

101 MINÉRAUX ET PIERRES PRÉCIEUSES

Qu'il faut avoir vus dans sa vie



Jean-Claude Boulliard commence sa carrière scientifique au CNRS au sein du Groupe de Physique du Solide de l'École Normale Supérieure. Il rejoint ensuite l'Institut de Minéralogie, de Physique des Matériaux et de Cosmochimie et prend la direction de la Collection de Minéraux de Sorbonne-Université. Il est l'auteur de plusieurs ouvrages sur les minéraux parmi lesquels *L'Or en France*, *Minéraux remarquables*, *Le Cristal et ses Doubles*, *Pierres Précieuses*, *Les Minéraux*.

JEAN-CLAUDE BOULLIARD

101 MINÉRAUX ET PIERRES PRÉCIEUSES

Qu'il faut avoir vus dans sa vie

DUNOD

SOMMAIRE

LE MONDE DES MINÉRAUX 6

LES ANTIQUES

1. Agate : des œufs de tonnerre aux melons pétrifiés du mont Carmel 20
2. Aigue-marine : la belle brésilienne 22
3. Almandin : le premier grenat 24
4. Ambre : du fossile au minéral 26
5. Améthyste : la pierre de Bacchus 28
6. Argent : money, money 30
7. Azurite : le bleu des montagnes 32
8. Cristal de roche : un nom venu du froid 34
9. Diamant : du cœur des ténèbres 36
10. Émeraude : la pierre de l'Eldorado 38
11. Fluorite : un minéral arc-en-ciel 40
12. Jades : bijoux de l'Extrême-Orient 42
13. Lapis-lazuli : les pierres outremer 44
14. Malachite : le vert des montagnes 46
15. Marcassite : un hérisson sulfureux 48
16. Opale noble : les jeux de couleurs 50
17. Or : le premier métal 52
18. Péridot : l'émeraude des croisés 54
19. Perles : à chacune sa coquille 56
20. Rubis : la reine des pierres précieuses 58
21. Saphir : l'inaccessible grand bleu 60
22. Spinelle : à l'ombre des corindons 62
23. Topaze : si dure, si cassante 64
24. Turquoise : la pierre de Turquie 66
25. Variscite : à l'ombre des menhirs 68
26. Zircon : une vieille histoire 70

LES NOUVELLES MERVEILLES

27. Amazonite : la pierre des Amazones 74
28. Charoïte : une gemme des extrêmes 76
29. Chrysobéryl : œil-de-chat et pierre du tsar 78
30. Chrysocolle : minéral ou minéraux 80
31. Cordierite : la pierre aux deux couleurs 82
32. Démantoïde : la couleur de l'émeraude, les feux du diamant 84
33. Dumortierite : une gemme camouflée 86
34. Grossulaire : au contact du calcaire 88
35. Kunzite : à la gloire de M. Kunz 90
36. Morganite : la pierre du magnat de Wall Street 92
37. Opale de feu : une couleur étrangère 94
38. Pierre de lune et labradorite : pierres aux reflets bleus 96
39. Platine : précieux et nécessaire 98
40. Prehnite : un minéral botryoïdal 100
41. Quartz à inclusions : les cheveux de Vénus 102
42. Rhodochrosite : la rose argentine 104
43. Rhodonite : la gemme de manganèse 106
44. Rubellite : une star de la minéralogie 108
45. Scapolite : une solution solide 110
46. Sodalite : la pierre ténébrescente 112
47. Spessartine : le grenat méconnu 114
48. Tanzanite : le ciel bleu des Massaïs 116
49. Tourmaline : une palette de gemmes 118
50. Tsavorite : le grenat vert 120

LES INDUSTRIELLES

51. Apatite : la pierre de phosphore	124
52. Aragonite : le minéral qui se fait perle.....	126
53. Baryte : un minéral de poids	128
54. Calcite : le minéral aux 2 544 formes	130
55. Cassitérite : l'alliée du bronze.....	132
56. Cuivre : métal de guerre, métal de l'industrie	134
57. Cuprite : la fleur de cuivre	136
58. Cyanite : une mesure géologique.....	138
59. Diaspore : un résidu de roche.....	140
60. Fer : tombé du ciel	142
61. Goethite : la pierre du poète	144
62. Gypse : la pierre à plâtre	146
63. Halite : le sel gemme.....	148
64. Hématite : pierre de miroir, pierre de sang	150
65. Muscovite : la pierre en feuilles.....	152
66. Orpiment : le pigment d'or	154
67. Orthose : au cœur du granite.....	156
68. Pollucite : un jumeau esseulé.....	158
69. Pyrite : l'or des fous	160
70. Pyrrhotite : la maladie des sulfures de fer	162
71. Riebeckite : un minéral amphibologique	164
72. Rutile : le minerai de l'aéronautique.....	166
73. Scheelite : la pierre de lumière	168
74. Sidérite : le meilleur fer	170
75. Sphalérite : un métal qui sait se cacher	172
76. Stilbite : la première pierre bouillante.....	174

LES CURIOSITÉS

77. Adamite : bien loin de l'éveite	178
78. Apophyllite : le joyau des tunnels.....	180
79. Axinite : la gemme des Alpes françaises	182
80. Benitoite : dans les forêts de Californie	184
81. Béryl : la loupe de Néron	186
82. Brazilianite : la pierre du Brésil	188
83. Célestine : le rouge des feux d'artifice	190
84. Cérusite : le blanc de Saturne	192
85. Crocoïte : le minéral de Tasmanie.....	194
86. Cumengeite : à l'origine de l'épitaxie....	196
87. Cuprosklodowskite : en l'honneur de Marie Curie	198
88. Danburite : une gemme délaissée	200
89. Diopside : un minéral classique, une gemme nouvelle.....	202
90. Dioptase : l'émeraude de cuivre	204
91. Euclase : la parfaite fracture.....	206
92. Francevillite : une découverte fortuite	208
93. Jeremejevite : une gemme boratée	210
94. Phenacite : l'affaire des (faux) diamants	212
95. Plancheite : une nouvelle gemme ? ...	214
96. Pyromorphite : un minéral et ses noms	216
97. Rhodizite : un minéral de pegmatite ...	218
98. Titanite : la pierre aux mille arcs-en-ciel.....	220
99. Vanadinite : la belle marocaine.....	222
100. Vésuvianite : la pierre révélée par un volcan.....	224
101. Vivianite : un problème de conservation	226

GLOSSAIRE	228
LE TABLEAU DE MENDELEÏEV	232
POUR ALLER PLUS LOIN	234
INDEX	235
CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES	240

LE MONDE DES MINÉRAUX

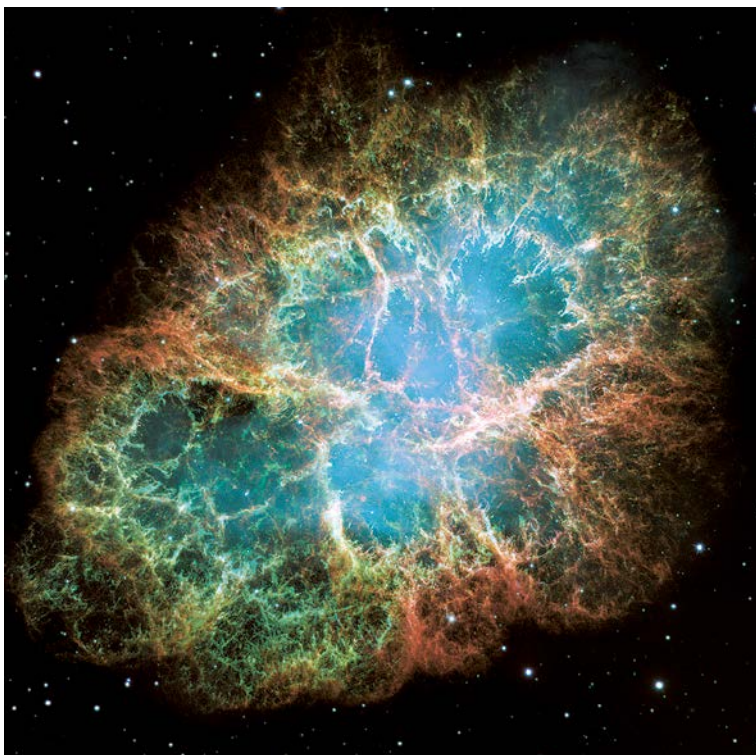
Nous le côtoyons sans cesse, nous le foulons de nos pieds. Il s'offre à notre vue, majestueux, dans les montagnes, les falaises et les gouffres... Et pourtant le règne minéral est, des trois règnes de la Nature, celui qui nous reste le plus mystérieux. Ce constat concerne surtout ses objets premiers, les minéraux, la plupart du temps minuscules et invisibles. Leurs plus merveilleux représentants, les cristaux, sont enfouis et tapis dans de rares filons, grottes, miaroles, druses, géodes, fentes alpines, fours, poches ou cryptes à cristaux. Ils sont activement recherchés, mais leur découverte a longtemps été le fruit du hasard. Le monde souterrain n'était-il pas la demeure de divinités malicieuses ou maléfiques comme Kobolt en Allemagne ou El Tio en Bolivie ? Que savons-nous aujourd'hui de ces antres cristallisées ?

LA NAISSANCE DE LA TERRE

Il faut bien reconnaître que trouver des cristaux est, aujourd'hui encore, complexe. Cependant, depuis la fin du XVIII^e siècle, nous avons appris beaucoup de choses sur le monde souterrain. À défaut de savoir exactement où trouver les minéraux, on sait mieux comment ils se sont formés et quels sont les indices favorables pour les trouver. Pour y arriver, il a fallu tout d'abord comprendre la formation de la Terre – non pas en regardant le sol, mais en levant les yeux vers le ciel, vers les planètes, astéroïdes, comètes et poussières qui peuplent notre Système solaire. Il a fallu aussi remonter un peu plus dans le temps et observer au-delà de notre système. On y voit des nuages gazeux d'hydrogène et d'hélium, des étoiles qui naissent, d'autres qui meurent, ainsi que les vestiges de leur explosion finale où l'on trouve des poussières contenant les éléments chimiques produits par fusion, du lithium à l'uranium. C'est dans un nuage gazeux enrichi de poussières qu'est né, il y a un peu moins de 4,6 milliards d'années, notre Système solaire. Les minéraux des poussières sont peu nombreux, une vingtaine à peine, car ils doivent être résistants aux températures et pressions qui règnent lors des explosions : le diamant, stable à hautes pressions et températures, pourrait être le premier minéral apparu ; puis viennent le graphite, des alliages de fer et de nickel, le corindon, le rutil, des spinelles, un peu de silicates, des carbures et nitrures. Peu après, entre 4,567 et 4,561 milliards d'années, sous l'effet de la gravitation, le nuage gazeux s'effondre, les atomes d'hydrogène fusionnent en atomes d'hélium, le Soleil s'allume. Les

poussières proches du Soleil fondent sous la chaleur et se concentrent en gouttelettes qui, une fois refroidies, deviennent des petites billes appelées chondres. De nouveaux minéraux apparaissent, ils sont alors près de 90 : on y trouve de nouveaux silicates de magnésium (olivine et pyroxènes) et la troïlite, un sulfure de fer. Des corps de plus en plus gros croissent. Tout d'abord des chondrites, que l'on connaît bien car elles représentent la majorité des météorites qui tombent sur Terre. Ensuite, à partir de quelques centaines de kilomètres de diamètre, sous les effets conjugués de la gravitation et d'éléments radioactifs, la matière fond, le fer et le nickel migrent au centre, pour former un noyau entouré d'un « manteau » enrichi en oxydes et/ou en silicates.

De petites planètes sont en train de naître, 65 nouveaux minéraux apparaissent. Elles s'impactent parfois pour former des corps plus grands, des planètes. C'est ainsi que la Terre s'est formée, il y a un peu plus de 4,5 milliards d'années. Elle compte alors 400 minéraux environ, dont le zircon, la titanite et les feldspaths. Son histoire minérale n'est pas finie, car de grandes masses, plus ou moins fondues, sont mises en mouvement et ne cessent de bouger. Entre 4,55 et 3 milliards d'années, plusieurs événements majeurs président à la naissance de nouveaux minéraux : le début de l'activité magmatique et la formation d'une croûte de roches basiques à ultra basiques surtout, notamment de basaltes ; puis le volcanisme et la vapeur d'eau qu'il relâche, qui se condense et hydrate la planète. Les premiers granites se mettent en place vers 3,5 milliards d'années, avec leurs béryl, tourmaline, spodumène et topaze. Ces phénomènes apportent près de 2 800 nouveaux minéraux



Nébuleuse du Crabe

DE L'EAU SUR TERRE... DE LA VIE !

À ce stade, la Terre et Mars se distinguent des planètes et satellites rocheux plus petits comme Mercure ou la Lune, qui n'ont pas pu retenir l'eau et les autres gaz, et où l'on n'identifie que 350 minéraux différents.

Entre 3,5 et 2,5 milliards d'années environ, de grandes plaques, les plaques tectoniques, se mettent en mouvement. Les jadéite, andalousite, sillimanite et disthène ainsi que des sulfures entrent en lice. La Terre compte maintenant près de 3 000 minéraux.

À nouveau, la Terre se distingue des autres planètes puisqu'en marge de ces phénomènes, la vie apparaît discrètement au fond de l'eau, vers -3,9 milliards d'années. L'oxygène produit par les bactéries se combine tout d'abord avec le fer dissous dans les océans. Il s'échappe ensuite dans l'atmosphère, à partir de 2,4 milliards d'années. Ce gaz est corrosif, il attaque les roches et les êtres vivants. C'est le début de la « grande oxydation ». La Terre s'enrichit peu à peu de 2 600 minéraux environ. Ce nombre augmente avec la diversification de la vie. À partir de 542 millions d'années, près d'une centaine de nouveaux minéraux, directement issus de processus liés au vivant, voient le jour.

Les activités humaines annoncent une nouvelle ère. Sa naissance fait débat : certains voudraient qu'elle commence avec la disparition des grands animaux, entre -50 000 et 10 000 ans, tandis que d'autres la situent vers 1950 ! On dénombre à ce jour plus de 600 minéraux anthropogéniques.

UN MONDE TOUJOURS EN MOUVEMENT

Aujourd'hui encore, la Terre est en mouvement et se transforme. Sa couche extérieure rigide, la lithosphère, est fine. Elle ne représente au mieux que 2 % du rayon de la planète. Elle est affectée par les mouvements de roches chaudes visqueuses sous elle. Des remontées de roches fondues, appelées magmas, la fondent localement. Les plaques se brisent, se déplacent, se heurtent ou s'enfoncent sous terre. Des océans apparaissent, d'autres disparaissent, des montagnes s'érigent, des volcans s'éveillent, le tout agité par de terribles tremblements de terre. Le contour des océans et des continents n'est pas fixe. Ce que l'on connaît aujourd'hui est différent de ce qui existait avant. Voilà 250 millions d'années, il n'y avait qu'un seul supercontinent, la Pangée. D'ici quelques dizaines de millions d'années, la Méditerranée aura disparu sous l'avancée de l'Afrique. Tous ces phénomènes d'origine profonde sont favorables à l'apparition de minéraux, mais ils ne sont pas les seuls. L'atmosphère, l'eau, la chaleur, l'activité vivante et d'autres phénomènes de surface contribuent aussi à la genèse des minéraux. La pluie

entretient la circulation d'eau dans le sous-sol. Les accumulations de matériaux d'origine animale ou végétale créent de nouvelles roches. Les bactéries altèrent et transforment certains minéraux. L'eau, le vent et les racines des arbres, entre autres, participent à l'érosion des reliefs et rendent accessibles des roches et des minéraux qui, sans eux, seraient demeurés cachés. Dans ce monde en mouvement, des sites que l'on appelle gîtes ou gisements concentrent des minéraux recherchés. Passons en revue quelques-uns d'entre eux.

LES VOLCANS : ASCENSEURS À DIAMANTS ET CRÉATEURS DE FILONS D'OR

Le magma remonte à la surface dans les cheminées plus ou moins profondes des volcans. Proche de la surface, la pression diminue et les gaz initialement dissous dans le magma s'en échappent pour former des bulles qui éclatent à la surface et provoquent des projections.

Dans certains volcans, la cheminée plonge au travers de la lithosphère ; il n'y a alors pas d'obstacle à la remontée rapide de minéraux formés à grande profondeur, comme le diamant, stable au-delà de 100 km. S'il est remonté lentement, il se transforme en graphite. Or la majorité des volcans n'ont pas de cheminée profonde. Le magma s'accumule sous eux dans une chambre magmatique. Quelques miné-

raux se forment précocement alors qu'une grande partie de la lave est encore liquide : les plus denses tombent au fond de la chambre et les moins denses remontent. Dans le lac de lave du Mont Erebus (Antarctique), par exemple, on voit flotter des cristaux de feldspath. Dans le cas de la magnétite ou de la chromite, les cristaux denses s'accumulent au fond de la chambre. On retrouve des minéraux précoces dans les coulées et les épanchements de lave, vite refroidis. Les cristaux de feldspath d'Auvergne sont emprisonnés dans une lave solidifiée.



*Lac de lave
(Erta Ale, Éthiopie)*



Mine de diamant (Yakoutie, Russie)

l'exhalaison de solutions chaudes riches en sulfures. Ce type d'exhalaison est à l'origine de gisements, comme les amas sulfurés qui sont des accumulations parfois énormes de sulfures de fer, de cuivre et de zinc.



Fumerolles

Une autre manifestation des volcans est le rejet de gaz chauds au travers d'évents que l'on appelle les fumerolles. Certains sont tapissés de dépôts plus ou moins cristallisés de soufre ou autres minéraux. Les bulles piégées lors du refroidissement ou les vides divers laissés par la circulation des gaz, l'écoulement de la lave ou les laves « en coussins » formées en milieu marin, sont autant d'écrins où se développeront de futurs minéraux. Les fumeurs noirs des volcans sous-marins des rides océaniques sont caractérisés par

De nombreux filons d'or, d'argent et d'autres métaux recherchés, comme ceux de l'ouest des États-Unis, ont pour origine les fluides générés par l'activité volcanique. Certaines accumulations de sels sont aussi d'origine volcanique. C'est le cas des salars andins que l'on trouve en Bolivie, en Argentine et au Chili.

QUAND LE MAGMA SE REFROIDIT : LA NAISSANCE DES CRISTAUX GÉANTS

Le magma n'atteint pas toujours la surface : il reste souvent piégé et se refroidit plus ou moins lentement selon la profondeur. Au cours de ce refroidissement, les minéraux cristallisent selon un ordre bien défini. Et la partie périphérique qui n'est pas encore solidifiée s'enrichit petit à petit en fluides comme l'eau, le chlore ou le fluor, en éléments légers comme le bore, le béryllium ou le lithium ou en éléments rares comme l'uranium, le tantale ou les terres rares, qui n'entrent pas dans les minéraux déjà formés. À la fin de la solidification du magma, cette partie enrichie en gaz et en éléments légers et/ou rares atteint de fortes pressions qui fissurent les roches environnantes. Elle s'injecte et se solidifie dans les fissures périphériques. C'est ainsi que se forment les pegmatites. Elles sont caractérisées par des cristaux de grandes dimensions, du centimètre à plus de dix mètres.

Si le gaz reste emprisonné, il forme des poches qui permettent aux cristaux de croître sans être gênés. Ces « bulles » aux parois tapissées de cristaux libres sont les célèbres miaroles, druses, cryptes, fours, géodes ou poches à cristaux. La plupart des pegmatites connues sont liées au granite, la roche majoritaire sur les continents, composée de feldspath, de quartz et de mica. Le terme de pegmatite, utilisé seul, sous-entend ce type. Dans les autres cas, plus rares, on mentionne la roche à laquelle la pegmatite est liée.

Les pegmatites du Brésil, des États-Unis, de Madagascar, de Russie, du Pakistan et d'Afghanistan sont la source de pierres précieuses et de cristaux : toutes les variétés de béryls sauf l'émeraude, les tourmalines, la topaze, la kunzite, des silicates rares comme la pollucite, les borates comme la jeremejevite, de nombreux phosphates comme la brazilianite et des oxydes comme le tantalite.



Salar d'Uyuni (Bolivie)

UNE ROCHE S'ENFOUIT, DES MINÉRAUX APPARAISSENT

Une roche n'est pas éternelle. Sa texture et/ou sa composition minérale peuvent se transformer, à l'état solide, sans fusion donc, par l'élévation de la température et/ou de la pression, avec souvent l'aide de l'eau. Ce phénomène s'appelle le métamorphisme. Il apparaît de manière systématique avec l'enfouissement. Comme il affecte des zones importantes on parle de métamorphisme général ou régional. À une pression et une température données, des roches et des minéraux bien spécifiques sont stables. Suivant la roche de départ on obtient des roches métamorphiques différentes. À partir d'une argile, par exemple, on obtient des schistes, puis des micaschistes et enfin des gneiss. Au-delà, une fusion plus ou moins partielle s'opère. La séquence carbonatée est plus simple : à partir de craie fragile et friable, par exemple, le métamorphisme engendre un marbre consistant et compact. De nombreux minéraux sont typiques du métamorphisme général. C'est le cas de l'andalousite, de la cyanite, de la tanzanite, de la cordierite, de la jadéite et du grenat almandin des micaschistes.

UNE ENVELOPPE RICHE EN MINÉRAUX

Le métamorphisme de contact est lié aux roches magmatiques qui se sont introduites dans des terrains encaissants préexistants. Il est associé à l'élévation de température. Lorsque le magma est granitique et que les roches encaissantes sont calcaires, il peut former un skarn. Son épaisseur varie de quelques centimètres à plusieurs dizaines de mètres. Un skarn est souvent riche en minéraux à calcium comme les grenats grossulaires, la vésuvianite, l'épidote et la prehnite. Le contact entre une roche granitique et une autre contenant du chrome, comme une serpentine, est favorable à la formation des émeraudes, dites « à mica ». Les spinelles et rubis des marbres de Mogok (Myanmar) sont aussi des minéraux du métamorphisme de contact.

L'HYDROTHERMALISME : MISE EN SOLUTION, TRANSPORT ET DÉPÔT

On parle d'hydrothermalisme lorsque la température de l'eau est comprise entre 100 et 400 °C. La circulation de cette eau chargée en éléments dissous extraits des roches traversées va provoquer la cristallisation de minéraux dans les cavités disponibles. Ces eaux sont souvent des eaux d'infiltration venant de la surface. Comme la température augmente avec la profondeur, on distingue les gîtes à basse (50 à 200 °C), moyenne (200 à 300 °C) et haute température (au-delà de 300 °C).

Les gîtes hydrothermaux se présentent sous la forme de filons ou de « fours à cristaux » comme les fentes alpines ou les cavités des basaltes.