

INTRODUCTION : CHOIX PÉDAGOGIQUES

Le chapitre débute par deux photographies de cristaux (grotte de Naïca et cristaux de phosphate de calcium) à deux échelles très différentes. L'objectif est d'amener l'élève à se questionner sur la cause de ces formes étonnantes et sur la façon dont la nature peut engendrer des structures dont la géométrie quasi-parfaite peut être conservée d'une échelle à l'autre.

Les unités du chapitre introduisent progressivement et par un enchaînement logique les concepts relatifs à la cristallographie, en lien avec l'histoire des sciences. L'**unité 1** a pour objectif de montrer qu'il peut exister un lien entre la forme d'un cristal et celle d'unités microscopiques. On découvre ensuite l'intérieur de la maille, dans l'**unité 2**, avec la nature des entités chimiques et leurs positions. L'**unité 3** présente les propriétés d'un cristal par une approche géométrique: la multiplicité de la maille, la compacité et la masse volumique. L'**unité 4** met en perspective les pages d'ouverture, en revenant sur la place des cristaux dans les roches. Enfin, l'**unité 5** met en évidence l'existence des cristaux au sein du vivant.

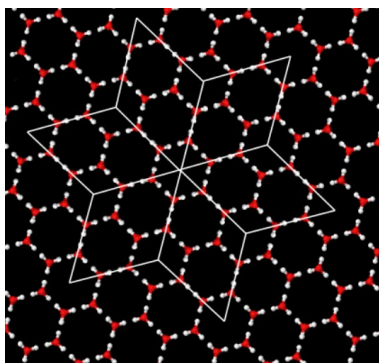
POUR COMMENCER

1. Le diamant et le sel sont des: **b.** cristaux.
2. On trouve des cristaux: **a.** dans des roches et chez les êtres vivants.

UNITÉ 1**Activité guidée**

1. Les cristaux possèdent une géométrie cubique.
2. L'unité élémentaire du cristal de sel est cubique. Les ions chlorure (Cl^-) occupent les sommets et le milieu des faces de l'unité élémentaire, tandis que les ions sodium (Na^+) occupent le centre et le milieu des arêtes.
3. À plus grande échelle la géométrie cubique est conservée. Les cristaux d'halite sont cubiques. Les trémies possèdent une base carrée et ressemblent à une pyramide creuse.
4. Les flocons de neige sont composés de six branches de structure plus ou moins complexe, formant une figure à géométrie hexagonale.

En utilisant le logiciel Minusc, on constate que l'unité élémentaire du cristal de glace permet de construire, par translation de l'unité élémentaire, des figures à géométrie hexagonale.

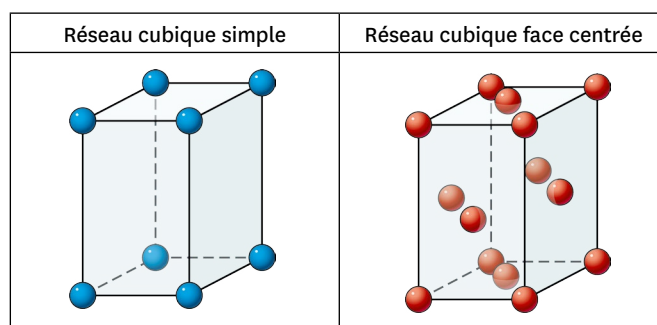


5. Un cristal résulte de la répétition, dans l'espace, d'un grand nombre d'unités élémentaires microscopiques identiques. La forme et l'arrangement de ces unités confèrent au cristal sa géométrie, à l'échelle macroscopique. On retrouve ainsi la géométrie cubique de l'halite et la géométrie hexagonale des flocons de neige. En ce sens, les propositions de Haüy sont correctes. En revanche, la géométrie d'un cristal ne donne aucune information sur la nature et la position des entités chimiques au sein d'une unité élémentaire. D'autre part, il n'est pas toujours possible d'expliquer la variété de formes que peut prendre un composé chimique quand il cristallise (cas des différents flocons de neige).

UNITÉ 2**Activité guidée**

1. Delafosse introduit la notion de maille, volume contenant des atomes ou des ions à des positions bien définies. Les positions des entités chimiques au sein de la maille lui donnent sa géométrie et la répétition des mailles, dans l'espace, donne au cristal sa forme.

2. Dessins en perspective cavalière:



3. Le polonium, le fer et l'argent cristallisent tous les trois selon un système cubique. Les atomes de polonium forment un réseau cubique primitif ou simple (P), les atomes de fer forment un réseau cubique centré (I) et les atomes d'argent forment un réseau cubique faces centrées (F).

4. L'oxyde d'uranium et le fluorure de calcium cristallisent tous les deux dans le même système cristallin. Les cations U^{4+} et Ca^{2+} se positionnent selon un réseau cubique faces centrées. Les anions O^{2-} et F^- occupent les sites tétraédriques. La différence réside dans la longueur de l'arête du cube et dans la nature des ions.

5. Les trois paramètres qui permettent de définir un cristal sont:

- le réseau cristallin avec ses paramètres géométriques (longueurs d'arêtes et angles);
- la nature des entités chimiques contenues dans la maille;
- la position des entités chimiques à l'intérieur de la maille.

6. La structure d'un cristal peut être déterminée par diffraction des rayons X. Le système cristallin est relié à la position des taches de diffraction sur l'image, tandis que l'intensité des taches donne des informations sur la nature et la position des entités chimiques à l'intérieur de la maille.

UNITÉ 3

Activité guidée

1. Le polonium cristallise dans un système cubique primitif où chaque atome occupe un sommet de la maille. La multiplicité de la maille est donc égale à $Z = 8 \times \left(\frac{1}{8}\right) = 1$.

2. Exprimons d'abord le rayon d'un atome de polonium en centimètres. Puisque $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ et $1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m} \Leftrightarrow 1 \text{ m} = 10^2 \text{ cm}$ alors $1 \text{ nm} = 10^{-9} \times 10^2 = 10^{-7} \text{ cm}$.

Pour le polonium: $r_{\text{polonium}} = 0,168 \text{ nm} = 0,168 \times 10^{-7} \text{ m}$.

La longueur de l'arête est $a = 2 \times r_{\text{polonium}}$.

$$\rho = \frac{Z \times \frac{M_{\text{polonium}}}{N}}{(2 \times r_{\text{polonium}})^3} = \frac{Z \times \frac{209}{6,022 \times 10^{23}}}{(2 \times 0,168 \times 10^{-7})^3} = 9,15 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}.$$

4. Pour le cristal d'argent, $Z = 8 \times \left(\frac{1}{8}\right) + 6 \times \left(\frac{1}{2}\right) = 4$ et l'arête du cube a pour longueur $a = \frac{4r_{\text{argent}}}{\sqrt{2}} = 4,10 \times 10^{-8} \text{ cm}$.

$\rho = 10,4 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ et $C = 0,741$ soit 74,1 %.

5. Au sein d'un cristal, l'espace non occupé par les atomes peut être utilisé pour accueillir des espèces chimiques. Il est ainsi possible de stocker de l'hydrogène dans des cristaux de magnésium.

UNITÉ 4

En s'appuyant sur des exemples de roches abondantes dans la croûte terrestre, cette unité a pour objectif de permettre à l'élève de distinguer les différentes échelles, de la maille élémentaire à la roche, et d'établir un lien entre elles. Elle est l'occasion de remobiliser des savoirs et savoir-faire préalablement construits au cours de ce chapitre.

Activité guidée

1. Le doc 1 montre que les mêmes éléments chimiques peuvent s'arranger différemment dans l'espace selon les conditions de pression et de température qui règnent lors de la formation des cristaux. Dans l'exemple choisi de la silice SiO_2 , plusieurs arrangements sont possibles pour une même composition chimique, il existe donc plusieurs minéraux. Un minéral est donc défini par sa composition chimique et par le système cristallin dans lequel les constituants du minéral sont arrangés.

Une activité complémentaire peut être conduite avec les élèves, en utilisant le logiciel Minusc (utilisé dans l'unité 1) pour comparer les caractéristiques (structure, masse volumique, compacité) du quartz et de la coésite: http://lithotheque.ac-aix-marseille.fr/Fiches_techniques/minusc_quartz_coésite.htm

2. Les exemples du calcaire et du granite (docs 2 et 3) montrent qu'une roche est constituée de l'association d'une seule sorte de minéraux ou de minéraux différents. Les photos de microscopie optique en lumière polarisée analysée permettent d'observer les contours géométriques des minéraux et d'argumenter l'état cristallin.

L'utilisation de microscopes polarisants en classe peut être l'occasion, en constatant la biréfringence des minéraux, de faire le lien entre cette propriété et l'arrangement de leurs constituants. En effet, pour les solides cristallisés (sauf pour le système cubique),

la densité des constituants chimiques est variable selon la direction de cheminement dans le cristal (ils sont anisotropes). En conséquence, la propagation d'une lumière polarisée qui traverse ces cristaux est modifiée, c'est la biréfringence, et les modifications dépendent de la nature des cristaux. C'est pourquoi ils apparaissent plus ou moins lumineux, voire de couleur différente après passage de la lumière dans l'analyseur.

Les cristaux du système cubique en revanche apparaissent noirs et leur aspect reste inchangé lorsque l'on tourne la platine porte objet: ils ne provoquent pas de biréfringence car ils sont isotropes. Il en est de même pour les solides dits «amorphes» dans lesquels les constituants sont assemblés sans ordre géométrique. Cette information pourra être réinvestie lors de l'exploitation du doc 4.

3. La mise en relation entre les différentes échelles est construite avec l'exemple du granite (doc 3). L'utilisation des échelles permet de calculer les tailles des différents objets: échantillon de roche, minéral observé macroscopiquement ou microscopiquement, maille élémentaire. La comparaison des minéraux entre eux montre qu'ils diffèrent par leur composition chimique et leur organisation cristalline, ce qui leur confère un aspect différent aux échelles microscopique (teintes de polarisation, relief, forme...) et macroscopique (couleur, éclat, forme...).

L'observation de macles d'orthose ou de plagioclase est l'occasion de distinguer minéral et cristal: dans une macle, le minéral est constitué de deux ou plusieurs cristaux identiques associés selon des lois géométriques précises qui dépendent de la nature du minéral.

4. L'exemple du basalte (doc 4) permet de montrer qu'un minéral est une espèce chimique naturelle qui ne se présente pas toujours sous forme de solide cristallin: le verre des roches volcaniques est un solide dans lequel les constituants sont assemblés sans ordre géométrique, c'est donc un solide amorphe. Le lien peut être fait avec l'absence de biréfringence du verre en lumière polarisée analysée: le verre étant isotrope, il apparaît noir.

Lorsqu'une lave basaltique s'épanche dans l'eau, lors d'une éruption sous-marine, le refroidissement rapide en surface entraîne une vitrification qui ne concerne que le cortex (quelques mm à quelques cm d'épaisseur). La proportion microlithes / verre croît de la périphérie vers le cœur du pillow-lava, ce qui traduit une variation de la cinétique de refroidissement. Voir à ce sujet: <https://planet-terre.ens-lyon.fr/article/bordure-pillow.xml>

UNITÉ 5

Les exemples utilisés permettent de montrer que des structures cristallines existent chez les animaux comme chez les végétaux (on en a même trouvé dans certaines bactéries), autour des cellules comme dans les cellules. Ces cristaux confèrent le plus souvent des propriétés mécaniques aux structures qui les contiennent, et sont ainsi impliqués dans des fonctions de protection et de soutien. Dans les différents exemples proposés, la présence de cristaux peut être argumentée à partir de la forme géométrique des structures observées en microscopie électronique ou optique (docs 2, 3 et 6). Leur localisation autour de l'organisme (doc 1), dans certaines cellules (doc 3) ou dans l'environnement proche de cellules spécialisées (doc 5) permet de préciser quels tissus ou cellules les produisent.

Les docs 7 et 8 permettent de mettre en relation la présence de cristaux et la résistance mécanique du squelette osseux, en reliant la DMO et la quantité d'hydroxyapatite d'une part, la DMO

et le nombre de fractures d'autre part.

Les docs 2 et 5 montrent que l'arrangement des cristaux est lié à la fraction organique des matrices extracellulaires qui les contiennent, et que cet arrangement spatial confère des propriétés de rigidité et de résistance à la compression. Ces propriétés sont impliquées dans le rôle de protection des exo- et endosquelettes.

La forme en aiguille des raphides d'oxalate de calcium explique leur rôle de protection des végétaux qui les produisent contre les herbivores (docs 3 et 4). De plus, l'acide oxalique est toxique (c'est pourquoi on se limite à consommer les pétioles de rhubarbe, les feuilles contenant de l'oxalate de calcium).

De nombreuses plantes fabriquent des cristaux d'oxalate de calcium. L'oxalate est un produit final du métabolisme de la plante. Combiné au calcium, il permet de contrôler le taux de ce dernier dans les cellules (en excès le calcium est néfaste pour nombre de plantes).

Critères d'évaluation de la tâche complexe

DÉMARCHE	Synthèse
	<p>Pertinence: le texte répond à la question posée</p> <p>Cohérence: les propriétés sont argumentées et la mise en relation entre propriétés et fonction est explicite</p>
CONTENU	Éléments scientifiques attendus tirés des documents du livre
	<ul style="list-style-type: none"> - La nature et la localisation des cristaux sont identifiées pour les trois exemples proposés - Les propriétés suivantes sont énoncées et correctement associées aux différents cristaux: rigidité, résistance à la compression, toxicité et cause de lésions des muqueuses - Les fonctions de protection et de soutien sont repérées - Les structures qui assurent ces fonctions sont nommées
COMMUNICATION	Forme de la représentation (texte)
	Précision: arguments précis extraits des documents (qui sont mentionnés)
	Clarté: sens, lisibilité du texte
	Conformité: syntaxe et orthographe correctes

Indicateurs de réussite

Niveaux de réussite	DÉMARCHE Synthèse, démarche explicative, exposé, présentation...	CONTENU Éléments scientifiques tirés des documents et/ou des connaissances	COMMUNICATION Forme de la représentation (texte, schéma, tableau, diaporama, graphique...)
1	Ne répond pas à la question posée	Absents	Non conforme
2	Démarche maladroite et partielle à la question posée	Incomplets soit / connaissances soit / extraction d'information des documents	1 critère (parmi les trois : précision, clarté, conformité)
3	Démarche pertinente mais maladroite		2 critères (parmi les trois : précision, clarté, conformité)
4	Démarche à la fois pertinente et cohérente	Complets ou suffisants	3 critères (précision, clarté, conformité)

1 Vrai/faux

- Vrai.
- Faux. Il en existe sept.
- Faux. Le verre se forme lors du refroidissement très rapide de la lave.
- Faux. Un composé peut cristalliser sous différents types de structure, selon les conditions de cristallisation (pression, température, etc.).
- Vrai et faux. Une roche peut être formée de l'association de cristaux d'un même minéral ou de minéraux différents.

2 QCM

- b.
- c.
- c.
- b.
- a.
- d.

3 Question de synthèse

À l'échelle microscopique, un cristal est caractérisé par la répétition régulière, dans l'espace, d'une maille, c'est-à-dire d'un volume de forme déterminée contenant des entités chimiques situées à des positions bien définies. Cette répétition fait alors apparaître des caractéristiques géométriques particulières. C'est donc la périodicité de cet arrangement qui confère au cristal sa forme macroscopique.

Objectif **BAC**

4

- Le sulfure de plomb cristallise selon un système cubique.
 - Les ions négatifs S^{2-} forment un réseau cubique faces centrées. Les ions positifs Pb^{2+} se situent au milieu des arêtes et au centre de la maille.
 - $Z(S^{2-}) = 8 \times \left(\frac{1}{8}\right) + 6 \times \left(\frac{1}{2}\right) = 4$; $Z(Pb^{2+}) = 12 \times \left(\frac{1}{4}\right) + 1 = 4$.
- La formule chimique du sulfure de plomb étant PbS , il y a nécessairement autant d'ions S^{2-} que d'ions Pb^{2+} .

5

- Par grand froid, l'étain β se convertit en étain α . Le changement de forme cristalline se traduit par une forte variation de la masse volumique ainsi qu'un changement de couleur. Cela altère les propriétés mécaniques, ce qui conduit à un émiettement du matériau.
- Il y a un atome à chaque sommet de la maille, un atome au centre de chaque face et quatre atomes à l'intérieur de la maille. On calcule $Z = 8$.

$$3. \rho = \frac{Z \times \frac{M(Sn_{\alpha})}{N}}{a^3}$$

$$\Leftrightarrow a = \sqrt[3]{\frac{Z \times \frac{M(Sn_{\alpha})}{N}}{\rho}} = \sqrt[3]{\frac{Z \times \frac{118,7}{6,022 \times 10^{23}}}{5,75}} = 6,50 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

soit 0,650 nm.

6

1. Le texte précise que les cristaux de guanine sont localisés dans des cellules particulières de la peau des caméléons, les iridophores.

Ces cellules sont plus précisément localisées dans le derme, qui est le support de l'homochromie variable chez la totalité des espèces de caméléons présentant cette capacité, par le biais de plusieurs types de chromatophores dermiques. Pour plus d'informations, voir: «Les mécanismes physiologiques responsables de l'homochromie variable dans le règne animal», P.-L. FIZMAN, Thèse pour le Doctorat Vétérinaire, 26 janvier 2017, Université de Créteil <http://theses.vet-alfort.fr/telecharger.php?id=2135>

2. L'échelle du doc 2 permet de mesurer l'écartement des cristaux dans deux situations physiologiques: chez les individus calmes, cette distance est en moyenne 30 % inférieure à celle relevée chez les individus excités. En revanche, les cristaux ne changent pas de taille ni de forme.

Le doc 1 montre que la couleur du caméléon change entre ces deux états. Compte tenu du lien entre la répartition des cristaux et leurs propriétés optiques mentionné dans le texte, on peut en déduire que c'est bien la répartition des cristaux qui est la cause du changement de couleur de l'animal.

3. D'après le texte, propriétés utiles pour le camouflage. Utilisation également comme un caractère sexuel secondaire chez les mâles.

ÇA VOUS CONCERNE

- **D'autres corps purs dont le volume augmente lors de la solidification.**

L'antimoine, le bismuth, le gallium, le germanium, le plutonium et le silicium.

- **Le mécanisme qui conduit à la répartition de températures dans un lac en hiver.**

Lorsque l'air est froid (hiver), la chaleur d'un lac est évacuée par le haut, c'est donc d'abord le haut du lac qui se refroidit. Tant que la température des couches hautes du lac reste supérieure à 4 °C, celles-ci sont plus denses que les couches du dessous, plus chaudes, et l'eau froide coule vers le fond, permettant ainsi à l'air froid d'être en contact avec de nouvelles couches plus chaudes, une fois que celles-ci sont remontées vers la surface. Le lac est ainsi refroidi de manière uniforme sur toute sa profondeur. Par contre, lorsque la température de l'eau descend à 4 °C, le refroidissement par l'air des couches supérieures conduit à une température inférieures à 4 °C, et donc à des couches moins denses (puisque le maximum de densité est à 4 °C). Ces couches plus froides restent donc en surface et continuent à refroidir jusqu'à geler, pendant que les couches du dessous, protégées par celles du dessus, restent à 4 °C.