

DIALOGUE ENTRE UNE GÉOLOGUE ET UN CRISTALLOGRAPHE AMATEUR

Description

Soucieux de recréer les conditions d'une approche réellement transdisciplinaire, voici les échanges qui structurèrent nos premières discussions entre collègues de SVT d'une part et de physique-chimie d'autre part, pensant que ces échanges pourraient avoir lieu dans le laboratoire de n'importe quel lycée.

Mots-clés

Cristallographie ; maille élémentaire ; cristal ; minéral ; roche

Références au programme

Thème 1 : Une longue histoire de la matière

Des édifices ordonnés : les cristaux

Liminaire

Le dialogue qui suit contient des références de sites ou de documents qui illustrent le contenu de cette (théâtrale) discussion.

Distribuons les rôles :

- **Geologia** est, comme son prénom l'indique, géologue de formation ;
- **Cristallo**, prénom d'emprunt, est très certainement cristallographe amateur.

Certaines notions sont hors programme : elles sont indiquées par le sigle suivant [HP].

Les aspects géométriques et quantitatifs de la cristallographie figurant au programme sont abordés dans la ressource intitulée « Les mathématiques de l'enseignement scientifique : les cristaux » accessible sur la page éducol dédiée à l'enseignement scientifique.

Dialogue

Cristallo : Geologia, le quartz, c'est une roche ou un minéral ?

Geologia : C'est un minéral. Une roche, c'est par exemple ce morceau de granite (Figure 1) qui est un assemblage de différents minéraux. On identifie une roche en reconnaissant les différents minéraux qui la composent. Regarde, tu vois un feldspath, du mica et du quartz : la roche composée de ces trois familles de minéraux est appelée granite. On en trouve en Bretagne et en Limousin.

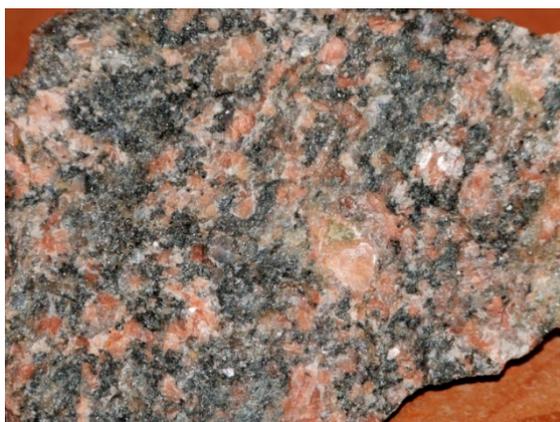


Figure 1 : échantillon de granite (Image personnelle : E. JAMMART)

Cristallo : Donc une roche se distingue d'une autre par sa composition minérale. Mais moi, en tant que cristallographe, je ne connais que les cristaux. Quelle différence fais-tu entre minéral et cristal ?

Geologia : Question piège. Dis-moi d'abord ce qu'est un cristal, pour toi.

Cristallo : Un cristal est un assemblage ordonné et régulier d'atomes dans l'espace.

Geologia : Un minéral est donc un cristal d'origine naturelle que l'on trouve dans les roches. Il existe d'autres types de cristaux, les cristaux biologiques, les cristaux de synthèse... Le terme de minéral inclut aussi une notion de composition chimique alors que le cristal est une définition purement structurale. Une roche, comme la quartzite (Figure 2), peut contenir un seul type de minéral, le quartz, mais tu vois au microscope polarisant que plusieurs cristaux différents sont accolés.

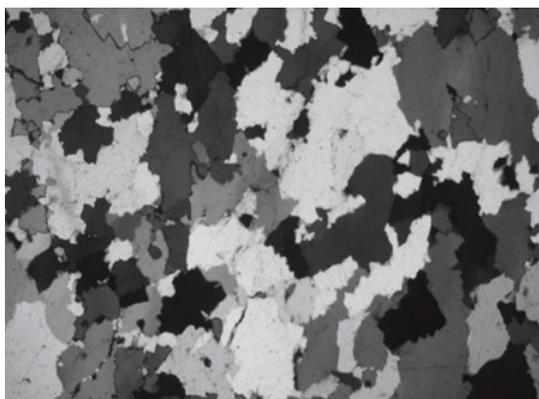


Figure 2 : Filon de quartz observé au microscope polarisant (Image personnelle : E. JAMMART)

Cristallo : Mais alors pourquoi appelle-t-on ce quartz (Figure 3) un « cristal de roche » ?



Figure 3 : un quartz « Cristal de roche » (Image personnelle : E. JAMMART)

Geologia : En effet... Dans le langage courant, on appelle « cristal » un minéral particulièrement transparent et qui a grandi librement.

Cristallo : Oui mais, sur le morceau de granite que tu me présentes, comment expliques-tu que les minéraux de quartz présents ne ressemblent pas à de jolis « cristaux de roche » aux formes parfaites ?

Geologia : Ils auraient leur forme cristalline s'ils avaient eu la place de croître. Mais les minéraux qui constituent le granite se forment par nucléation dans un liquide riche en silice et grandissent jusqu'à ce qu'ils rejoignent le cristal voisin qui stoppe leur croissance. Le quartz du granite a une structure cristalline intime très ordonnée, mais sa forme macroscopique n'est pas forcément géométrique. En revanche, lorsque le quartz cristallise dans une poche d'eau hydrothermale riche en silicium, sa croissance n'est pas gênée et sa forme reflète sa structure à l'échelle microscopique : sa forme pyramidale est liée à l'organisation atomique.

Cristallo : Mais attends, là, tu parles de la structure cristalline !

Geologia :... la structure cristalline ?

Cristallo : La croissance dont tu parlais se fait dans une ou plusieurs directions de l'espace pour aboutir à une structure ordonnée.

Pour la décrire, on peut dire que l'on voit une répétition d'une *maille cristalline* qui est une sorte d'unité structurale du cristal. On peut décrire la structure du cristal dans son ensemble en imaginant que l'on juxtapose des copies translattées de la maille de façon répétée de façon à remplir l'espace. C'est l'Abbé Haüy qui a pensé à cela le premier. En utilisant ce lien (Université du Mans, 2018)¹, tu pourras constituer la maille en ajoutant pas à pas (à sélectionner dans le menu déroulant de droite) les atomes et voir la représentation de la structure apparaître.

Geologia : Mais, qu'est-ce qui assure la cohésion du cristal ?

1. Pour illustrer cette idée de maille, vous pouvez regarder l'exemple du chlorure de sodium et la façon dont ce « copier-coller » se fait. L'adresse de la sitographie (Université de Reims 2019) fournit une animation qui permet de voir comment, en partant de 8 atomes, on arrive, par « copier-coller » à reconstituer une maille au sein d'un réseau cristallin.

Attention : ce logiciel est un moyen de reconstituer le dessin de la maille. Les atomes s'assemblent en réalité de façon beaucoup plus désordonnée.

Cristallo : En cristallographie, on distingue [HP] quatre modèles de cristaux qui reposent sur le type de liaison entre entités : covalents, métalliques, ioniques et moléculaires. Cela conditionne entre autres la solubilité d'une espèce solide dans l'eau.

Geologia : En fait, nous sommes tous les deux intéressés par la même chose : la composition chimique et l'organisation spatiale, mais sans doute pas pour les mêmes raisons.

Cristallo : Je ne connais pas encore bien les tiennes mais concernant l'organisation spatiale, c'est un sujet de recherche en cristallographie. Et pour nous, la composition chimique et l'organisation spatiale sont fortement liées car on cherche à savoir comment les entités sont reliées entre elles. On cherche également à déterminer si les atomes sont serrés ou non, s'il y a de l'espace disponible entre eux et où se trouve cet espace. C'est la raison pour laquelle on calcule la compacité.

Geologia : Comme « compact » ?

Cristallo : Exactement ! La compacité est une grandeur qui traduit le taux d'occupation de l'espace de la maille par les entités qui la constituent. C'est, pour nous, un moyen de nous faire une idée de la place disponible pour des ions ou d'autres atomes dans les interstices. J'imagine que cela vous intéresse également.

Geologia : Je comprends ! C'est dans ces interstices que se glissent les atomes de fer et de titane qui donnent la jolie couleur violette au quartz améthyste (Figure 4) ! Je vois une autre application à la compacité : je suis sûre qu'il y a un lien avec la pression. Si c'est logique, plus un minéral est stable à forte pression, donc à grande profondeur, plus il doit être compact. Je serais curieuse de calculer la compacité des polymorphes de la silice, SiO_2 : quartz à pression modérée, puis coésite à haute pression et stishovite à ultra haute pression (MinUSc, 2018).



Figure 4 : Quartz améthyste (Image personnelle : E. JAMMART)

Cristallo : Alors nous avons un modèle en commun : le modèle des sphères tangentes ! Grâce à ce modèle, nous calculons également la masse volumique des cristaux. Et si ta logique se tient, les polymorphes de haute pression sont aussi les plus denses (MinUSc, 2018).

Geologia : Ces calculs sont vraiment communs à nos approches. Le géologue ne s'intéresse pas forcément au lien entre les grandeurs qu'il utilise et la structure atomique du minéral, et le cristallographe ne met pas nécessairement l'accent sur les conséquences géologiques. Autre exemple, qu'est-ce qu'un solide amorphe pour toi ?

Cristallo : C'est un solide non cristallin, c'est-à-dire que les atomes ne sont pas organisés de façon ordonnée à grande échelle. Ils sont disposés dans l'espace de façon quasi-aléatoire².

Geologia : Eh bien, sais-tu que, pour le géologue, c'est un marqueur de la vitesse de refroidissement d'un magma ? Je t'ai expliqué que les minéraux des roches magmatiques se forment lors du refroidissement d'un magma, par croissance autour d'un nucléus. Imagine que le refroidissement soit lent, en profondeur : les atomes ont le temps pour s'organiser. On obtient une roche entièrement cristallisée, avec des minéraux grands et jointifs. Si le refroidissement est brutal, par exemple une lave émise en surface, les atomes n'ont pas le temps de migrer dans le magma pour former une structure ordonnée. Ils s'organisent sur place, et forment ce qu'on appelle un verre volcanique, qui est une structure amorphe. L'exemple classique est l'obsidienne (Figure 5), de la silice SiO_2 , mais amorphe.



Figure 5 : Obsidienne (Image personnelle : E. JAMMART)

Cristallo : C'est de la trempe thermique, comme en métallurgie. On a bien fait de parler ensemble ! J'ai enrichi le sens des grandeurs que je calcule.

Geologia : Également pour moi. Et je suis même certaine qu'on aurait intérêt à regarder sur d'autres sujets ce qui nous distingue et ce qui nous rassemble. Cela permettrait de donner une meilleure cohérence, une plus grande étendue à notre enseignement et donc à ce que nos élèves en retiennent. À bientôt donc.

À la mémoire de Philippe Chevallier

MinUSc (2018). Paul Pillot. Récupéré sur Librairie de Molécules :
[http://www.librairiedemolecules.education.fr/outils/minusc/.](http://www.librairiedemolecules.education.fr/outils/minusc/)

Université du Mans. (2018). Jean-Jacques Rousseau.
Récupéré sur Physique et simulations numériques :
<http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/cristallo/structure.html>