

Martial Caroff

Où le monde  
  
**minéral**  
choisit-il ses  
**couleurs**

?

**100**  
clés pour  
comprendre  
les roches  
et les minéraux

éditions  
**Quæ**



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

100 clés pour comprendre les roches et les minéraux

## Collection *Clés pour comprendre*

### ***Pourrons-nous vivre sans OGM ?***

60 clés pour comprendre les biotechnologies végétales

Yvette Dattée, Georges Pelletier (coord.), 2014, 144 p.

### ***Mais que fait donc ce gendarme dans mon jardin ?***

100 clés pour comprendre les petites bêtes du jardin

Patrice Leraut, 2014, 160 p.

### ***Une mer propre, mission impossible ?***

70 clés pour comprendre les déchets en mer

François Galgani, Isabelle Poitou, Laurent Colasse, 2013, 176 p.

### ***Les chauves-souris ont-elles peur de la lumière ?***

100 clés pour comprendre les chauves-souris

François Prud'homme, 2013, 208 p.

### ***Les oiseaux ont-ils du flair ?***

160 clés pour comprendre les oiseaux

Luc et Muriel Chazel, 2013, 240 p.

### ***Le jardin suit-il des modes ?***

90 clés pour comprendre les jardins

Yves-Marie Allain, 2013, 136 p.

### ***Un crapaud peut-il détecter un séisme ?***

90 clés pour comprendre les séismes et tsunamis

Louis Géli, Hélène Géli, 2012, 176 p.

Éditions Quæ

RD 10

78026 Versailles Cedex, France

[www.quae.com](http://www.quae.com)

© Éditions Quæ, 2014

ISBN 978-2-7592-2148-6

ISSN 2261-3188

Le Code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction, même partielle, du présent ouvrage est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, Paris 6<sup>e</sup>.

Martial Caroff

Où le monde  
**minéral**  
choisit-il ses  
**couleurs**

?

**100**  
clés pour  
comprendre  
les roches  
et les minéraux

Éditions Quæ



*« Voilà ce que je sais des pierres que Nature  
Brasse dedans les flancs de cette Terre dure. »  
Rémy Belleau (1576)*

## Remerciements

L'auteur remercie les éditions Quæ d'avoir accepté d'éditer ce projet lithique, et tout particulièrement Nelly Courtay, qui n'a pas ménagé ses efforts à tous les stades d'avancement afin que cet ouvrage puisse voir le jour dans les meilleures conditions. Un grand merci également à Véronique Leclerc, pour ses judicieux conseils, ainsi qu'à Clarisse Robert, de Pagissime, dont les maquettes font exploser les couleurs.

Un salut amical aux relecteurs, qui ont su repérer les erreurs et, parfois, redresser judicieusement des phrases fatiguées, en danger de perdre l'équilibre: Annie Hénault, et mes collègues du laboratoire UMR n°6538 « Domaines océaniques »: Nathalie Babonneau, Jean-Alix Barrat, Bernard Le Gall et Muriel Vidal.

La reconnaissance de l'auteur va également à toutes celles et ceux qui lui ont prêté des échantillons, donné un tuyau ou fourni gracieusement des documents non libres de droits, pour faire de ce livre un écrin de belles images avec un peu de texte à côté: Arnaud Agranier, Jean-Alix Barrat, Sylvain Blais, Nolwenn Coint, Carole Cordier, Alain Coutelle, Éric Geirnaert, Bruno Granier, Horst Heising, Maxime Hoffman et l'Amicale paléo-minéralogique de Brest Bellevue, Pascale Inzerillo, René Maury, Pascal Tieffenbach, Muriel Vidal et l'Ifremer.

Un merci tout spécial à Serge Lavarde, qui, dans le cadre de ce projet, a gentiment accepté d'ouvrir en grand les portes de sa superbe photothèque de microcristaux.

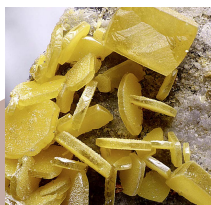
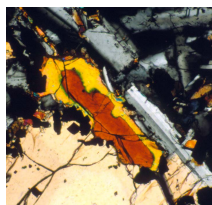
Enfin, une pensée pour tous ceux, connus ou anonymes, qui ont alimenté au fil des décennies la belle collection de minéralogie du Département des sciences de la Terre de l'université de Brest, dans laquelle l'appareil photo de l'auteur a trouvé de quoi assouvir sa fringale.



# Sommaire




Avant-propos	8
<b>Sous nos pieds, la Terre</b>	11
<b><i>Spaceland</i> ou le monde de la géométrie pure : les cristaux</b>	27
<b>Filles du feu et des entrailles : les roches magmatiques</b>	41
<b>Tranquilles, les roches sédimentaires</b>	59
<b>Les illustrations du grand livre de la Terre : les fossiles</b>	75
<b>Au cœur des montagnes : les roches métamorphiques</b>	93
<b>De la Lune à Vesta, les (vieilles) roches extraterrestres</b>	109
<b>Mon précieux...!</b>	127
<b>Sources d'énergie fossiles et fissiles</b>	141
<b>Carrière ou mine, il faut choisir!</b>	157
100 clés pour comprendre les roches et les minéraux	175
Glossaire	179
Pour en savoir plus	181
Crédits photographiques	182



## Avant-propos

Les roches et les minéraux qui constellent l'ouvrage que vous tenez en main, chère lectrice, cher lecteur, ne suivent pas la présentation habituelle des traités de pétrographie ou de minéralogie. Ces cent clés pour découvrir le monde minéral, ici regroupées en dix trousseaux, ont été façonnées sous la triple influence des *Coq-à-l'âne* de Clément Marot, des « *Meslanges* » littéraires des XVII<sup>e</sup>-XVIII<sup>e</sup> siècles et... du *Manuel des Castors Juniors*. Pleines de belle et bonne science (Qu'est-ce que la cristallochimie?), en phase avec l'actualité (La fin du pétrole pour bientôt?), amusantes (L'un est rouge de confusion quand son frère n'y voit que du bleu: qui sont-ils?), insolentes (L'énergie nucléaire: une histoire chaotique pour un avenir radieux?) ou surprenantes (Comment rendre un sédiment intelligent?), les cent rubriques de ce livre sont agrémentées de multiples anecdotes scientifiques (Non! Les dinosaures n'ont pas disparu!), historiques (Le fabuleux mystère de *Melencolia I* de Dürer), littéraires (Laura, voyage dans le cristal de George Sand) ou carrément décalées (Le monstre du lac de



**Cristaux  
de wulfénite  
rougeâtre et de  
mimérite verte en  
provenance de  
Nontron (24)**

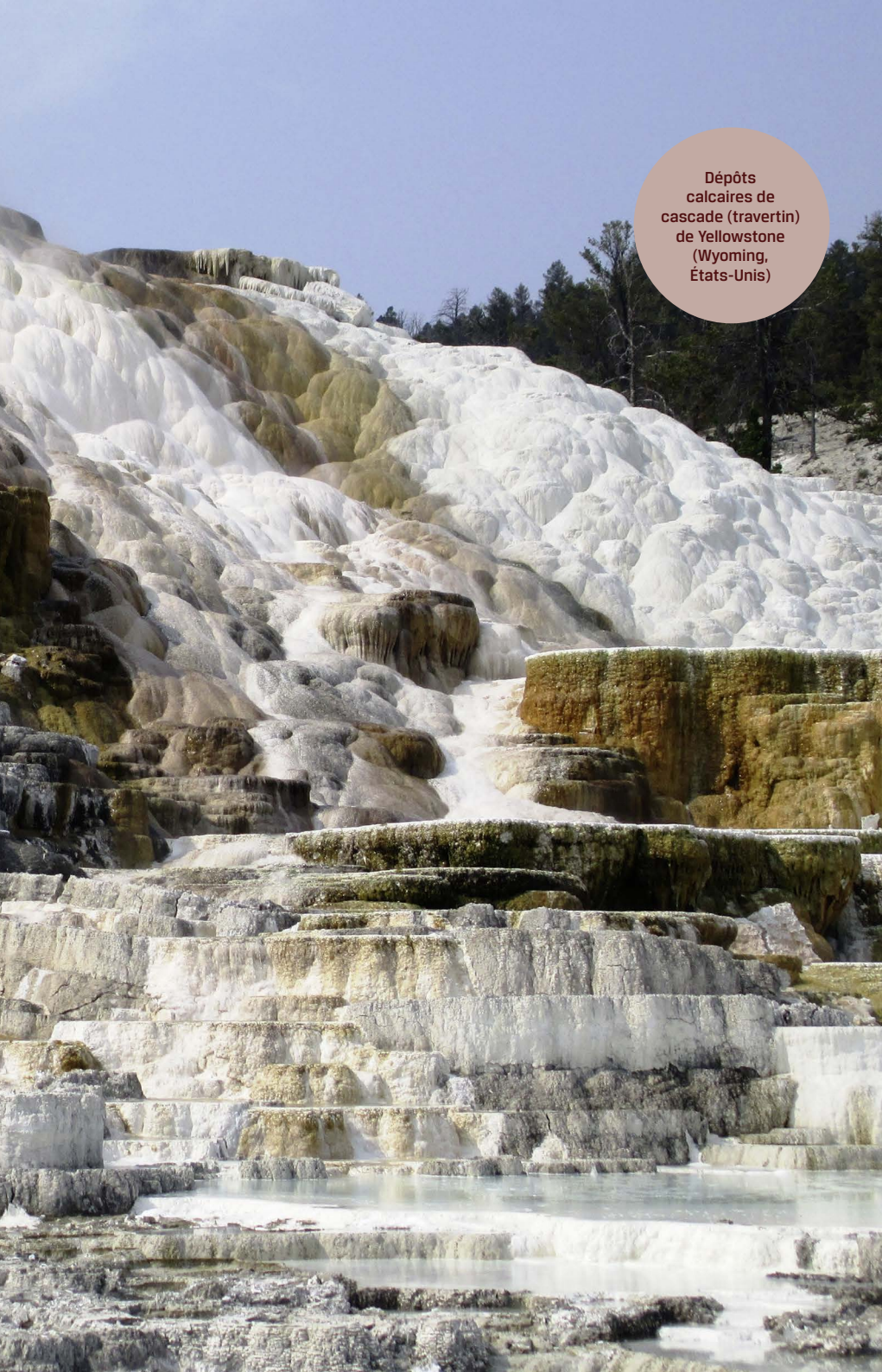
**Longueur moyenne :  
0,6 mm**

Nénesse). Inutile d'avoir suivi des cours à l'université ou bien d'être un collectionneur fondu de cristaux ou de fossiles pour goûter les *tapas* de ce petit livre. Il suffit pour cela d'un peu de curiosité et d'ouverture d'esprit. Sans jamais s'écarter du fil directeur des chapitres, les informations et les anecdotes les plus improbables s'associent, se juxtaposent, s'enchevêtrent, dans le but de faire découvrir, avec humour et légèreté, les mystères des roches et des minéraux.

Après un chapitre exposant les notions élémentaires de géologie, le livre invite à une plongée dans l'univers géométrique des cristaux. Puis toutes les grandes catégories de roches sont successivement passées au crible des questions : les roches magmatiques, sédimentaires, fossilifères, métamorphiques et extraterrestres. Retour ensuite aux cristaux avec les gemmes et l'ouvrage s'achève sur deux chapitres au cœur des préoccupations sociétales actuelles : les gisements énergétiques et les minerais.

Mais trêve de discours, il est temps d'entrer dans le vif du sujet. Cet avant-propos se terminera avec les mots d'Anselme Boèce de Boodt, qui, dans le *Parfait Joaillier* (1644), conclut ainsi son avertissement au lecteur :

*« Prenez donc, mon cher lecteur, en bonne part tout ce que j'ai fait. Ce que faisant, vous baillerez des ailes à mon esprit, pour oser davantage. Adieu. »*



Dépôts  
calcaires de  
cascade (travertin)  
de Yellowstone  
(Wyoming,  
États-Unis)

# 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.

**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

Marbre de Carrare



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.

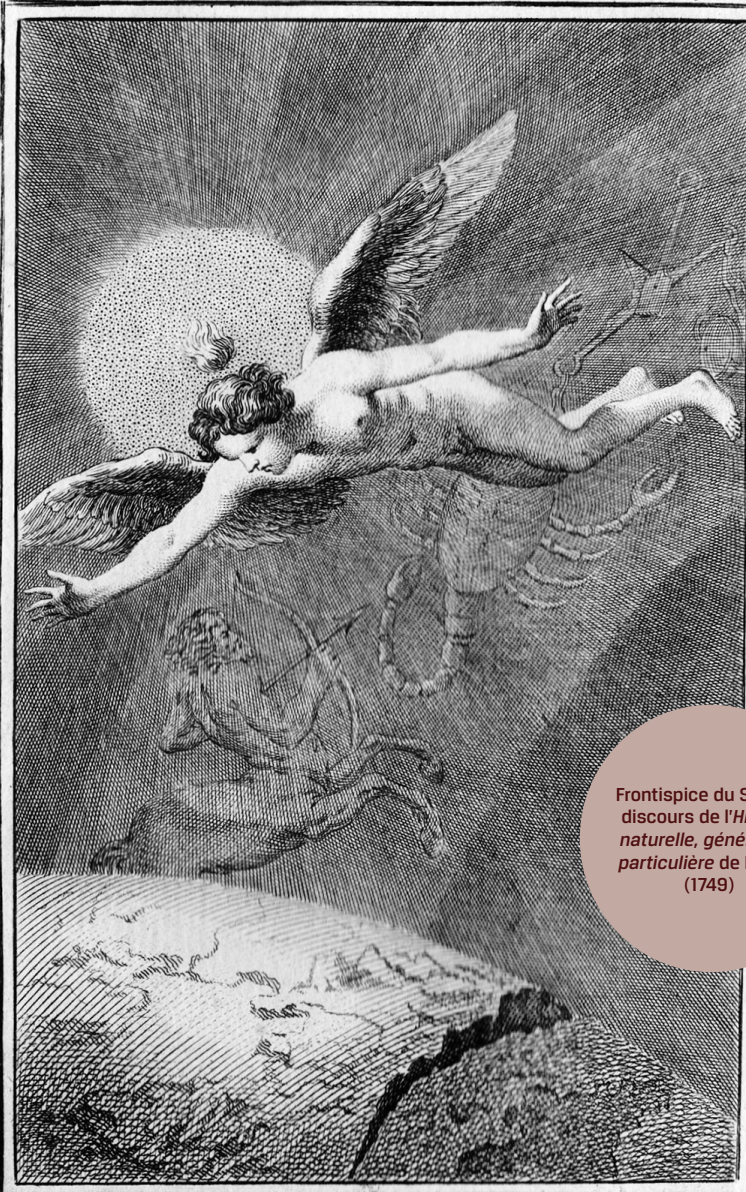
**La croûte continentale** a une composition globalement granitique (riche en silice, pauvre en fer et en magnésium ; minéralogie à feldspath, quartz et mica) et présente une faible densité. Son épaisseur est généralement comprise entre 15 et 80 kilomètres (une trentaine de kilomètres en moyenne).

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 ?

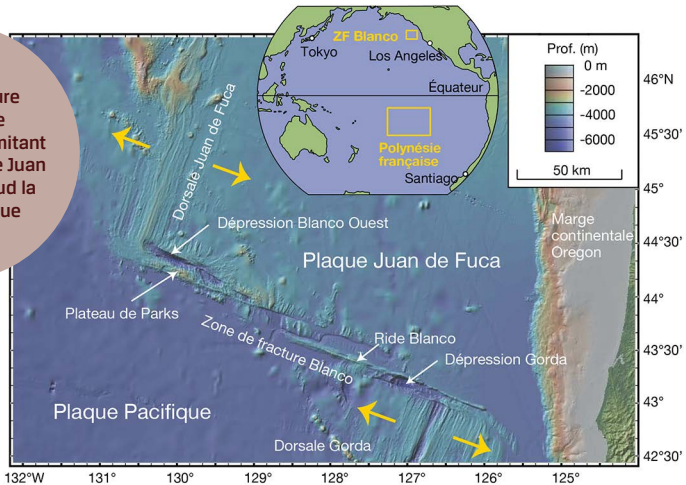
### Les 3 types de frontières de plaques

**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.

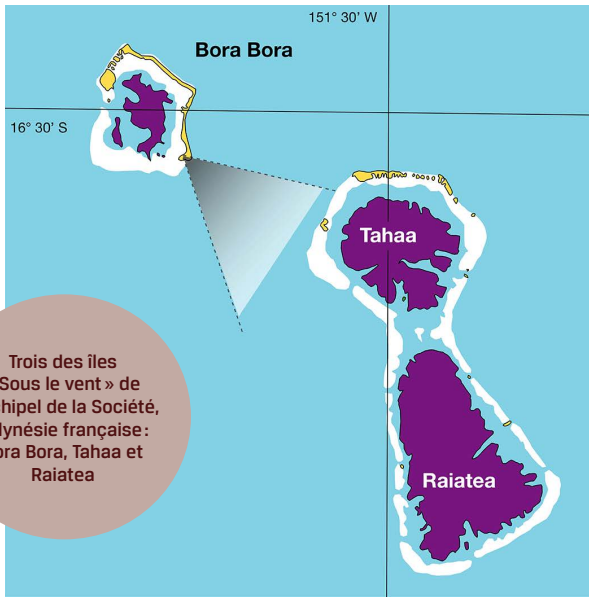
Zone de fracture Blanco, faille transformante limitant au nord la plaque Juan de Fuca et au sud la plaque Pacifique



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

