si compliquée que ça ! L'une des principales difficultés n'est-elle pas simplement le fait que le nom des roches et des minéraux change en fonction des professions ? Comment en effet s'intéresser à un sujet si on ne sait pas de quoi il est question ?

Prenons quelques exemples. Tiens, commençons par le marbrier. Déjà, le nom est bizarre, puisqu'il s'agit d'une profession qui travaille essentiellement les granites, qui sont des roches magmatiques, alors que le marbre est un calcaire métamorphique. Mais au fait, puisqu'il est question de granit(e)s : doit-on ou non mettre un « e » à ce mot ? Eh bien, ça dépend : non, si l'on est carrier ou sculpteur ; oui, si l'on appartient au monde scientifique. Le poète, lui, décidera en fonction du nombre de pieds dont il a besoin pour forger son vers... Poursuivons.

Le joaillier parlera de cristal de roche, de péridot, de saphir et d'aigue-marine pour des minéraux que le géologue connaîtra sous les noms respectifs de quartz, d'olivine, de corindon et de béryl. Et si la « topaze de Californie » est bien une topaze (aluminosilicate fluoré) de couleur bleue, celle d'Écosse est un

Agate  
colorée  
et quartz



quartz fumé, celle d'Espagne, une améthyste devenue jaune par chauffage et celle du Nevada, une obsidienne. Quant au médiéviste, le terme historique d'escarboucle (du latin *carbunculus*, « petite braise ») lui sera probablement plus familier que celui de grenat. On peut ainsi multiplier les exemples à l'infini...

Mais non, pas de panique ! Ne reposez pas déjà le livre ! Il suffit de se mettre d'accord sur les termes et, promis, vous verrez les roches et les minéraux apparaître dans leur simplicité, qu'il s'agisse d'une splendide pierre de lune (feldspath) ou d'un modeste gravillon (grès ou dolérite ?) coincé dans une sandale.

## 2 De quoi est constituée une roche ?

Généralement de cristaux, mais pas toujours. Au fait, roche, minéral, cristal : que recouvrent exactement ces termes ? Avant d'entrer dans le vif du sujet, quelques définitions de base ne seraient peut-être pas inutiles.

**Un cristal** est un solide, dont les atomes, les ions ou les molécules sont rangés de manière régulière, suivant un motif fondamental qui se répète dans l'espace pour dessiner un réseau. Tout un chapitre de ce livre sera consacré à la science des cristaux ou cristallographie. **Un minéral** est une espèce chimique naturelle se présentant, le plus souvent, sous la forme d'un cristal.

Marbre  
de Carrare



**Une roche** est un matériau constitutif d'une croûte ou d'un manteau planétaire. Elle présente, à une échelle donnée, une certaine homogénéité, mais peut être séparée en plusieurs constituants, dont l'arrangement géométrique définit la texture (grenue, à grains fins, à cristaux orientés, etc.). Une roche est en général formée d'un assemblage de minéraux. Ses constituants peuvent être d'origine biologique : fragments de coquilles accumulés, végétaux enfouis, déshydratés et chauffés (charbon) ou constructions

coralliennes fossiles. La brillante obsidienne volcanique est formée d'un seul constituant, solidifié mais non cristallisé : du verre. Sa texture est dite amorphe. Si le magma à l'origine du verre avait refroidi dans des conditions différentes, il aurait

donné naissance à une association de plusieurs cristaux : l'obsidienne est donc bien une roche et non un minéral. Enfin, certaines roches sont liquides en conditions ambiantes (pétrole).

Les roches se classent en deux grandes catégories : les roches exogènes, formées à la surface de la Terre, et les endogènes, générées à l'intérieur du globe, à des pressions et des températures élevées. Le premier groupe comprend les *roches sédimentaires* (formées par précipitations chimiques dans l'eau ou par accumulation en milieu aquatique de fragments minéraux ou biologiques) et les *roches résiduelles* (ce qui reste d'une roche, après altération et érosion : les bauxites, par exemple). Le second groupe comprend les *roches magmatiques* (issues de la cristallisation d'un magma), *hydrothermales* (résultant de la précipitation de minéraux à la suite de circulations d'eaux chaudes dans des fractures) et *métamorphiques* (formées par déformation de roches préexistantes, magmatiques ou sédimentaires, sans passage par l'état liquide).

### **3 Les roches terrestres sont-elles différentes de celles des autres planètes ?**

Quelques roches terrestres ressemblent à celles que l'on peut trouver sur certaines planètes.

En toute rigueur, le terme « planète » ne s'applique qu'aux grands globes orbitant autour du Soleil. Les corps célestes qui tournent autour d'autres étoiles – pour constituer d'autres systèmes stellaires – sont nommés exoplanètes. On sait peu de choses sur ces objets éloignés.

Il existe deux types de planètes : les géantes gazeuses et les corps telluriques. Dans les premières (Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune), très volumineuses et peu denses, seul le noyau est solide. Les quatre planètes du second groupe (Mercure, Vénus, Terre et Mars) sont constituées de deux niveaux de silicates solides, le manteau et la croûte, qui enveloppent de manière concentrique un noyau partiellement liquide. Il existe donc des roches solides dans toutes les planètes telluriques, et elles sont exclusivement ou principalement d'origine magmatique. L'absence d'une tectonique des plaques proscrit l'existence de roches métamorphiques ailleurs que sur la Terre (à l'exception de celles résultant d'impacts météoritiques). Quant aux roches sédimentaires, il faut pour les former des mers ou des lacs liquides en surface.

Y en a-t-il eu sur une autre planète tellurique du système solaire ? Réponse à la Clé 69.

Les planètes ne sont pas les seuls corps du système solaire à être formés de roches silicatées. Certains astéroïdes (petits corps non sphériques qui orbitent autour du Soleil) sont de nature basaltique. Plus près de nous, la Lune est recouverte de roches magmatiques anciennes analogues à celles que l'on peut trouver sur Terre. Les autres satellites du système solaire ont une géologie beaucoup plus exotique : Europe (satellite de Jupiter) a une croûte de glace d'eau ; Io (Jupiter) présente un volcanisme actif, qui rejette des produits silicatés et soufrés ; Triton (Neptune) est affecté d'un cryovolcanisme actif, dont les projections gelées percent une surface composée de glaces d'azote, d'eau et de dioxyde de carbone...

#### 4 Quel est le rôle de la tectonique des plaques dans la formation des roches ?

La tectonique des plaques décrit le mouvement relatif des différents fragments de l'enveloppe rigide de la Terre, la *lithosphère*, sur un manteau qui peut se déformer plastiquement sans se rompre, l'*asthénosphère*. Le moteur en est la dissipation de la chaleur interne de la planète. Les plaques lithosphériques mobiles, dont l'épaisseur peut varier de quelques kilomètres près des dorsales à plus de 200 kilomètres au cœur des zones continentales stables (cratons), sont constituées de la partie rigide du manteau supérieur, surmontée d'une croûte océanique (plaque Pacifique, par exemple), continentale (plaque anatolienne) ou, plus généralement, des deux (plaque africaine ou eurasiatique).

**Le manteau supérieur** est composé de péridotite, une roche très magnésienne à olivine, pyroxène et grenat. La lithosphère, rigide, surmonte l'asthénosphère, plastique et convective.

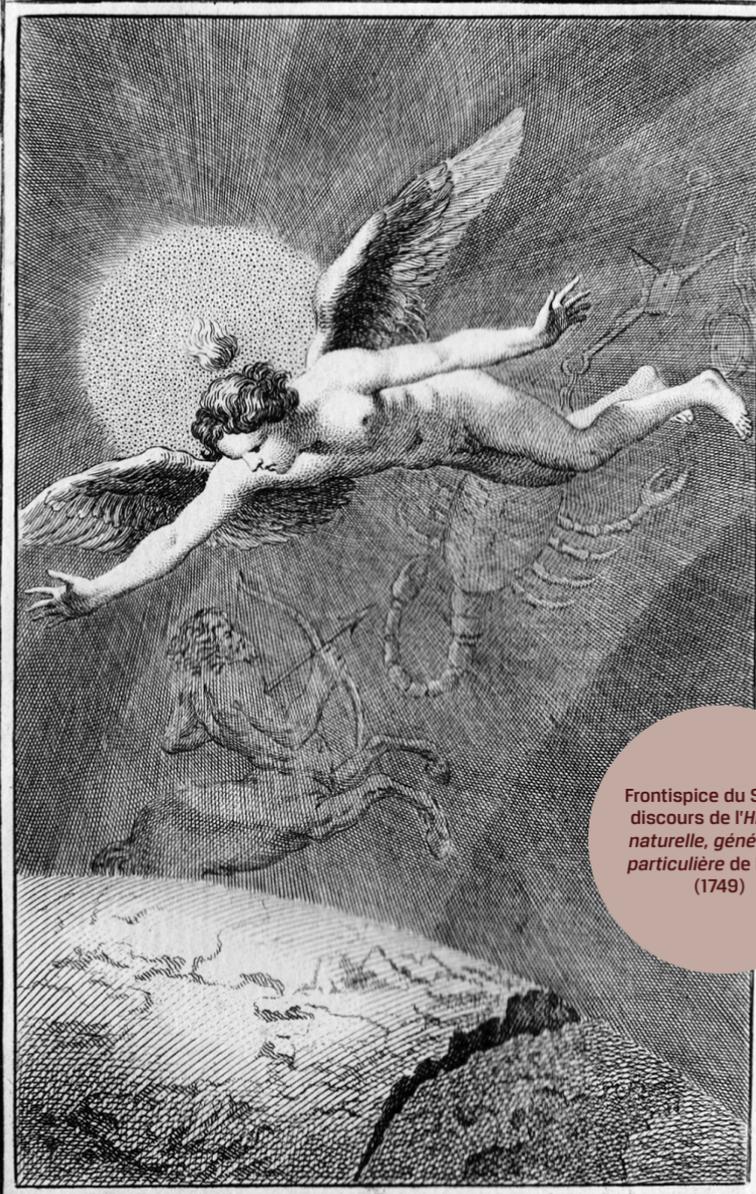
**La croûte océanique**, dense, est de nature basaltique (riche en fer et en magnésium, pauvre en silice ; minéralogie à olivine, pyroxène et plagioclase) et a une épaisseur inférieure à 10 kilomètres.

**La croûte continentale** a une composition globalement granitique (riche en silice, pauvre en fer et en magnésium ; minéralogie à feldspath, quartz et mica) et présente une faible densité. Son épaisseur est généralement comprise entre 15 et 80 kilomètres (une trentaine de kilomètres en moyenne).

Les enveloppes  
superficielles  
de la Terre

*Tome I.*

*P. 93.*



Frontispice du Second discours de l'*Histoire naturelle, générale et particulière* de Buffon (1749)

*gravé par Louis LeBlond*

*Le Génie de la Nature dans la Contemplation de l'Univers.*

Quel est le rôle de la tectonique des plaques dans la formation des roches ?

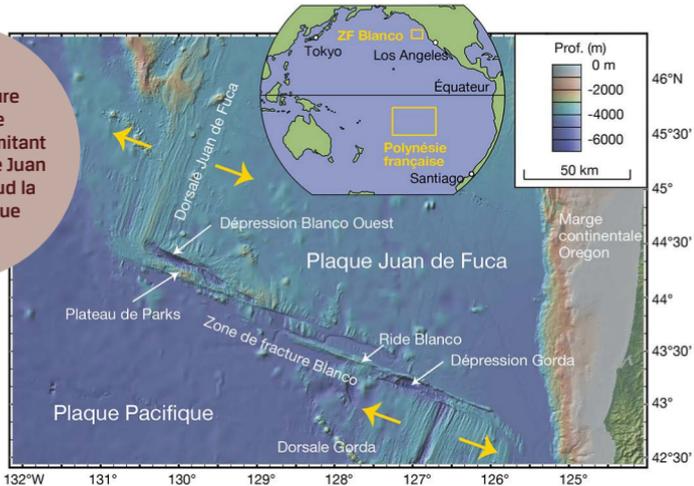
### Les 3 types de frontières de plaques

**Les zones d'accrétion** se situent au niveau des dorsales. Ce sont les lieux de production de croûte océanique, phénomène dont l'une des conséquences est la mise en place dans les grands fonds de laves basaltiques en coussin ou *pillow lavas*. De part et d'autre des dorsales, les plaques s'écartent à une vitesse comprise entre 1 et 18 centimètres par an.

**Les zones de subduction** sont signalées par la présence de fosses océaniques. C'est au niveau de ces gigantesques « cicatrices » que la lithosphère océanique s'enfonce dans l'asthénosphère sous une plaque continentale (Andes) ou sous une autre plaque océanique (Antilles, ceinture de feu du Pacifique). La croûte plongeante se déshydrate à une certaine profondeur, ce qui induit une production de magma par fusion du manteau sus-jacent, magma qui remonte pour donner naissance aux volcans des arcs insulaires. Ce volcanisme est généralement fortement explosif, car riche en eau. Quand toute la lithosphère océanique a disparu par subduction, la collision entre deux masses continentales génère la formation d'une chaîne de montagne, au sein de laquelle se développent des roches métamorphiques et des granites.

**Les failles transformantes** sont des limites conservatives, où il n'y a ni disparition ni création de croûte. Elles peuvent relier entre elles deux dorsales ou une dorsale et une zone de subduction. Le mouvement des plaques se fait par coulissage le long de ces failles.

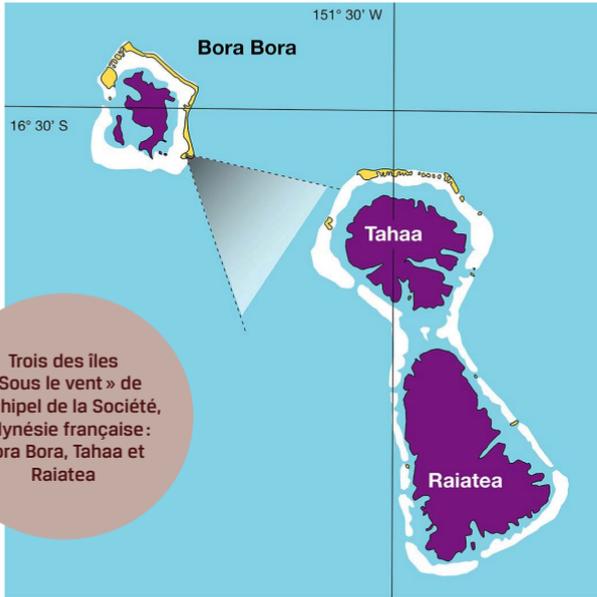
Zone de fracture Blanco, faille transformante limitant au nord la plaque Juan de Fuca et au sud la plaque Pacifique



Les flèches orangées indiquent la direction de déplacement des plaques.

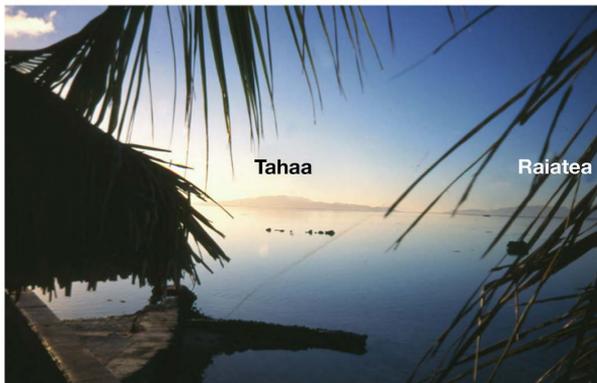
Les frontières de plaques sont le siège de la plupart des séismes et concentrent l'essentiel de la production magmatique terrestre. Les volcans situés en dehors de ces limites

appartiennent au magmatisme dit « intraplaque ». C'est le cas par exemple des alignements volcaniques d'Hawaïi et de Polynésie française. La production de magma dans ces sites est due à des zones chaudes asthénosphériques, considérées en première approximation comme des points fixes sous le « tapis roulant » de la lithosphère océanique. Ces points chauds donnent naissance à des alignements de volcans. Les édifices s'érodent et s'enfoncent au fur et à mesure qu'ils s'éloignent de la zone active. Quand le climat le permet, des récifs coralliens s'élèvent en bordure des anciens volcans, jusqu'à former des atolls au-dessus des édifices entièrement immergés.



Ce sont des îles volcaniques intraplaques, situées loin du point chaud actif de la Société (Mehetia), bordées de récifs coralliens. Violet : roches volcaniques ; jaune : secteurs émergés des récifs coralliens ; blanc : platier récifal. La photographie montre Tahaa et Raiatea vus de Bora Bora.

Trois des îles « Sous le vent » de l'archipel de la Société, Polynésie française : Bora Bora, Tahaa et Raiatea



## 5 Quelles sont les roches les plus anciennes ?

On les trouve au cœur des cratons, ces zones continentales stables depuis des milliards d'années localisées loin des frontières actives de plaques. Les plus vieux cratons sont situés au Canada, en Australie et en Afrique du Sud. Il y a actuellement deux candidats au titre de plus vieux caillou du monde : un gneiss d'Acasta, au nord-ouest du Canada, daté à 4,02 milliards d'années, et une ancienne roche volcanique de Nuvvuagittuq, au nord du Québec, dont l'âge serait de 4,28 milliards d'années. Mais la validité de cette dernière datation a été mise en cause par certains spécialistes. Rappel : la Terre n'a « que » 4,55 milliards d'années.

Ces roches canadiennes ne sont pas les plus vieux matériaux terrestres connus : il existe en effet des minéraux plus anciens, des zircons découverts dans une formation géologique australienne. Ils ont été datés entre 4,40 et 4,30 milliards d'années. Point intéressant : l'étude des isotopes de l'oxygène présents dans ces minéraux a permis de montrer qu'il existait de l'eau liquide à la surface du globe dès cette époque.

La roche la plus ancienne de France est un gneiss d'environ 2 milliards d'années, que l'on peut observer en plusieurs endroits au cœur d'un petit craton du Massif armoricain : dans le Trégor, dans le Cotentin et au sud de l'île anglo-normande de Guernesey.

Pointe d'Icart à Guernesey, formée d'un gneiss d'environ 2 milliards d'années



## 6 Pourquoi et comment les roches s'érodent-elles ?

L'érosion est l'ensemble des phénomènes superficiels qui conduisent à l'abrasion des reliefs par ablation de tout ou partie des roches. Celles-ci subissent d'abord un processus chimique d'altération qui les fragilise. Cela peut aller jusqu'à la dissolution : c'est ainsi par exemple que les eaux chargées en gaz carbonique attaquent les calcaires pour donner naissance aux paysages karstiques. L'érosion peut aussi être facilitée par des mécanismes physiques, comme l'éclatement des pierres à la suite de brusques changements de température ou par l'action des racines. Les fragments de roche sont ensuite désolidarisés, puis transportés par l'eau, le vent ou les glaces du haut vers le bas des reliefs et de l'amont vers l'aval des cours d'eau. Les particules de taille diverse achèvent leur voyage dans des bassins de sédimentation où, après enfouissement, compaction et cimentation, ils donneront naissance à des roches sédimentaires (voir Clé 31).

Les gigantesques amoncellements de boules rocheuses, connus sous le nom de chaos, sont communément de nature granitique, mais ils peuvent concerner d'autres types de roches, comme les gabbros (équivalents des basaltes, mais à grains grossiers), les diorites (intermédiaires entre gabbros et granites) ou les grès (roche sédimentaire quartzreuse). De tout temps, ces paysages étonnants ont intrigué les peuples, qui ont tissé de multiples légendes à leur sujet. Le chaos granitique de la forêt bretonne de Huelgoat aurait ainsi été formé par le géant Gargantua, qui, furieux de n'avoir que de la bouillie de blé noir à manger, aurait de rage lancé des blocs dans la rivière. Son proche parent Boudédé, se promenant un jour le long d'un cours d'eau, y aurait jeté les graviers qui encombraient ses sabots, donnant ainsi naissance au chaos du Corong dans les Côtes-d'Armor. L'amas granitique des Pierres Jaumâtres, en Creuse, a lui aussi attiré les légendes, ainsi que le reflète la toponymie locale. Les pierres les plus remarquables portent les noms de Rigole du Diable, Siège, Grenouille, Berceau du Diable, Bascule...

Le processus de formation d'un chaos est pourtant tout ce qu'il y a de plus naturel : l'eau circulant par les fractures de la roche produit une altération en « pelure d'oignon ». Les minéraux désolidarisés se déchaussent et viennent nourrir une

arène, ou accumulation de sable grossier. Les angles de la roche fracturée s'émousent progressivement, jusqu'à donner naissance aux boules du chaos.

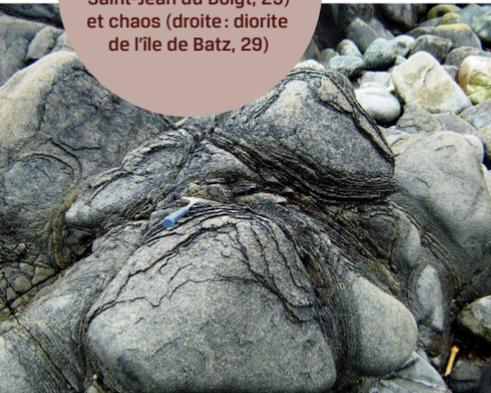
## 7 Comment se forme un sol ?

Le sol se forme par altération de la roche, puis par apport d'eau et de matière organique.

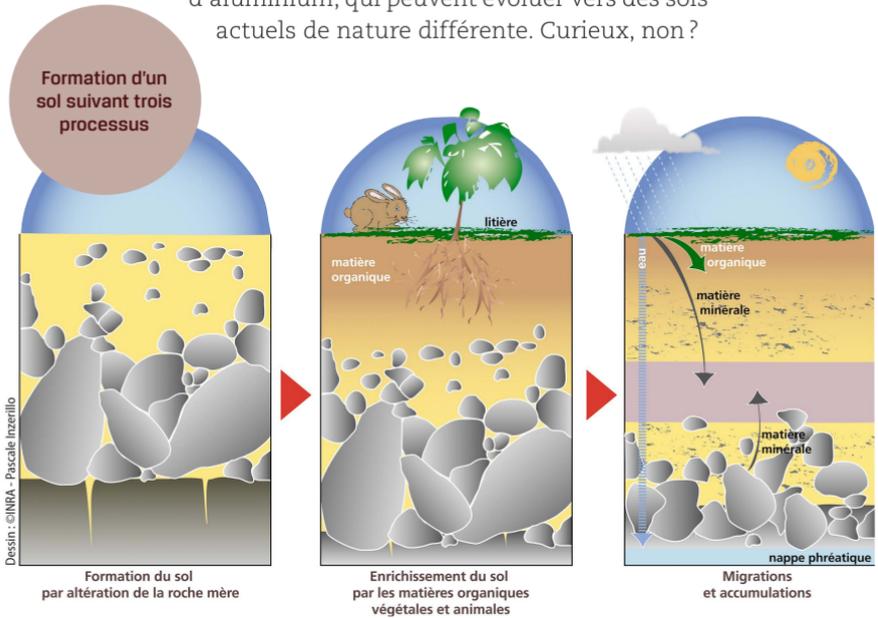
Le sol désigne la pellicule la plus superficielle de la croûte terrestre. Il constitue l'interface entre lithosphère (sous-sol) et atmosphère/biosphère. Un sol se caractérise par différents niveaux – ou horizons –, constituant le profil suivant (du bas vers le haut) : la roche-mère fragmentée et peu transformée ; l'horizon illuvial ou d'accumulation (en gris sur le dessin) ; l'horizon éluvial ou de lessivage.

Le processus de formation du sol – ou pédogenèse – débute par l'altération de la roche, c'est-à-dire la transformation chimique de certains de ses minéraux par les agents atmosphériques. La roche devient peu à peu moins cohérente et se désagrège pour donner naissance à un sol jeune, puis à un sol mature. Les sols évolués sont soit contrôlés par les conditions climatiques (sols à croûte dans les secteurs désertiques, sols latéritiques en zones chaudes, podzols en zones tempérées froides...), soit conditionnés essentiellement par la nature de la roche-mère (rendzine sur sous-sol calcaire, ranker sur roche siliceuse en domaine montagneux).

Altération « en pelure d'oignon »  
(gauche : gabbro de Saint-Jean du Doigt, 29)  
et chaos (droite : diorite de l'île de Batz, 29)



La géologie n'étant pas avare de surprises, il n'est pas rare, en se baladant sur la côte ou à la montagne, de découvrir des profils de sol dans une falaise, parfois sous des niveaux sédimentaires. Ce sont des sols anciens – ou paléosols – formés sous des climats différents de ceux de notre époque. Certains d'entre eux constituent les roches-mères de sols en formation. C'est par exemple le cas des *terra rossa* du Sud de la France, des paléosols argileux rouges enrichis en hydroxydes de fer et d'aluminium, qui peuvent évoluer vers des sols actuels de nature différente. Curieux, non ?



## 8 Tous les minéraux sont-ils des cristaux ?

La plupart le sont, mais pas tous. Nous avons déjà vu qu'un cristal se définit comme un solide dont les particules sont disposées suivant une structure régulière. Certains minéraux n'obéissent pas à cette définition.

Le mercure à l'état natif est le seul minéral liquide en condition de pression et de température atmosphérique. Il ne devient solide qu'à  $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Cet élément se rencontre plus généralement sous forme de sulfure (cinabre).

De même que le verre des roches volcaniques, les minéraux solides qui ne possèdent pas de structure cristalline sont dits amorphes. Les éléments chimiques qui les composent sont disposés de manière anarchique. L'opale-A en est l'exemple le

Tous les minéraux sont-ils des cristaux ?

plus connu. Il s'agit de silice hydratée, dont la structure, instable, tend à se transformer avec le temps en un agrégat de microcristaux siliceux proches du quartz (opale-CT).

La radioactivité naturelle peut causer un désordre dans le réseau cristallin. Les minéraux correspondants changent de couleur et tendent vers un état amorphe. Le quartz fumé, à la belle teinte brune, en est un exemple classique.

Enfin, certains minéraux se présentent sous la forme de concrétions, c'est-à-dire d'accumulation concentrique de matière autour d'un noyau (par exemple : la malachite, un carbonate de cuivre hydraté).

Concrétion  
de malachite.  
Rép. démocratique  
du Congo

15 × 11,5 cm



## 9 Où le monde minéral choisit-il ses couleurs ?

Un cristal est incolore si tout le spectre visible est transmis, en l'absence d'impuretés ou de défauts cristallins. Les causes de coloration, nombreuses et complexes, dépendent de la structure et de la chimie des cristaux. En voici un bref survol.

La couleur caractéristique d'un cristal, qui ne varie pas d'un individu à l'autre, est dite *idiochromatique*. Elle résulte de sa chimie propre : par exemple le vert olive qui a donné son nom à l'olivine.

La coloration découle souvent de la présence d'une espèce chimique à l'état de trace dans la structure d'un cristal. La couleur violette de l'améthyste provient de la présence d'ions de fer. Chauffé à plus de 250 °C, le cristal se décolore et il devient jaune au-delà de 500 °C (fausse citrine). Un même élément dans des réseaux cristallins distincts peut être responsable de couleurs complètement différentes. Ainsi, l'ion chrome en quantité infime transformera un banal béryl (silicate d'aluminium et de béryllium) en émeraude et un triste corindon (alumine) en rubis écarlate. Les espèces chimiques en trace dans un minéral portent le nom d'*impuretés*. On parle de dopage si la chimie est modifiée artificiellement.

Les couleurs peuvent aussi être la conséquence de défauts dans la structure cristalline : ions manquants ou en trop, qui altèrent la régularité du réseau. On peut également évoquer les échanges d'électrons entre les ions, les radiations naturelles ou bien l'incorporation d'éléments chimiques porteurs d'une couleur spécifique : le cuivre colore systématiquement les cristaux en vert (malachite) ou en bleu (turquoise) et le manganèse en rouge (béryl de cette couleur).

**Théophraste** (-371 - -288), le « divin parleur », est né dans l'île de Lesbos, en Grèce. Il a été l'élève d'Aristote pendant une trentaine d'années avant de lui succéder à la tête du *Lycée* vers -322. Seulement une petite partie de son œuvre considérable (240 titres selon Diogène Laërce) nous est parvenue. Théophraste est surtout célèbre pour ses *Caractères*, qui ont servi de modèles à ceux de La Bruyère au XVII<sup>e</sup> siècle. Dans son *Peri Lithon*, le plus ancien traité connu sur les pierres, Théophraste subdivise les minéraux en fonction de leur dureté et de leur comportement au feu. Selon lui, les pierres sont un produit de la terre, tandis que les métaux tirent leur origine de l'eau. Il classe les minéraux suivant leur valeur et leur utilité. Il fait venir les perles d'un coquillage de la mer des Indes. Il mentionne l'ivoire fossile et les roseaux pétrifiés. « L'agate est une belle pierre, écrit-il. Elle vient du fleuve Achate en Sicile. Elle se vend très cher. » Saint Jérôme raconte que, bien vieux et affaibli par la maladie qui devait l'emporter, Théophraste aurait regretté de devoir sortir de la vie à un âge où il ne faisait que commencer à être sage...

Théophraste,  
le premier  
minéralogiste ?