

Minéraux & Fossiles

LE MENSUEL DES PASSIONNÉS EN GÉOSCIENCES



Événement :
Paris mars 2009



Plein feu sur
la crocoïte (2)



Le Ladinien
et ses fossiles (2)



Minéral :
bournonite



Étage :
Bathonien



QUARTZ tronqués

Quand les cristaux perdent la tête

À côté d'échantillons exceptionnels, que l'on peut admirer même si leur prix mes rends inaccessibles, les grandes bourses minéralogiques ont l'avantage de présenter une profusion de cristaux de petite taille, qui illustrent de façon saisissante les différences morphologiques qui peuvent exister au sein d'une même espèce. Jean Baptiste de Romé de l'Isle, nous a enseigné (après Stenon) que, dans un cristal, seuls les angles interfaciaux ont une valeur constante et caractéristique. Se déplaçant parallèlement à elles-mêmes, les faces ont tout loisir de se déplacer parallèlement à elles mêmes, conduisant à des formes - les minéralogistes parlent de faciès ou d'habitats - qui, à première vue, peuvent paraître très dissemblables. Il y a en outre de nombreux phénomènes annexes, formes de croissance interrompue ou de dissolution, inclusions, cassures et régénération..., qui ont une influence marquée sur la forme des cristaux. Tous ces phénomènes, que D. P. Grigoriev, professeur à l'École des Mines de Saint-Petersbourg, a décrits dans un livre qu'il a appelé *L'ontogénie des minéraux* (écrit en russe, mais il existe une rare traduction en anglais), forment un sujet fascinant, insuffisamment étudié dans la minéralogie moderne. Cherchant surtout à découvrir de nouvelles espèces, celle-ci s'intéresse en premier lieu à la détermination des formes idéales, théoriques, ignorant tout ce qui peut perturber ce bel édifice. Or ces perturbations peuvent nous apporter des informations essentielles sur les conditions ou le milieu de formation des cristaux. Le meilleur exemple en est donné par l'un des minéraux les plus communs, mais aussi le plus spectaculaire, le quartz, vedette de toutes les bourses.

Jacques Touret

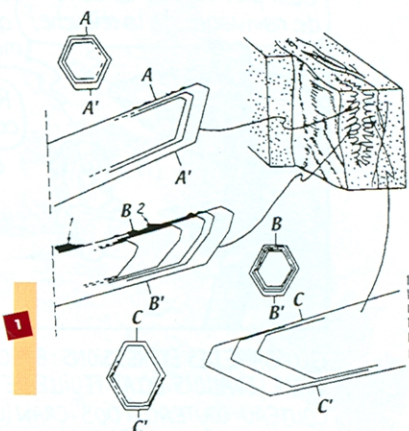
Musée de minéralogie
de l'École des Mines de Paris
(ABC Mines)

Décrire toutes les formes possibles du quartz nécessiterait des centaines de pages, ce qui n'a pas rebuté quelques auteurs - la référence restant le traité de R. Rykart, *Quartz Monographie*, Ott Verlag, Thun (Suisse), paru d'abord en allemand (1991, seconde édition en 1998), puis en anglais (1995). Certaines variations de forme sont facilement explicables ; c'est notamment le cas de l'**habitus** dit « dauphinois », caractérisé par un développement dissymétrique de la pyramide terminale. Particulièrement bien représenté dans le célèbre gisement de La Gardette, près de Bourg d'Oisans, cet habitus se produit lorsque des cristaux poussent à peu près horizontalement dans une fissure sub-verticale. Des particules

diverses (minéraux, germes en voie de cristallisation) tombent sous l'effet de la gravité dans le milieu fluide remplissant la fissure, se déposant sur les faces supérieures et gênant leur croissance (fig. 1). Celles-ci seront donc plus petites et irrégulières, avec des cristallisations secondaires de taille variable, alors que les faces inférieures, protégées de la chute de ces débris, seront plus grandes et parfaitement lisses. On peut ainsi retrouver la verticale au moment de la croissance cristalline, par un « fil à plomb géologique » qui, dans le cas des Alpes, a permis de mettre en évidence des mouvements de bascule de blocs du socle au moment de l'avancée des nappes (travaux de B. Poty dans les années 1960).

Certaines morphologies sont caractéristiques d'un certain environnement, sans que l'on puisse très clairement en expliquer la cause. Toujours dans les Alpes, on a ainsi une évolution spectaculaire d'ouest en est, depuis les zones externes (Pré-Alpes), jusqu'aux zones internes forte-

Mode de formation
des quartz à habitus
dauphinois (type
La Gardette).
d'après Grigoriev, 1960



Quand les cristaux perdent la tête

À côté d'échantillons exceptionnels, que l'on peut admirer même si leur prix mes rends inaccessibles, les grandes bourses minéralogiques ont l'avantage de présenter une profusion de cristaux de petite taille, qui illustrent de façon saisissante les différences morphologiques qui peuvent exister au sein d'une même espèce. Jean Baptiste de Romé de l'Isle, nous a enseigné (après Stenon) que, dans un cristal, seuls les angles interfaciaux ont une valeur constante et caractéristique. Se déplaçant parallèlement à elles-mêmes, les faces ont tout loisir de se déplacer parallèlement à elles mêmes, conduisant à des formes - les minéralogistes parlent de faciès ou d'habitats - qui, à première vue, peuvent paraître très dissemblables. Il y a en outre de nombreux phénomènes annexes, formes de croissance interrompue ou de dissolution, inclusions, cassures et régénération..., qui ont une influence marquée sur la forme des cristaux. Tous ces phénomènes, que D. P. Grigoriev, professeur à l'École des Mines de Saint-Petersbourg, a décrits dans un livre qu'il a appelé *L'ontogénie des minéraux* (écrit en russe, mais il existe une rare traduction en anglais), forment un sujet fascinant, insuffisamment étudié dans la minéralogie moderne. Cherchant surtout à découvrir de nouvelles espèces, celle-ci s'intéresse en premier lieu à la détermination des formes idéales, théoriques, ignorant tout ce qui peut perturber ce bel édifice. Or ces perturbations peuvent nous apporter des informations essentielles sur les conditions ou le milieu de formation des cristaux. Le meilleur exemple en est donné par l'un des minéraux les plus communs, mais aussi le plus spectaculaire, le quartz, vedette de toutes les bourses.

Jacques Touret

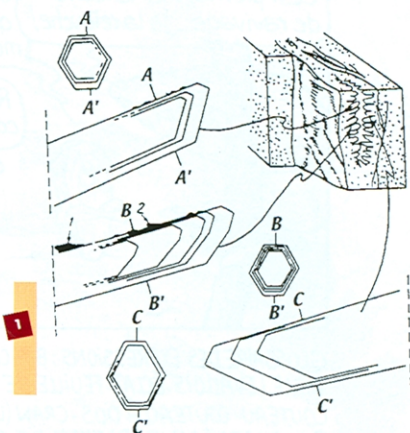
Musée de minéralogie
de l'École des Mines de Paris
(ABC Mines)

Décrire toutes les formes possibles du quartz nécessiterait des centaines de pages, ce qui n'a pas rebuté quelques auteurs - la référence restant le traité de R. Rykart, *Quartz Monographie*, Ott Verlag, Thun (Suisse), paru d'abord en allemand (1991, seconde édition en 1998), puis en anglais (1995). Certaines variations de forme sont facilement explicables ; c'est notamment le cas de l'**habitus** dit « dauphinois », caractérisé par un développement dissymétrique de la pyramide terminale. Particulièrement bien représenté dans le célèbre gisement de La Gardette, près de Bourg d'Oisans, cet habitus se produit lorsque des cristaux poussent à peu près horizontalement dans une fissure sub-verticale. Des particules

diverses (minéraux, germes en voie de cristallisation) tombent sous l'effet de la gravité dans le milieu fluide remplissant la fissure, se déposant sur les faces supérieures et gênant leur croissance (**fig. 1**). Celles-ci seront donc plus petites et irrégulières, avec des cristallisations secondaires de taille variable, alors que les faces inférieures, protégées de la chute de ces débris, seront plus grandes et parfaitement lisses. On peut ainsi retrouver la verticale au moment de la croissance cristalline, par un « fil à plomb géologique » qui, dans le cas des Alpes, a permis de mettre en évidence des mouvements de bascule de blocs du socle au moment de l'avancée des nappes (travaux de B. Poty dans les années 1960).

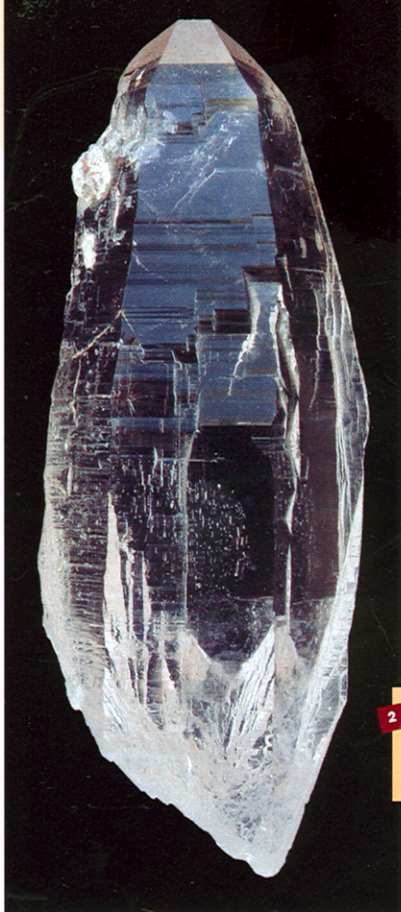
Certaines morphologies sont caractéristiques d'un certain environnement, sans que l'on puisse très clairement en expliquer la cause. Toujours dans les Alpes, on a ainsi une évolution spectaculaire d'ouest en est, depuis les zones externes (Pré-Alpes), jusqu'aux zones internes forte-

Mode de formation
des quartz à habitus
dauphinois (type
La Gardette).
d'après Grigoriev, 1960



ment métamorphiques de la culmination simplio-tessinoise, en Suisse et en Italie. À l'ouest, où les températures n'ont pas dépassé 300 à 400 °C, on a d'abord des quartz limpides bipyramidés, tels que ceux que l'on trouve dans les **septarias** de la Drôme, qui passent à de spectaculaires « quartz-fenêtres », dont les plus célèbres sont ceux du Val d'Illeiez, dans le Valais suisse. Puis vient une large zone sans caractère bien particulier, sinon le faciès dauphinois décrit ci-dessus, et enfin, lorsque dans les zones internes les températures du métamorphisme alpin ont atteint, voire dépassé 500 °C, l'habitus « tessinois », caractérisé par une courbure progressive des arêtes du prisme et une striation marquée sur les faces (**fig. 2**).

Les spécialistes de l'étude des inclusions fluides, à Nancy (Bernard Poty), puis à Bâle (Joseph Mullis), ont établi une relation remarquable entre ces différentes formes des cristaux et la composition des fluides contenus dans les inclusions : pour les quartz à fenêtres, eau et méthane, la plupart du temps en inclusions séparées (fluides immiscibles), puis eau plus ou moins salée dans le faciès dauphinois, et enfin mélange homogène (fluides miscibles d'eau et de CO₂) dans les quartz à habitus tessinois. Sans que l'on puisse clairement en expliquer les raisons profondes, cette règle n'a jamais connu d'exception. Elle montre une évolution progressive de la composition des fluides alpins, qui se concentrent dans des fissures ouvertes lors des déformations tectoniques régionales et qui, par refroidissement ou (surtout) baisse de pression, déposent les précieux cristaux. Il est intéressant de noter que ces compositions reflètent fidèlement l'oxydation progressive de graphite (provenant des anciennes matières organiques contenues dans les sédiments) en présence d'eau, à pression et température croissantes. À cette tendance générale se superposent de nombreux phénomènes annexes



Quartz à habitus tessinois, Alpes suisses. Hauteur : 6 cm.
coll. J. T., photo P. Lebrun

(dissolution d'anciennes roches évaporitiques, migration de fluides le long de failles profondes) qui entraînent une grande complexité de détail, mais qui ne remettent pas en cause cette grande tendance générale que, en dehors des Alpes, on retrouve dans tous les orogènes de collision, notamment l'Himalaya.

Mode de formation des « fentes alpines »

En résumé, la croissance des cristaux de type alpin résulte donc de l'ouverture en profondeur d'une fissure, qui donnera la « veine » ou les « fours » si recherchés par les cristalliers. On sait maintenant que cette ouverture est un phénomène brutal, instantané, expression en profondeur d'un tremblement de terre ressenti à la surface. La meilleure preuve en est donnée par les « quartz à âme » (*fadenquartz* des auteurs allemands), dénommés « paléosismographes » par R. Rykart.



3

Fente Alpine avec quartz à âme, Val d'Illiez, Suisse.

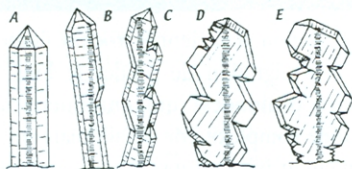
photo et coll. J. Mullis

L'âme, qui est en fait une mince colonne de quartz contenant plus de 50 % d'inclusions fluides, se forme très rapidement, voire instantanément, lors de l'ouverture de la fissure. On a dit que ce phénomène se produit dans un fluide **métastable**, un peu comme les trajectoires induites par

Divers types de quartz à âme. D et E : passage aux quartz peignés ou vrillés.

d'après R. Rykart

4



Quartz vrillés du Pakistan. Longueur : 7 cm.

coll. J. T., photo P. Lebrun

5

des particules dans une chambre à bulles. Cette âme forme une sorte de pilier connectant les deux lèvres de la fissure, puis sert de germe pour la croissance ulté-

rieure du cristal. Celui-ci est parfois plat, donnant les formes en « sucres » si recherchées par les cristalliers des Alpes, avec la torsion caractéristique des « gwindle » des cristalliers suisses. Le gwindle est « fermé » (arêtes latérales continues), ou « ouvert », avec la formation de cristaux secondaires perpendiculaires ou légèrement obliques sur la direction de l'âme. Lorsque les cristaux atteignent une taille décimétrique, on a les formes en peigne, fréquentes pour les quartz fumés du massif du Mont-Blanc. Des chercheurs tchèques ont fait appel à la piézoélectricité du quartz pour expliquer l'écart angulaire constant entre deux cristaux secondaires successifs, conduisant à de spectaculaires quartz « vrillés » (fig. 3, 4 et 5), avec un angle total de rotation qui atteigne des valeurs très élevées.

Toute cette évolution prend un certain temps (difficile à fixer de façon précise, probablement de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines d'années), pendant lesquelles les fluides vont progressivement se refroidir. On couvre une gamme de température de l'ordre de 200 °C (typiquement, dans les Alpes externes, de 400 à 200 °C), avec le dépôt successif, toujours dans le même ordre, de silicates, carbonates et, enfin, zéolites. Toujours dans les Alpes externes, les premières venues de fluides sont très chargées en **chlorite**



(notamment la **ripidolite**, une chlorite verte alpine), qui se dépose et est incorporée dans les premières couches de croissance du quartz. Induits par le lent déplacement des plaques en collision, les tremblements de terre peuvent se répéter, sur des durées qui dépassent souvent le million d'années. Il peut y avoir réouverture des fissures, avec irruption d'une nouvelle venue de fluides qui, si les conditions régionales n'ont pas été modifiées, aura sensiblement la même composition que le fluide initial. Il sera plus chaud que



6

Figures de corrosion sur une face de la pyramide terminale d'un quartz de Diamantina, Minas Gerais, Brésil. Hauteur : 10 cm. coll. J. T., photo P. Lebrun

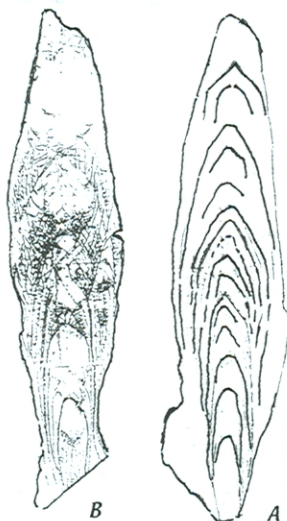


7

Figures de corrosion sur l'ensemble du prisme hexagonal d'un quartz de Fiesch, Valais, Suisse. Long. : 15 cm. coll. ENSMP-1058, photo J.-M. Le Cléac'h

le stade terminal de la phase précédente, donc tendra à dissoudre les phases minérales déposées à plus basse température. Le quartz lui-même, qui se dépose sur une gamme de température dépassant une centaine de degrés, pourra être affecté, avec des figures de corrosion qui persistent si, pour une raison ou une autre, l'apport de fluides se trouve brutalement interrompu (fig. 6 et 7). Si, au contraire, l'évolution poursuit son cours normal, il y aura dépôt d'une nouvelle couche de quartz puis, éventuellement, formation du même assemblage de minéraux plus tardifs. Opération qui pourra se répéter à de nombreuses reprises, au gré des réouvertures successives des fissures. C'est ainsi que se forment les structures « fantômes », souvent matérialisées par des dépôts chloriteux ou révélées par irradiation. Certains exemples sont spectaculaires ; dans les célèbres quartz verts (*prases*) de Sérifos

(Grèce), par exemple, on a pu identifier une bonne vingtaine de couches successives, toutes exactement produites dans les mêmes conditions de pression et de température (fig. 8).



8

Coupes schématiques dans un cristal *prase* de Sérifos (Grèce) montrant les emplacements majeurs d'inclusions fluides (A) et les couches successives de croissance – près d'une vingtaine au total (B).

thèse C. De Groot, université d'Utrecht, Pays-Bas



Quartz suturé et datolite de Dalnegorsk, Sibérie extrême-orientale. Longueur du plus grand cristal : 12 cm. coll. J. T., photo P. Lebrun

Cristaux tordus, clivés ou tronqués

Ce sont les inclusions fluides, emprisonnées dans tout cristal de quartz qui permettent de retrouver et de comprendre toutes les étapes des scénarios évoqués ci-dessus. Elles sont, soit « primaires », emprisonnées dans des **lacunes** de croissance, soit « secondaires », formées dans des cassures immédiatement cicatrisées par la poursuite de la croissance du minéral hôte. Ces cassures, très fréquentes, se produisent lors de déformations tectoniques ou, beaucoup plus couramment, lorsqu'un cristal en cours de croissance vient buter sur un obstacle (paroi de la fissure, autre cristal...). On a alors des cristaux courbes, « tordus », avec une morphologie différente de celle des quartz vrillés, car l'angle de courbure, quelconque en fonction des obstacles ren-

contrés, se marque surtout dans la direction d'allongement des cristaux, et non pas dans une direction perpendiculaire comme pour les gwindles ou quartz vrillés.

D'autres cristaux sont affectés par un véritable clivage, bien que, dans tout livre de minéralogie, l'absence de clivage soit présenté comme une caractéristique du quartz. Mais on sait maintenant qu'un clivage peut apparaître lors des très fortes pressions (de l'ordre du mégabar) engendrées lors d'impacts météoritiques. C'est notamment le cas du célèbre quartz clivé de Saint-Paul-la-Roche (Limousin) qui a malheureusement complètement disparu dans les fours des porcelainiers de Limoges. Il aurait été bien intéressant de savoir dans quelles conditions le méga-impact, lié à la chaîne d'impacts planétaires de Rochechouart-Manicouagan, a pu générer une énorme pyramide de plusieurs mètres, bien visible sur le front de taille à la fin des années 1980, mais qui a disparu comme le reste du filon, sacrifiée aux intérêts à court terme des appétits industriels.

Enfin, et c'est cela surtout qui va maintenant nous intéresser, d'autres cristaux sont littéralement sectionnés par un plan unique, le plus souvent sensiblement perpendiculaire à l'allongement, parfois légèrement oblique, avec un angle variant de quelques degrés d'un cristal à l'autre. C'est ce que j'appelle ici des cristaux « tronqués » que j'ai découverts pour la première fois à Sainte-Marie-aux-Mines en 2003, sur le stand de Yannick Calonge, de Combloux, bien connu des amateurs de cristaux alpins ou himalayens. Il s'agissait d'une trouvaille faite en 2001 sur les pentes de la pointe du Rozet, dans le massif de la Lauzière, haut lieu de la minéralogie alpine. L'endroit est surtout connu pour d'exceptionnelles anatases mais, à une centaine de mètres en dessous de l'endroit où, quelques années auparavant, avaient été découvertes quelques-unes des plus belles anatases du « col de la Made-

leine », Yannick découvrit une longue fissure très redressée, sensiblement parallèle à une grande fracture bien visible sur le flanc Est de la pointe du Rozet. Aux contours assez mal définis, cette fracture était surtout remplie de cailloux éboulés et de masses de quartz laiteux, mais contenait aussi quelques jolis, mais petits quartz chloriteux, dont les deux échantillons décrits ci-dessous. Il me fallut un certain temps pour comprendre que ces quartz tronqués sont moins rares qu'il n'y paraît, surtout lorsque l'on prend en compte ceux pour lesquels une reprise de croissance a fait disparaître la troncature, en laissant subsister une cicatrice, qui peut se répéter à plusieurs reprises. C'est ce qui se passe notamment pour les quartz à **datolite** du célèbre gisement de Dalnegorsk, en Sibérie extrême-orientale, dans lesquels des plans parallèles de fractures apparaissent de façon assez systématique (fig. 9 et 10). Ces plans n'affectent que le quartz, non les cristaux terminaux de datolite, montrant que les épisodes de fracturation ont été antérieurs au dépôt des derniers cristaux de la paragenèse. Plus récemment, à la bourse du Marriott Paris de décembre 2008, j'ai retrouvé quelques échantillons de quartz tronqués, toujours

sur le stand de Yannick Calonge, décidément spécialiste de cette morphologie particulière du quartz, mais provenant cette fois du Népal. Cristaux très chloriteux, d'une forme triangulaire très allongée (faciès Muzo) avec parfois une reprise secondaire de quartz incolore sur une partie de la troncature. D'autres cristaux, plus petits, montraient un cristal aplati d'albite dans une position similaire.

Les cristaux tronqués de la pointe du Rozet

En ce qui concerne les deux cristaux tronqués de la pointe du Rozet, l'un (Q1) est constitué de deux prismes accolés à la base, d'une taille d'environ 3 cm (fig. 11). D'un côté, la suture est nette, rectiligne, les deux prismes formant un angle d'environ 40°. Il s'agit sans nul doute d'une macle non parallèle, mais l'angle est trop faible pour qu'il s'agisse d'une macle de La Gardette (ou du Japon). Des mesures d'angle plus précises, ainsi qu'une indexation des faces (qui, en raison des faibles informations morphologiques, nécessiterait une analyse aux rayons X) permettrait de savoir s'il s'agit d'une macle de Breithaupt (angle : 48°54'), de

Détail de la figure 9 montrant les lignes de suture parallèles.

coll. J. T., photo P. Lebrun

10





11

Quartz tronqué
de la pointe du
Rozet (Q1).

Hauteur : 3,5 cm.

coll. J. T., photo P. Lebrun

Détail des faces
supérieures, mon-
trant les figures de
corrosion et (en
blanc) des micro-
cristallisations de
quartz secondaire.

coll. J. T., photo P. Lebrun

Vue de face, légèrement
plongeante du même. Noter sur le
prisme de droite les traces de sutures
parallèles à la troncature sommitale.

coll. J. T., photo P. Lebrun



12

12



13

Zwickau (42°17') ou de Goldschmidt (47°43') (M&F, hors série 11, p. 43). De l'autre côté, la base commune des prismes est fortement corrodée, avec de très nombreux cristaux scintillants de chlorite verte pris dans la masse du quartz (fig. 12). Ces chlorites sont abondantes dans toute la base commune des deux prismes, puis ils disparaissent progressivement, pour faire place à un quartz parfaitement limpide. Juste au-dessus de la base commune, le corps des deux prismes est marqué par deux sutures horizontales, en continuité parfaite, qui délimitent une bande d'environ 2 mm d'épaisseur, décalant légèrement le corps des deux prismes. Ces sutures sont parallèles aux plans terminaux, également en parfaite continuité, qui

paraissent cisailer les deux prismes. Des cristaux qui ont perdu la tête, en quelque sorte. À la loupe, on constate que cette surface terminale, qui à l'œil nu paraît trouble et grisâtre, mais qui miroite à la lumière du soleil, est constituée d'une multitude de petits points alternativement verts et blancs. D'une taille inférieure à 0,1 mm, les points verts sont de microcupules tapissées de cristaux de chlorite, alors que les points blancs sont de minuscules recristallisations de quartz plus ou moins laiteux, souvent biterminés, saupoudrés sur la surface de cisaillement. (fig. 13)

L'autre échantillon (Q2) est également constitué de deux individus, comportant également une base corrodée très riche en chlorite, mais accolés de façon tout à fait différente. Il y a cette fois deux surfaces planes de cisaillement, très obliques sur l'allongement des prismes, faisant avec elles un angle d'environ 20° . L'un des deux quartz, qui cette fois ont gardé toute sa tête, est accolé à l'autre suivant l'une de ces surfaces, alors que l'autre est parfaitement dégagée, sensiblement parallèle à l'axe \vec{c} du plus grand des deux cristaux (fig. 14). Pour les deux individus, les faces des pyramides terminales sont parfaitement lisses, alors que celles des prismes sont finement striées, perpendiculairement à l'axe \vec{c} . En revanche, la face de cisaillement libre semble dépolie, montrant quelques irisations colorées lorsqu'on la fait miroiter à la lumière du jour. Sous le microscope, on constate que ces effets optiques sont causés par une très fine striation, suivant deux directions losangiques, donnant des effets lumineux par diffraction du spectre (effet de réseau, comparable à ce qui se passe lorsque l'on observe la surface d'un CD ou DVD). En observant attentivement, on peut même repérer ces deux directions à l'œil nu, par des traits principaux équidistants à une échelle millimétrique (fig. 15).



14

L'interprétation : *Papier-spath* et sismicité

Quartz de la pointe du Rozet (Q2).

Hauteur : 2,8 cm.

coll. J. T., photo P. Lebrun

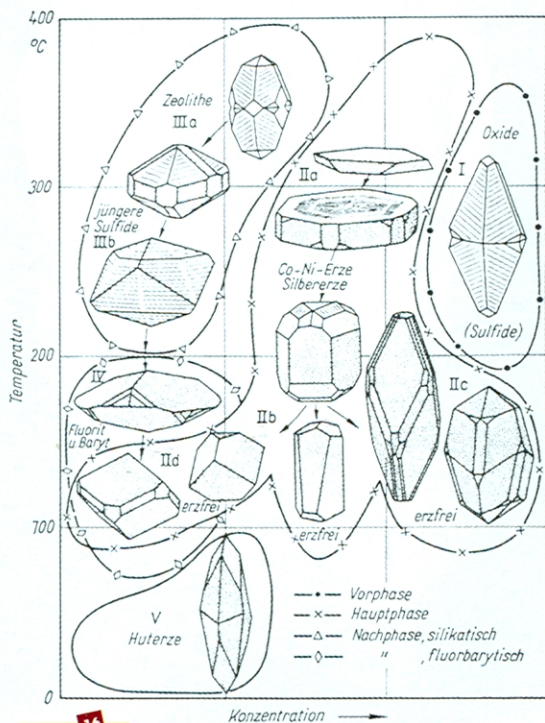
Joseph Mullis, le meilleur spécialiste actuel de la morphologie des quartz alpins, m'a indiqué avoir observé des formes comparables à celles des quartz tronqués de la Lauzière, toujours dans les



15

Face arrière du même, légèrement dépolie, montrant la trace d'un ancien clivage rhomboédrique.

coll. J. T., photo P. Lebrun



16

Morphologie des cristaux de calcite dans les gisements métalliques du Harz, en fonction de la température et de la concentration des solutions minéralisantes.

d'après H.G. Rösler, 4^e ed. 1987, p. 243

« Papierspath » de Dalnegorsk, Russie. Cristaux de 5 cm.

photo Michael Leibov

zones à chlorite des Alpes externes, dans des fentes dont les températures de formations vont (en gros) de 400 à 200 °C. C'est à cette dernière température que se forment les carbonates, minéraux qui comme on le sait sont susceptibles de présenter une très grande variété de formes cristallines. Ces dernières ont fait l'objet d'études détaillées, notamment dans les gisements métallifères du Harz, en Allemagne (travaux de A. Wilke, dans les années 1950) (fig. 16). On a ainsi montré que les formes des cristaux dépendaient de la température et de la concentration des fluides en ions calcium, les fortes concentrations et des températures relativement élevées (de l'ordre de 300 °C) favorisant les cristaux très allongés (faciès en « dents de cochon »). Pour de faibles concentrations et des températures plus faibles (de l'ordre de 200 °C), on a au contraire des cristaux très plats, en « tête de clou », qui dans les formes extrêmes ressemblent à des morceaux de carton, le

« papierspath » des auteurs allemands. Ce papierspath peut former des agrégats complexes (fig. 17), mais dans le cas présent il est logique de penser que de tels cristaux, isolés cette fois, se sont déposés sur les faces supérieures du quartz, empêchant la formation de l'habituel prisme terminal. Cette hypothèse est étayée par la forme rhomboédrique des cupules de dissolution sur les faces de l'échantillon Q1, et surtout par les traces de clivage rhomboédrique sur la face dépolie de l'échantillon Q2. Dans les deux cas, on peut y voir les traces d'un ancien cristal aplati de carbonates, détruit lors de l'arrivée d'une nouvelle pulsion de fluides. Les auteurs russes ont mis en évidence de minuscules traces de carbonates dans certaines sutures des cristaux de Dalnegorsk. Dans des échantillons de nature très différente (quartz à inclusions de rutile de Madagascar), on observe également fréquemment la trace d'anciens minéraux tabulaires, maintenant disparus (fig. 18). Dans ce cas, il s'agit plutôt de feldspath (faciès *cleavelandite*), correspondant à ce qui a été observé pour les quartz du Népal (cf. supra). On voit donc qu'il s'agit d'un phénomène assez courant, mettant en jeu des minéraux qui peuvent être divers, en fonction des conditions de pression ou de température.



17

Dans le cas présent, la succession quartz-carbonates est tellement courante dans les fentes alpines que la nature des minéraux tabulaires qui ont stoppé la croissance du quartz n'est guère douteuse. *A priori*, l'orientation des faces du quartz recouvertes par ces carbonates plats semble quelconque. C'est notamment le cas de la face dépolie de l'échantillon Q2, qui ne correspond pas à une face de croissance du cristal. On peut penser que, lors de sa croissance, le cristal est venu buter sur une face d'un cristal voisin, qui a servi de guide pour le dépôt des carbonates. Le cas des sutures parallèles, que ce soit dans le cas de Q1 ou, surtout, du quartz à datolite de Dalnegorsk, est plus complexe. L'intervalle entre deux sutures consécutives correspond certes à une reprise de croissance après dissolution de carbonates terminaux, mais comment expliquer que l'on retrouve exactement la même orientation, plus de dix fois de suite dans le cas représenté en figures 9 et 10 ? Il est difficile de connaître précisément le temps mis par un cristal pour pousser de quelques millimètres mais, dans les conditions naturelles, l'ordre de grandeur minimum est de quelques années, voire de quelques dizaines d'années. Par ailleurs, si chaque réouverture se produit lors d'un tremblement de terre, il peut se passer des siècles avant qu'un nouvel épisode sismique n'apparaisse. Au total, on doit envisager pour l'ensemble du cristal des durées de quelques siècles, voire de quelques milliers d'années. Si la cause de la face plane est la gêne apportée par un cristal voisin, il est très peu probable que l'on retrouve exactement les mêmes conditions après un temps aussi long. La seule – ou la meilleure – possibilité me paraît être que le ou les cristaux, solidement fixés à leur base, sont venus buter contre la paroi de la fissure. À l'inverse des cristaux déjà formés, souvent brisés et fracturés par les secousses ultérieures, cette direction reste constante, les



18

lèvres de la fissure ne s'écartant que sur une faible distance pour permettre la venue de nouveaux fluides. Une observation précise sur le terrain apporterait sans doute des données supplémentaires, mais au total ce point n'est pas crucial. Quelle que soit la raison profonde de la constance des orientations, l'intervalle entre deux sutures consécutives reflète le temps séparant deux séismes. Connaissant les conditions de pression, température et concentrations, toutes données susceptibles d'être fournies par une étude détaillée des inclusions, on pourrait sans doute aller plus loin et, au moins de façon approximative, estimer cet intervalle de temps. Ces quartz tronqués sont donc également des paléosismographes, mais qui, à la différence des « fadenquartz », reflètent moins l'intensité d'un séisme déterminé que les intervalles de temps séparant des secousses successives. En mesurant soigneusement sur le terrain les caractéristiques géométriques de la fissure (longueur, écartement...), il devrait être possible de calculer l'énergie mise en jeu, donc de remonter à l'intensité des séismes. On a donc tous les éléments pour établir une véritable paléosismicité. Mais,

Quartz à inclusions de rutile de Madagascar montrant (à gauche du prisme principal) la trace d'un ancien minéral tabulaire maintenant disparu.

Hauteur : 8 cm.

coll. J. T., photo P. Lebrun

Remerciements

Merci à Michel Schwab, l'infatigable organisateur de la bourse de Sainte-Marie-aux-Mines, pour nous donner chaque année l'occasion de rêver, et d'y rencontrer Yannick Calonge, qui m'a fait cadeau des quartz Q1 et Q2 (maintenant en bonne place au sein de la collection de l'École des Mines), contre la promesse d'en faire l'étude. Cela n'a guère pris que 5 ou 6 ans mais, après tout, pour des quartz de quelques millions d'années. Merci également à mon ancien élève, Sepp Mullis, pour ses conseils et judicieux remarques, ainsi qu'à Michael Leibov (*Mineralogical Almanac, Moscou*) pour la photo du « papierspath ».

à ma connaissance, ceci n'a jusqu'à présent jamais fait l'objet d'étude sérieuse : les géophysiciens sont rarement de bons minéralogistes.

Conclusion

On voit en conclusion qu'il n'est pas nécessaire de rechercher des cristaux très

grands ou spectaculaires, coûtant des fortunes, pour faire des observations intéressantes et laisser courir son imagination. À côté des paragenèses minéralogiques qui, elles, sont très étudiées, les paramètres morphologiques sont rarement pris en compte, bien qu'ils puissent fournir eux aussi de précieux renseignements. En général, les cristaux se suffisent à eux-mêmes et, même s'il eut été utile de connaître les conditions précises de gisement, une observation bien conduite d'échantillons isolés permet souvent de bien dégrossir le problème quitte à fournir des lignes de recherche pour retourner sur le terrain et approfondir les recherches ! Les bourses minéralogiques sont à cet égard extrêmement précieuses. Les centaines d'échantillons exposés apportent un choix incomparable, permettant à tout un chacun d'observer en un jour beaucoup plus de cristaux qu'il ne pourrait en trouver lui-même pendant toute une vie. Il comprendra vite que les plus « beaux » échantillons ne sont pas les plus spectaculaires – ou les plus chers, mais ceux qui sauront lui parler, à condition qu'il comprenne leur langage. ●

Petit lexique

Chlorites : groupe de phyllosilicates dont les quatre pôles sont le clinocllore, la chamosite, la nimité et la pennantite. Elles sont communément trouvées dans les roches ignées sous la forme de produits d'altération de minéraux mafiques comme les pyroxènes, les amphiboles et la biotite.

Datolite : néosilicate de calcium et de bore cristallisant dans le système monoclinique qui compose des cristaux prismatiques et des masses noduleuses de teinte brune, jaune, verte ou incolore.

Habitus : forme prise par une espèce cristalline, comme un prisme, un dodécaèdre, une rose de fer...

Lacune (cristallographique) : défaut ponctuel du cristal dû à l'absence d'un atome sur un site normalement occupé.

Métastable : se dit d'un système à l'équilibre qui est susceptible de tomber facilement dans un état de plus faible énergie.

Nappe (de charriage) : ensemble de terrains déplacés (allochtones) sur ou moins plusieurs dizaines de kilomètres venus recouvrir un autre ensemble de roches en place (autochtones), lors d'une orogénèse.

Ripidolite : chlorite de formule $(Mg,Fe,Al)_2(Al,Si)_4O_{10}(OH)_8$.

Septaria : concrétion noduleuse sédimentaire dans laquelle des minéraux remplissent des fissures.

sphèresdumonde par Jean-Frédéric Miglierina (www.spheresdumonde.com)



Crocoïte du Dundas (Tasmanie, Australie). Ø 7,5 cm.



Hématite du Tarn (France). Ø 8,5 cm.



Quartz tronqués dans les Alpes françaises

J'ai ressorti de mes vitrines et tiroirs quelques trouvailles anciennes, petites, mais qui corroborent votre article sur les quartz tronqués du Rozet [➤ M&F 379 : 34-44 - NDLR].

Claude Julien Ducarre



Photo 1 : quartz de Saint-Christophe-en-Oisans, versant sud du sommet dit Chabotte. Trois étages de quartz à la croissance limitée par des lamelle de calcite [effervescence à froid]. La base est intacte, « cicatrisée » (?) par de petites pyramides. Elle est infiltrée de fibres d'actinolite. Roche encaissante : amphibolite. H : 2,2 cm.

Photo 2 : quartz de Saint-Christophe-en-Oisans, versant sud du sommet dit Chabotte. Autre spécimen de la même fente vu sous deux angles légèrement différents. La calcite a disparu. La troncature, examinée avec un grossissement de x20 ou x30, montre par places de discrètes lignes dessinant des losanges confirmant la calcite. Presque au centre de la troncature s'élève un mini cristal de quartz normalement constitué. Ici aussi, [la] base [est] cicatrisée avec actinolite infiltrant une partie du cristal. H : 1,5 cm, L : 2,2 cm.



Photo 3 : quartz de La Lauzière. Éboulis au centre de la combe d'Entre Deux Roches, sans pouvoir affirmer si l'échantillon provient du flanc NE du Rozet ou du flanc du SW de La Biettaz (qui présentent les mêmes structures géologiques). La pointe gauche, complète, et la pointe droite (de plus grand diamètre), tronquée obliquement et parallèlement à l'arête du rhomboèdre, se dressent sur un prisme commun visible sur le côté non photographié. En fait, il ne s'agit pas vraiment d'un cristal unique, car on devine sur le prisme une discrète ligne de suture verticale mais pas tout à fait régulière, rappelant un peu celles des quartz macro-mosaïques. Une lamelle réouvre une partie de la face tronquée. Selon l'incidence de la lumière, elle présente un reflet brunâtre faisant penser (un peu trop vite) à la brookite, ou bien un aspect métallique pas tout à fait régulier (cf. le cliché). Avec un grossissement suffisant, on devine des fibres de rutile grossièrement parallèles au bord droit de la lamelle sur la photo, ici et là entrecroisées à la façon de la sagénite. Elles sont mélangées à de minuscules faces striées d'anatase.

Ce serait donc une forme de passage **anatase-rutile** qui aurait été responsable de la troncature du quartz. N.B. : remarquer l'abondance des cheveux de rutile dans le quartz. [Ces formes de passage ne sont pas rares dans La Lauzière. De ma première découverte d'anatases pluricentimétriques, en 1968, j'ai aussi conservé un groupement aplati de petites anatases parallèles infiltrées de sagénite. De La Biettaz, je conserve également une anatase sur quartz presque totalement transformée en rutile...].

Abonnez-vous, réabonnez-vous à Minéraux & Fossiles

Les échantillons découverts par Monsieur Ducarre, un ophthalmo- logiste qui a manifestement un très bon œil, sont très intéressants. Non seulement, ils confirment que les troncutures observées dans le massif de La Lauzière sont des phénomènes relativement courants, au moins dans une zone bien précise des Alpes externes (faciès des schistes verts – ce que m'avait déjà affirmé Josef Mullis), mais ils apportent des éléments nouveaux, qui confirment ce que je n'avais pressenti que de façon indirecte, et ouvrent des voies de recherche qui mériteraient d'être poursuivies.

1 - Les échantillons de Saint-Christophe-en-Oisans (photos 1 et 2), sont tout à fait comparables à ceux décrits dans mon article. La photo 2, notamment, est identique, avec disparition (par dissolution) des carbonates terminaux, mais

reprise spectaculaire d'un quartz bien formé terminal, correspondant à une dernière venue de fluides plus importante que dans la fente que j'avais étudiée. Mais, c'est surtout l'échantillon de la photo 1 qui est spectaculaire, avec la préservation de lamelles de carbonates. Encore mieux qu'à Dal'negorsk, et merci à Monsieur Ducarre de nous avoir montré que les empreintes ne nous avaient pas trompé.

2 - L'autre échantillon, de La Lauzière (photo 3), ressemble également à l'un des échantillons que j'avais décrit (Q2), mais avec un élément supplémentaire : la présence sur la troncuture d'une lamelle brunâtre, très bien décrite par M. Ducarre, correspondant à une transition anatase-rutile. Très étudiée, en raison notamment des propriétés catalytiques des oxydes de titane, cette transition, qui cor-

respond à une augmentation de température ou, surtout, de pression, est particulièrement marquée lors des phénomènes de choc (impactites). Bien sûr, il ne peut s'agir ici d'un impact d'un bolide venu de l'espace, mais on sait que les séismes profonds peuvent provoquer des effets comparables. Je ne dirais donc pas que cette transition est responsable de la troncuture, mais qu'elle en est contemporaine, avec peut être une augmentation brutale de la pression, du type onde de choc. On aurait plus d'information par l'étude structurale des différentes espèces, notamment la recherche de types haute pression (TiO₂ II). Message transmis aux spécialistes, mais, encore une fois, la preuve que les Alpes sont loin d'avoir livrées tous leurs secrets.

Jacques Touret, ENSMP

des minéraux & destimbres

acrostiches de Jean Sarramea

Le béryl et l'émeraude

Ce minéral, recherché par les joailliers lorsqu'il est gemme, est commémoré par le Mozambique, le Congo et le Portugal. Ce silicate de béryllium et d'aluminium est très dur (proche de 8 sur l'échelle de Mohs). Les cristaux en prismes se rencontrent dans des pegmatites, des granites, en Corée, en Inde, au Brésil, en Australie, en Sibérie ou, plus près de nous, sur l'île d'Elbe. La variété verte, colorée par le chrome ou le vanadium, est tout simplement l'émeraude, la bleue, l'aigue-marine, la rose, lamorganite, la jaune, l'héliodore. Le béryllium est précieux en métallurgie pour des alliages à la fois très résistants et légers.

*En fleur de rareté, de Colombie, d'Oural,
Miroite l'émeraude en grisant minéral.
Et son vert espérance où vibre le Brésil
Rêve au seuil de notre âme en sublime béryl.
Aux doigts du lapidaire apparaît la merveille :
Une gemme taillée où la Vie s'enseuille.
Donne-nous de l'ivresse, ô toi pierre précieuse !
En brillance de chrome est ton eau délicieuse !*



*L'île d'Elbe, en filons sillonnant son granite,
Est berceau réputé de rose morganite.
Béryllium, alumine unis en silicate,
Embellissent le prisme au cœur des pegmatites.
Regardons cette gemme aux teintes délicates :
Y voyons-nous paraître en cadeau de la Terre
Le bijou façonné par l'art du lapidaire ?*