



POUR COMMENCER

Testez votre culture scientifique

Identifiez la bonne réponse

1. Le diamant et le sel sont des :

- a. roches
- b. cristaux
- c. solides carbonés

2. On trouve des cristaux :

- a. dans les roches et chez les êtres vivants
- b. seulement dans les roches
- c. dans les solides, liquides et gaz

Recherches Internet

Déterminez les points communs et les différences entre les cristaux des grottes de Naïca (Mexique), de Lechuguilla (États-Unis) et de Pulpí (Espagne).

Identifiez ce qu'ils ont de particulier.



Cristaux de phosphate de calcium observés au microscope électronique à balayage.
Grossissement: ×1500.



CHAPITRE

2

DES ÉDIFICES ORDONNÉS : LES CRISTAUX

- UNITÉ 1** La structure des cristaux
- UNITÉ 2** La diversité des cristaux
- UNITÉ 3** Les propriétés des cristaux
- UNITÉ 4** Les cristaux dans les roches
- UNITÉ 5** Les cristaux du vivant

La structure des cristaux

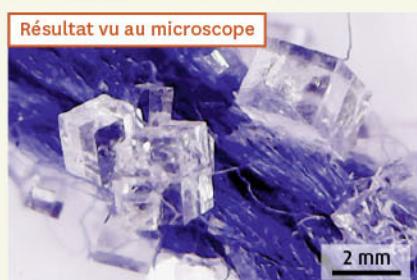
Le sel raffiné, composé principalement de chlorure de sodium, est un condiment très utilisé en cuisine. Comme la plupart des cristaux, il présente une géométrie particulière.

Existe-t-il un lien entre la structure d'un cristal et l'organisation microscopique des entités chimiques qui le constituent ?

Découverte des cristaux de sel

EXPÉRIMENTATION

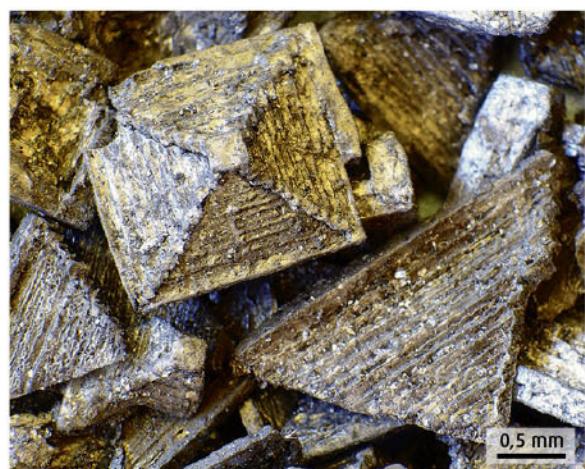
- Faites chauffer 200 mL d'eau et dissolvez-y 30 grammes de sel. Versez le mélange dans un verre.
- À un cure-dent, attachez l'une des extrémités d'un fil de laine, puis placez-le en travers du verre de sorte que le fil pende dans l'eau salée.
- Laissez sécher quelques jours et observez.



DOC 1 Fabriquer des cristaux de sel.



DOC 2 Cristaux de halite. Le sel, ou chlorure de sodium solide, est constitué d'ions chlorure (Cl^-) et sodium (Na^+). La halite (du grec *hals*, « sel », et *lithos*, « pierre ») désigne le sel gemme. Les gisements de halite se trouvent dans des grottes et proviennent de l'évaporation de mers ou de lacs salés lors de périodes géologiques chaudes.



DOC 3 Trémies de sel vues au microscope. Les trémies de sel se forment par évaporation à la surface d'une plaque d'eau de mer.

Voyage à l'intérieur d'un cristal

Histoire des sciences

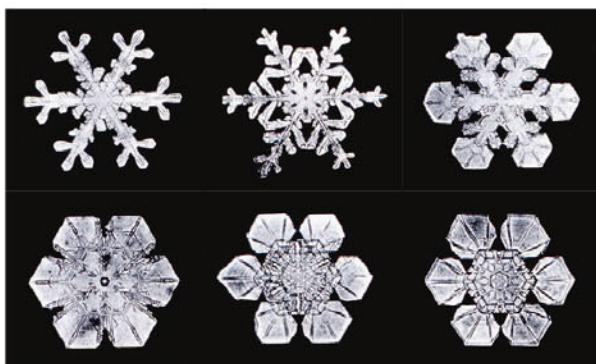
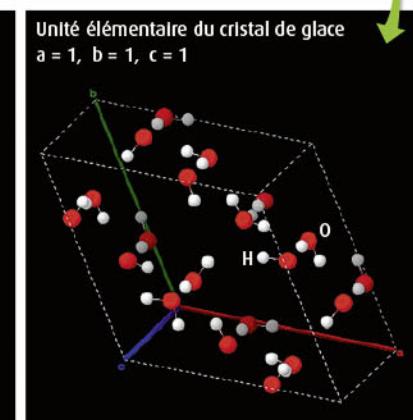
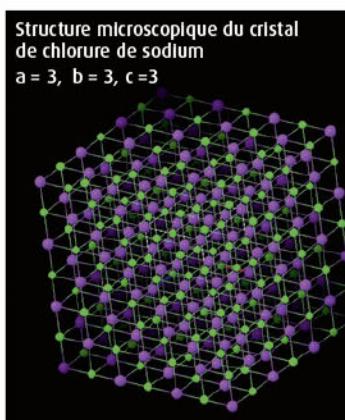
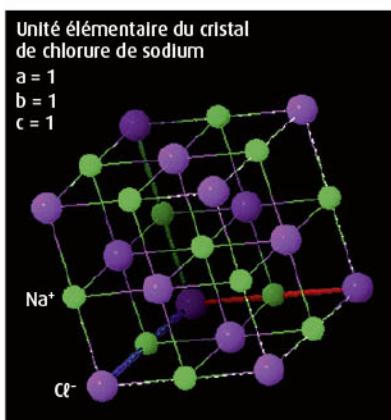


L'abbé René Just Haüy (1743-1822) est un minéralogiste français, fondateur de la cristallographie géométrique. La cristallographie a pour objet de décrire la position des entités chimiques (atomes, ions, molécules) constituant un cristal. L'abbé Haüy propose comme hypothèse que la forme d'un cristal résulte de l'arrangement de briques de matière élémentaires qu'il nomme «molécules constituantes».

Il affirma également que la forme du cristal à l'œil nu est la même que celle des «molécules constituantes».

DOC 4 L'abbé René Just Haüy et la notion de molécules constituantes.

DOC 5 Représentations 3D du chlorure de sodium et de la glace à l'échelle microscopique.



DOC 6 Différentes formes de flocons de neige vus au microscope. Ces flocons ont été photographiés en 1902 par Wilson Bentley, l'un des premiers photographes connus de flocons.



Logiciel Minusc

MANIPULATION DE MODÈLE 3D

- Choisissez soit le fichier Halite, soit le fichier Glace et réglez les paramètres ainsi :
 - Afficher atomes : Sphères 20%
 - Afficher liaisons : Fil de fer
 - Afficher polyèdres : Effacer
- Faites varier le nombre de mailles (voir définition p. 32) selon les trois directions de l'espace, en modifiant les valeurs a , b et c .

ACTIVITÉ GUIDÉE

- Fabriquez des cristaux de sel puis décrivez la géométrie des cristaux obtenus sur le milieu du fil de laine (**DOC.1**).
- Décrivez la géométrie de l'unité élémentaire du cristal de sel (**DOCS 1 ET 2**).
- Comparez les formes macroscopiques (halite et trémies) et microscopique du cristal de sel (**DOCS 2, 3 ET 5**).
- Comparez la forme des flocons de neige et la structure microscopique de la glace (**DOCS 5 ET 6**).
- Expliquez en quoi les propositions de Haüy permettent d'interpréter la géométrie des cristaux, et quelles en sont les limites (**DOC.4**).

La diversité des cristaux

Un cristal résulte de l'arrangement régulier, dans l'espace, des entités microscopiques qui le constituent. La nature et l'organisation de ces entités étant très diverses, il existe une multitude de cristaux différents.

Quelles informations, à l'échelle microscopique, sont nécessaires pour définir un cristal ?

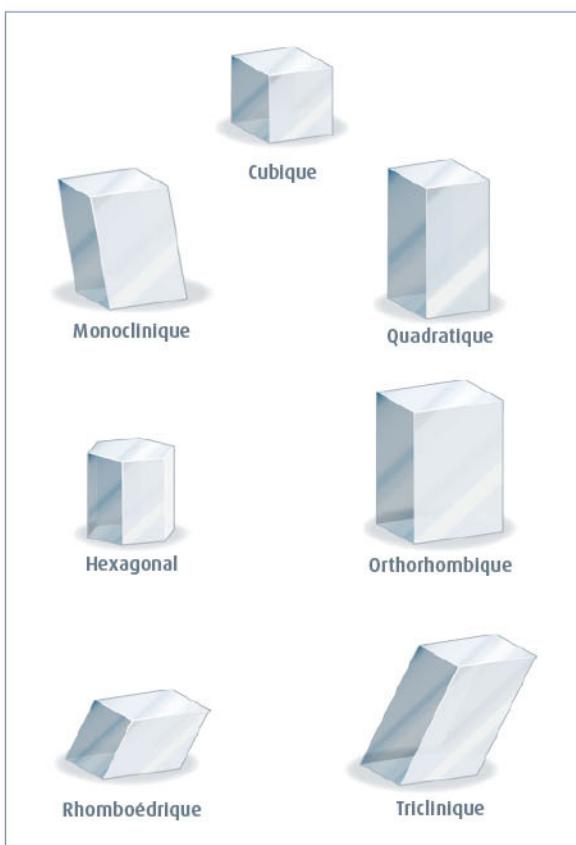
La diversité des mailles

Histoire des sciences

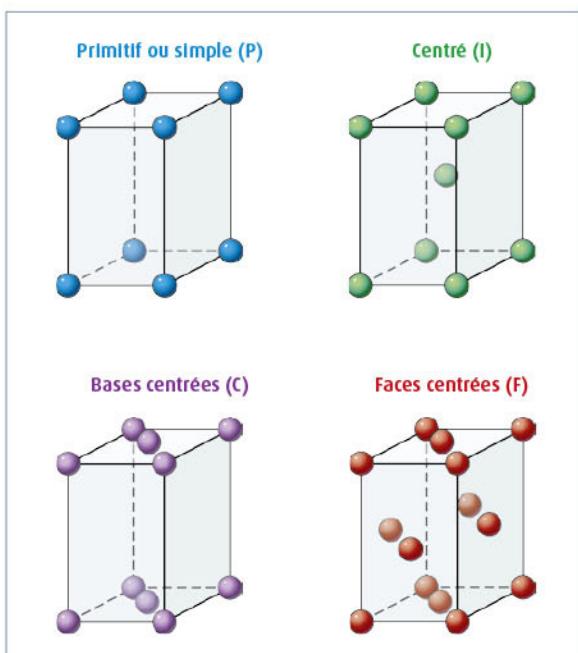


Gabriel Delafosse, né en 1796 et mort en 1878, est le dernier élève de l'abbé Haüy. En 1840, il affine la notion de « molécules constitutantes » proposée par son professeur. Il explique que l'élément de base d'un cristal n'est pas une brique de matière, mais un volume contenant des atomes qu'il appelle « maille ». Les cristaux, aussi appelés réseaux cristallins, sont formés par la répétition périodique d'une maille dans l'espace. L'ordre de grandeur de la maille étant le nanomètre (10^{-9} m), on a environ 10^{21} mailles dans un cristal d'un centimètre (10^{-2} m).

DOC 1 Gabriel Delafosse et la notion de maille.



DOC 2 **Les sept systèmes cristallins.** Il existe sept systèmes cristallins correspondant aux sept formes de mailles possibles. Tout cristal peut être construit grâce à l'un de ces systèmes.



DOC 3 **Les quatre types de réseaux.** Il existe quatre façons de remplir les sept systèmes cristallins, schématisées ici sur la maille orthorombique en perspective cavalière. Les boules de couleur représentent les nœuds du réseau, points autour desquels le cristal se construit, et sur chaque nœud est centré un motif. Le motif est la plus petite entité chimique du cristal qui se reproduit périodiquement dans l'espace, et peut donc être un atome, une molécule ou un groupement d'ions. En fonction de la géométrie du motif, il n'y a pas forcément d'atome placé exactement sur le nœud (voir la glace, unité 1, doc 5).

Le remplissage des mailles



**Interview de Bertrand Toudic,
directeur de recherche CNRS
à l'Institut de Physique de Rennes**

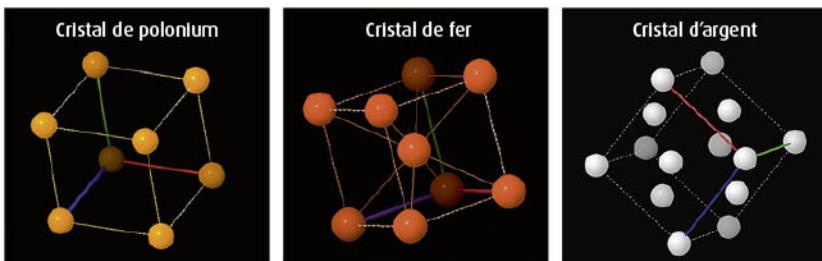
Pour déterminer la structure d'un cristal, il faut commencer par fabriquer un monocristal. Si certains, comme le sel, sont faciles à obtenir, d'autres nécessitent des conditions très particulières qui rendent cette étape compliquée. L'étude de l'arrangement des atomes dans le matériau se fait ensuite par diffraction de rayons X. L'exposition d'un monocristal à des rayons X donne une image constituée de taches de diffraction très fines et parfaitement organisées. La symétrie du cristal étant conservée dans cette image de diffraction, l'analyse de la disposition

de ces taches permet de connaître la forme de la maille du cristal, autrement dit de déterminer son système cristallin. Par ailleurs, chaque atome a une carte d'identité : son nombre d'électrons, qui détermine sa capacité de diffraction des rayons X. L'intensité des taches lumineuses du cliché de diffraction permet donc de connaître la nature et la position des atomes à l'intérieur de la maille. Plus le nombre d'atomes augmente et plus cette deuxième étape est ardue, voire impossible. Ainsi, l'arrangement de cristaux de grosses protéines, contenant jusqu'à des dizaines de milliers d'atomes dans une maille, reste un vaste sujet de recherche à l'heure actuelle.

Cliché de diffraction
du cristal de sel

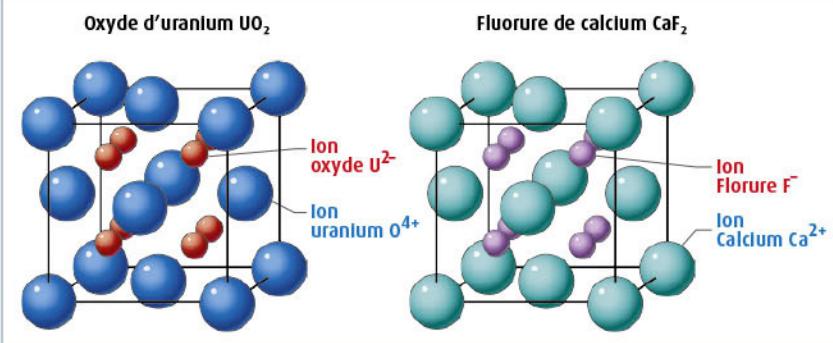


DOC 4 Détermination de la structure d'un cristal.



DOC 5 Représentations 3D des trois types de réseaux cubiques. Le remplissage bases centrées n'existe pas pour la maille cubique.

DOC 6 Représentations 3D de deux cristaux de même structure. L'oxyde d'uranium, utilisé comme combustible dans les centrales nucléaires, et le fluorure de calcium, employé dans la prévention des caries, n'ont pas la même formule chimique mais cristallisent selon la même structure. Des ions positifs forment un réseau cubique faces centrées et des ions négatifs sont présents à l'intérieur de la maille.



ACTIVITÉ GUIDÉE

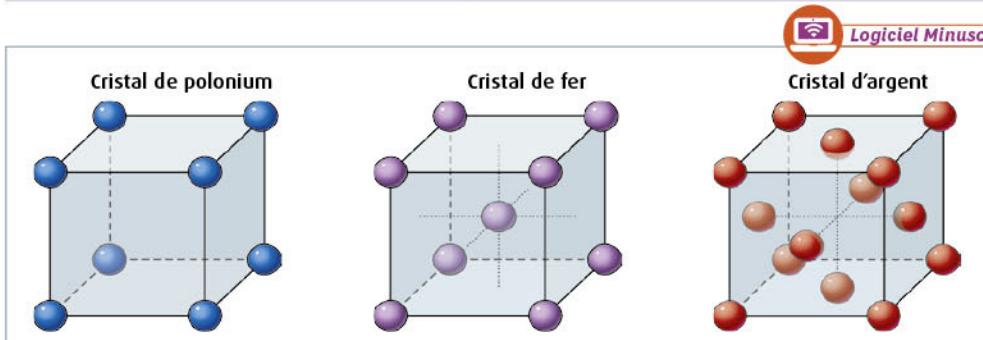
- Expliquez, à l'aide du concept introduit par Gabriel Delafosse, la diversité des formes des cristaux (DOCS 1 ET 2).
- Dessinez un réseau cubique simple et un réseau cubique faces centrées en perspective cavalière (DOC. 3).
- Déterminez les points communs et différences géométriques entre les cristaux de polonium, de fer et d'argent (DOCS 3 ET 5).
- Déterminez les points communs et les différences entre le cristal d'oxyde d'uranium et le cristal de fluorure de calcium (DOC. 6).
- Récapitez les trois paramètres qui permettent de définir un cristal.
- Expliquez la technique qui permet de décrire la structure d'un cristal (DOC. 4).

Les propriétés des cristaux

La connaissance de la forme géométrique de la maille, de la nature et de la position dans cette maille des entités chimiques, permet de décrire complètement un cristal. L'utilisation de ces informations permet également de déterminer certaines de ses propriétés.

Comment déterminer les propriétés macroscopiques d'un cristal grâce à une approche géométrique ?

Calcul de la multiplicité



DOC 1 Trois exemples de réseaux cubiques monoatomiques. Le motif du cristal de polonium est un atome de polonium et tous les nœuds du réseau sont occupés par un atome. Il en est de même pour les cristaux de fer et d'argent avec leurs atomes respectifs.

Tableau de contribution d'un atome à la maille en fonction de sa position		
Place d'un atome dans la maille	Nombre de mailles qui se partagent l'atome	Contribution de l'atome à la maille
Centre		1
Face		$\frac{1}{2}$
Arête		$\frac{1}{4}$
Sommet		$\frac{1}{8}$

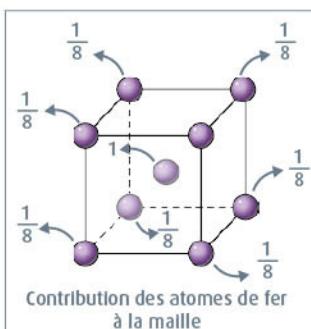
La multiplicité Z d'une maille est égale au nombre total d'atomes par maille. Une maille est dite primitive si Z=1. Sinon elle est dite multiple.

Exemple de calcul pour le fer:

Dans le cas du cristal de fer, un atome au sommet de la maille est partagé entre 8 mailles. Sa contribution à la maille est donc de $\frac{1}{8}$ e d'atome. Or, dans une maille, il y a des atomes aux 8 sommets donc leur contribution totale est de $8 \times \frac{1}{8} = 1$. L'atome au centre de la maille n'est partagé avec aucune autre maille et a donc une contribution de 1. La multiplicité étant égale à la somme des contributions des atomes, on obtient donc :

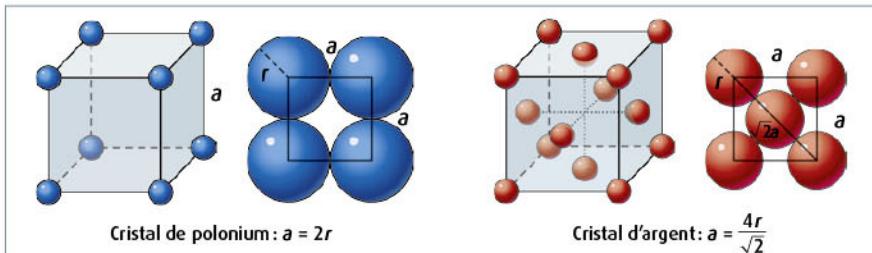
$$Z = (8 \times \frac{1}{8}) + (1 \times 1) = 2.$$

La multiplicité du cristal de fer vaut 2.



DOC 2 Définition de la multiplicité.

Calcul de la masse volumique et de la compacité



DOC 3 Longueur des arêtes des mailles pour les cristaux de polonium et d'argent. En considérant que les atomes ont une forme sphérique et sont tangents, on peut exprimer la longueur a d'une arête d'une maille en fonction du rayon r des atomes.

MASSE VOLUMIQUE

La masse volumique ρ d'un cristal s'exprime en $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

$$\rho = \frac{m_{\text{maille}}}{V_{\text{maille}}}$$

La maille étant cubique, $V_{\text{maille}} = a^3$

Avec a = longueur de l'arête de la maille en cm

Par ailleurs, $m_{\text{maille}} = Z \times m_{\text{atome}} = Z \times \frac{M_{\text{atome}}}{N}$

Avec : N = Nombre d'Avogadro = $6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

M_{atome} = masse molaire de l'atome en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$\text{Donc: } \rho = \frac{Z \times \frac{M_{\text{atome}}}{N}}{a^3}$$

COMPACITÉ

La compacité C mesure l'occupation du volume de la maille par les atomes. C'est un nombre sans dimension, compris entre 0 et 1.

$$C = \frac{V_{\text{atomes}}}{V_{\text{maille}}}$$

Les atomes étant sphériques, $V_{\text{atome}} = \frac{4}{3}\pi r^3$

Avec r = rayon d'un atome en cm

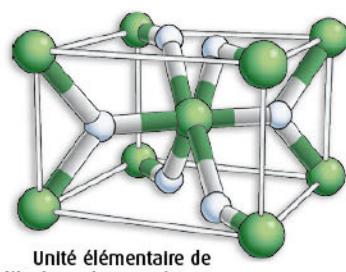
Donc :

$$C = \frac{Z \times \frac{4}{3}\pi r^3}{a^3}$$

DOC 4 Calcul de la masse volumique d'un cristal cubique monoatomique.

L'hydrogène est utilisé en grandes quantités dans certains procédés industriels, et commence à être employé comme carburant pour les véhicules. Le stockage sous forme gazeuse ou liquide présente des risques puisqu'une fuite peut entraîner une explosion. C'est pourquoi une méthode de stockage solide a été mise au point, en hébergeant l'hydrogène dans des

métals comme le magnésium. Une solution plus sûre et qui permet de stocker plus d'hydrogène par mètre cube. Le magnésium est d'abord broyé en une fine poudre afin d'obtenir de petits cristaux, puis l'hydrogène gazeux et envoyé sur ces cristaux qui «absorbent» les atomes d'hydrogène pour former un hydrure de magnésium (MgH_2).



DOC 6 Stocker de l'hydrogène dans des cristaux.

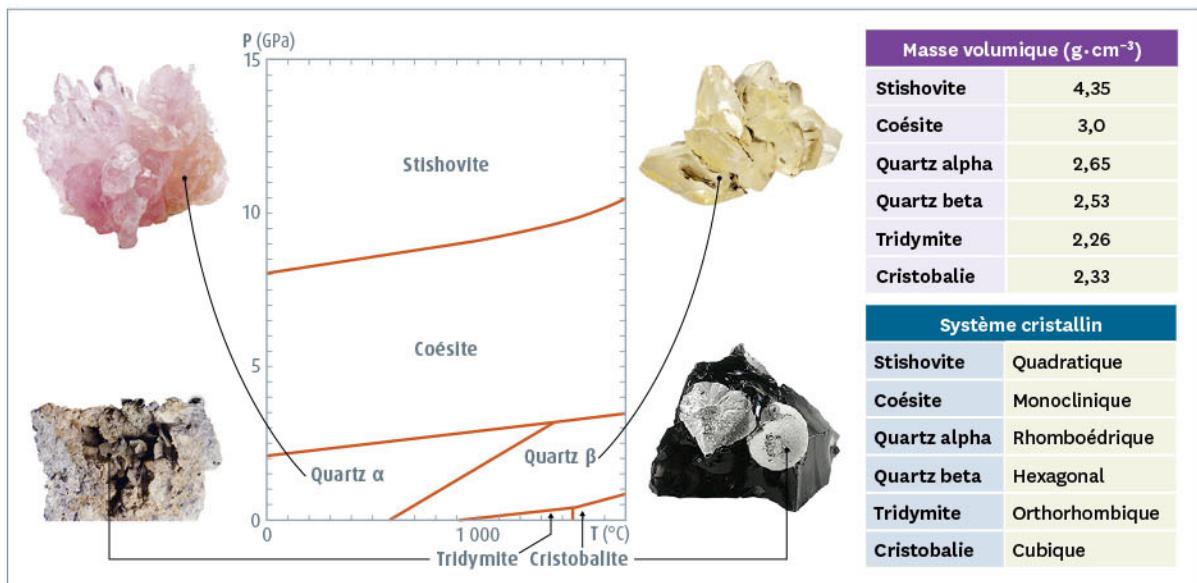
ACTIVITÉ GUIDÉE

- Calculez la multiplicité de la maille du cristal de polonium (DOCS 1 ET 2).
- Sachant que $M_{\text{polonium}} = 209 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $r_{\text{polonium}} = 0,168 \text{ nm}$, calculez la masse volumique du polonium (DOCS 3 ET 4).
- Calculez la compacité de la maille de polonium (DOC. 5).
- Reprenez les questions 1 à 3 pour le cristal d'argent, sachant que $M_{\text{argent}} = 107,9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $r_{\text{argent}} = 0,145 \text{ nm}$.
- Donnez un exemple d'utilisation par les humains du vide dans les cristaux (DOC. 6).

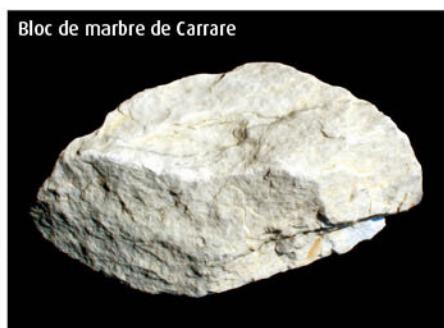
Les cristaux dans les roches

Les cristaux que l'on trouve dans la nature, dans les roches par exemple, peuvent être identifiés grâce à leurs propriétés macroscopiques et microscopiques.

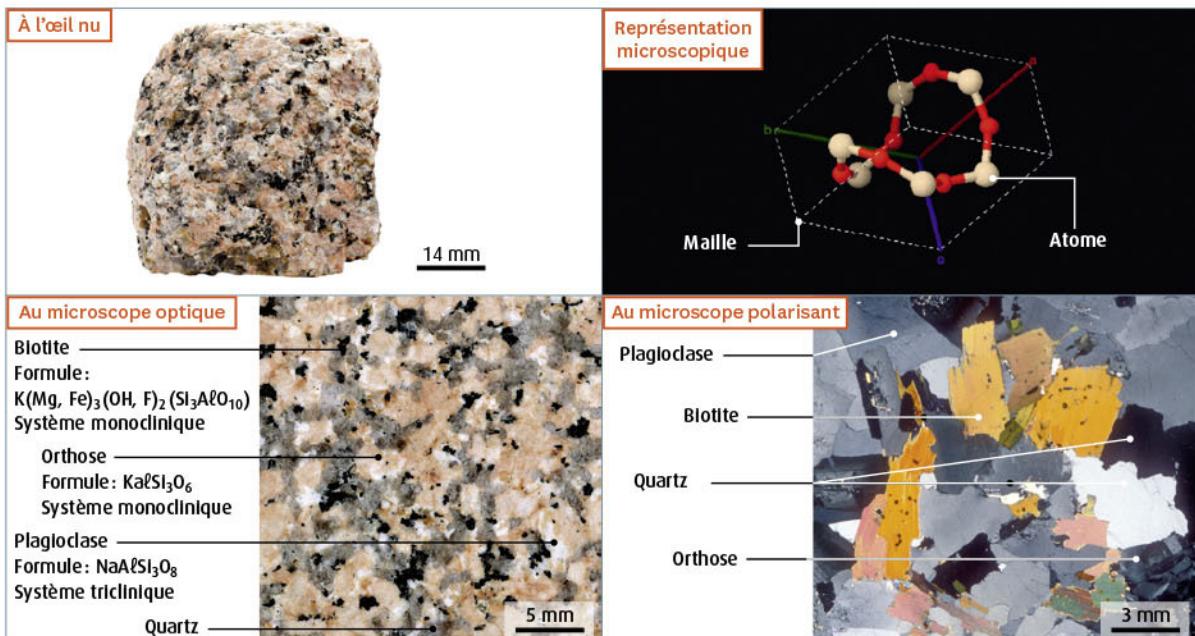
Quel est le lien entre roches, minéraux et cristaux ?



DOC 1 Les différentes formes cristallines de la silice. La silice, de formule chimique SiO_2 , est un minéral qui cristallise sous différentes formes selon les conditions de pression et de température. Des études expérimentales menées en laboratoire ont permis de connaître ces conditions.



DOC 2 Marbre de Carrare. Le marbre de Carrare est une roche qui provient des carrières de la région de Carrare en Italie. C'est l'un des marbres les plus prisés pour sa blancheur. Il est constitué de cristaux de calcite, de formule chimique CaCO_3 et de structure rhomboédrique.



DOC 3 Le granite observé à plusieurs échelles. Le granite est une roche qui forme l'essentiel de la croûte continentale de la Terre. Elle est constituée de plusieurs minéraux, dont de silice sous la forme de quartz.

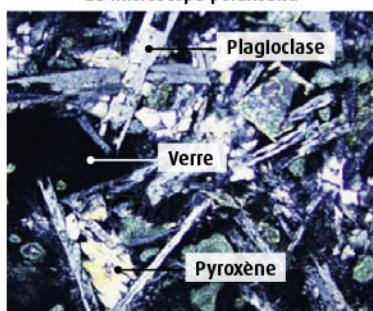
Le basalte résulte du refroidissement rapide d'un magma parvenu en surface : on parle alors de lave. Lorsque la lave s'épanche dans l'eau, les coulées prennent une forme en coussins qu'on appelle *pillow lavas*, dont la périphérie refroidit beaucoup plus rapidement que le cœur. Ces

structures contiennent du verre volcanique, composé des minéraux n'ayant pas eu le temps de cristalliser. Le verre est un solide amorphe, dans lequel les constituants sont assemblés sans ordre géométrique, et il apparaît donc en noir lorsqu'il est passé sous une lumière polarisée.

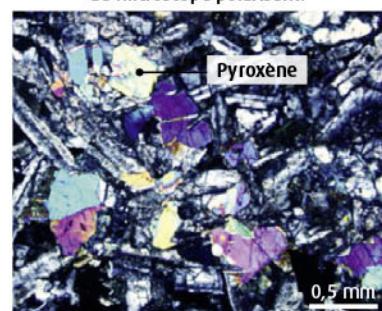
Un *pillow lava* sur le plancher océanique.



Périphérie du *pillow lava* au microscope polarisant.



Cœur du *pillow lava* au microscope polarisant.



DOC 4 Composition des *pillow lavas*.

ACTIVITÉ GUIDÉE

1. Déterminez les différences et le facteur commun des différentes formes de la silice, puis donnez une définition du terme « minéral » (DOC. 1).
2. Donnez une définition du terme « roche » (DOC. 2 ET 3).
3. Identifiez et indiquez les échelles d'une roche, d'un minéral, d'un cristal et d'une maille (DOC. 3).
4. Déterminez quelle partie du *pillow lava* contient davantage de verre volcanique et expliquez pourquoi (DOC. 4).

Les cristaux du vivant

Dans la nature, les cristaux sont présents dans les roches sous forme de minéraux. On trouve également des cristaux chez les êtres vivants.

Quelles structures cristallines existent chez les êtres vivants et quels sont leurs rôles ?



2 cm

DOC 1 Une coquille d'ormeau. L'ormeau est un mollusque marin qui est récolté pour être consommé, mais aussi pour la nacre de sa coquille. La nacre est le revêtement intérieur de la coquille sécrétée par le mollusque tout au long de sa vie.

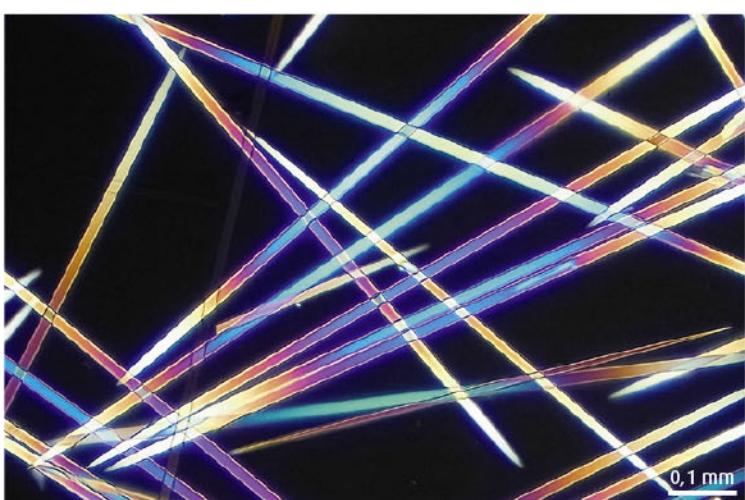
La nacre est constituée à 5 % de matière organique et à 95 % de matière minérale : des cristaux d'aragonite de formule CaCO_3 . Elle est construite comme un mur, avec des briques minérales dont la mise en place et l'arrangement sont guidés par la fraction organique. Ce mur est divisé en colonnes dans lesquelles les cristaux sont organisés selon des directions préférentielles, différentes des colonnes voisines. Ceci permet d'éviter l'apparition de plans de clivage, à l'origine de fractures. La nacre est 3 000 fois plus dure que l'aragonite pure, et présente une très grande rigidité et résistance à la compression.



Nacre observée au microscope électronique à balayage.

1 µm

DOC 2 La composition de la nacre.

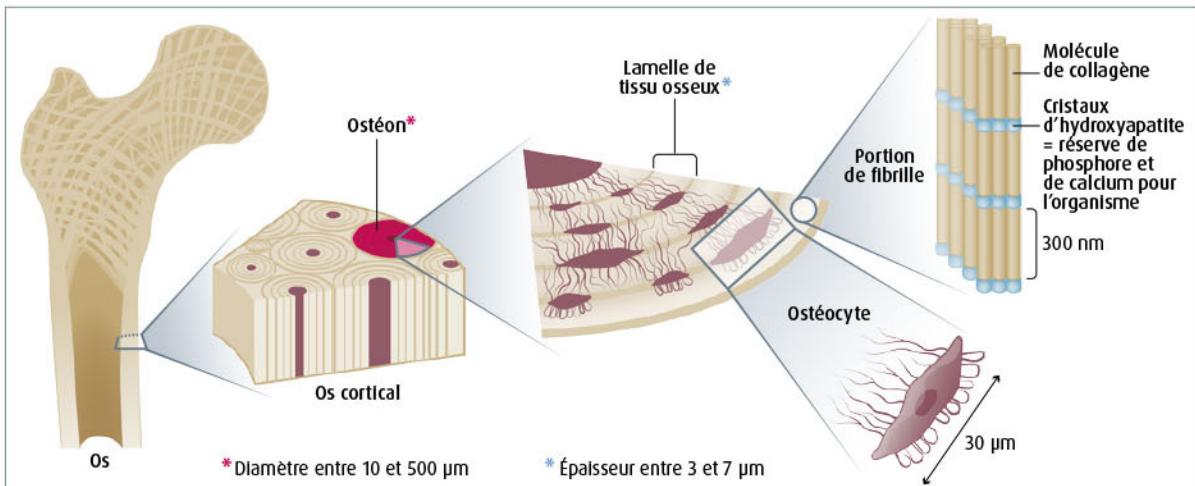


0,1 mm

DOC 3 Raphides issues de cellules de dicotylédone observées au microscope polarisant. Les raphides sont de fins cristaux d'oxalate de calcium ou de carbonate de calcium, présents dans les feuilles et tiges de très nombreuses familles de plantes.

Lorsqu'un herbivore consomme une plante contenant des raphides, ceux-ci peuvent blesser la muqueuse de la bouche ou de l'œsophage. Si la plante contient en plus des substances toxiques, elles peuvent alors pénétrer plus facilement et entraîner des symptômes parfois sévères chez l'animal. De plus, l'oxalate de calcium est un irritant qui peut entraîner un œdème (gonflement) des muqueuses, des brûlures et la formation de vésicules lors du contact avec la peau.

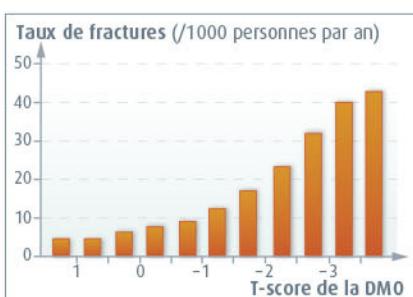
DOC 4 Effets de l'ingestion de raphides sur les herbivores.



DOC 5 La composition des os. La partie externe de l'os, appelée os cortical, est un tissu osseux compact capable de supporter de fortes pressions. Il est constitué d'unités cylindriques, les ostéons, formés de lamelles concentriques dans lesquelles se situent les ostéocytes, les cellules du tissu osseux. Entre ces cellules, les lamelles sont constituées de fibrilles de collagène (protéine fibreuse) et de matière minérale, les cristaux d'hydroxyapatite. Le collagène est sécrété par les ostéocytes.

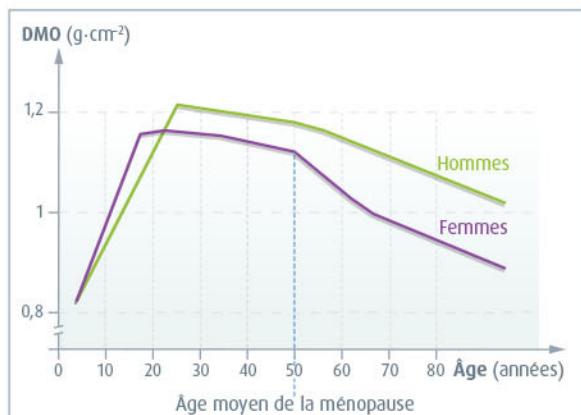


DOC 6 Cristaux d'hydroxyapatite extraits d'os observés au microscope électronique à balayage.



DOC 8 Evolution du taux de fractures en fonction du T-score de la DMO.

Pour savoir si une DMO est élevée ou basse, on utilise le T-score. Celui-ci compare la DMO d'un individu à des valeurs de référence d'une population adulte de 20-30 ans. La DMO est considérée comme basse si le T-score est inférieur à -2,5.



DOC 7 Évolution de la DMO au cours de la vie d'une femme et d'un homme. La densité minérale osseuse (DMO) est d'autant plus élevée que la quantité d'hydroxyapatite dans l'os est importante. La DMO est déterminée sur une image de l'os obtenue grâce à un rayonnement X et est exprimée en $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$.

TÂCHE COMPLEXE

Mission

Répondez à la question de l'unité sous forme d'un texte d'une quinzaine de lignes.

Besoin d'aide ?



Pistes de réalisation

- Identifiez les cristaux présents chez chaque être vivant.
- Déterminez les propriétés que les cristaux confèrent aux structures qui les entourent.
- Expliquez quels rôles ces structures peuvent alors assurer.



1. Les cristaux, des solides organisés > UNITÉS 1 ET 2

- Les **cristaux** sont caractérisés par la répétition régulière dans l'espace d'entités chimiques (atomes, ions ou molécules).
- Un cristal est caractérisé par la répétition périodique d'une **maille** élémentaire. Le **système cristallin** est défini par la forme géométrique de la maille. On distingue 7 types de maille.
- On définit la **multiplicité** Z d'une maille comme le nombre d'atomes contenus dans une maille élémentaire.

2. Quelques propriétés des cristaux > UNITÉ 3

- La **compacité** C mesure l'occupation du volume de la maille par les atomes. C'est un nombre sans dimension compris entre 0 et 1: $C = \frac{V_{\text{atomes}}}{V_{\text{maille}}}$
- La **masse volumique** ρ d'un cristal exprime le rapport entre la masse d'un cristal et son volume, exprimé en $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$.
- Pour un cristal de maille cubique:

$$C = \frac{Z \times \frac{4}{3} \pi r^3}{a^3}$$

avec:
 r rayon de l'atome ou de l'ion; a longueur de l'arête de la maille cubique;
 r et a dans la même unité.

$$\rho = \frac{Z \times \frac{M_{\text{atome}}}{N}}{a^3}$$

avec: Z multiplicité de la maille;
 M masse molaire du composé ($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$);
 $N = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$;
 a longueur de l'arête de la maille cubique (cm);
 ρ masse volumique ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$).

3. Les cristaux dans les roches > UNITÉ 4

- Un composé de formule chimique donnée peut cristalliser sous différents types de structures selon les conditions de cristallisation (pression, température, etc.). Ainsi un minéral se caractérise par sa composition chimique et son organisation cristalline.
- Une roche est formée de l'association de cristaux d'un même **minéral** ou de minéraux différents.
- Dans un basalte (roche volcanique), les minéraux sont entourés par un **verre**, dans lequel les entités chimiques ne présentent pas d'arrangement géométrique régulier et répété: c'est un solide amorphe. La présence de verre résulte d'une solidification très rapide de la lave.

4. Les cristaux dans le vivant > UNITÉ 5

- Les êtres vivants peuvent posséder des structures cristallines qui jouent des rôles variés. Par exemple, des cristaux sont responsables de propriétés mécaniques des coquilles de mollusques ou des os des vertébrés. Quant aux cristaux présents dans certaines cellules végétales, ils sont toxiques pour les herbivores.

Les mots-clés du chapitre

Compacité • Cristal • Maille • Masse volumique • Minéral • Multiplicité • Système cristallin • Verre

l'essentiel par l'image

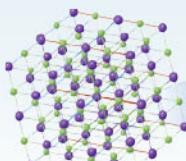
L'organisation du cristal de sel

Niveau macroscopique

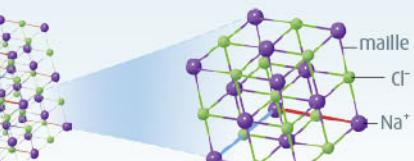


Cristaux de chlorure de sodium (sel)

Niveaux microscopiques



Réseau cristallin du sel



Unité élémentaire du sel

La définition d'un cristal

Un cristal est défini par :

La forme de sa maille



Monoclinique



Cubique



Quadratique



Triclinique



Hexagonal



Orthorhombique



Rhomboédrique

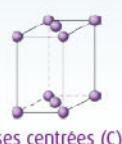
+

La position et la nature des entités qui le constituent

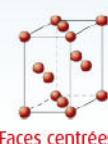


Primitif ou simple (P)

= nœuds du réseau sur lesquels sont centrés les motifs du réseau



Bases centrées (C)



Faces centrées (F)



Centré (I)

Cristaux et verre

• Minéraux : ordre géométrique



Formule chimique identique
Cristaux ayant des structures et propriétés macroscopiques différentes

• Des structures cristallines existent :

Dans les roches



chez les êtres vivants



Solides amorphes : pas d'ordre géométrique



Verre dans une roche volcanique
Issu du refroidissement très rapide
de la lave = solide amorphe

Tester ses savoirs

1 Vrai/Faux

Identifiez les affirmations fausses et corrigez-les.

- a. Dans un solide cristallin, l'arrangement des atomes est ordonné.
- b. Il existe cinq formes de mailles différentes.
- c. Lors du refroidissement lent de la lave, il se forme du verre qui est un solide amorphe.

- d. Un composé de formule chimique donnée ne peut cristalliser que sous un seul type de structure.
- e. Une roche est toujours formée de l'association de cristaux d'un même minéral.

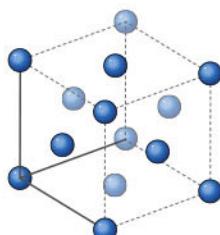
2 QCM

Pour chaque proposition, identifiez la bonne réponse.

- 1. La technique qui permet de déterminer la position des entités chimiques dans la maille est :**
- a. la réfraction par rayons X
 - b. la diffraction par rayons X
 - c. la réflexion par rayons X
 - d. l'absorption par rayons X

- 2. Les paramètres qui permettent de définir complètement un cristal sont :**
- a. le nombre d'entités chimiques dans le cristal
 - b. la forme de la maille et le type de remplissage
 - c. la forme de la maille et la nature et la position des entités chimiques
 - d. la formule chimique et le système cristallin

- 3. Le fer, dont l'unité élémentaire est représentée ci-contre, cristallise dans un système :**
- a. cubique primitif
 - b. cubique centré
 - c. cubique faces centrées
 - d. cubique base centrée



- 4. La compacité mesure :**

- a. le nombre d'atomes par maille
- b. l'occupation du volume de la maille par les atomes
- c. la masse de la maille par rapport à son volume
- d. le volume occupé par un motif

- 5. La silice SiO_2 est :**

- a. un minéral
- b. un cristal
- c. un composé chimique
- d. une roche

- 6. Les cristaux fabriqués par les êtres vivants :**

- a. sont toujours localisés à l'extérieur des cellules
- b. ont tous la même formule chimique
- c. servent uniquement de système de défense
- d. peuvent, dans certains cas, renforcer la rigidité et la résistance des tissus

3 Question de synthèse

Expliquez en quoi l'organisation de la maille cristalline au niveau microscopique est reliée à la structure du cristal au niveau macroscopique.

Critères de réussite

- ✓ J'ai présenté les paramètres permettant de décrire une maille.
- ✓ J'ai indiqué la spécificité structurelle d'un cristal.
- ✓ J'ai relié les notions en utilisant des connecteurs logiques.

4 Calculer

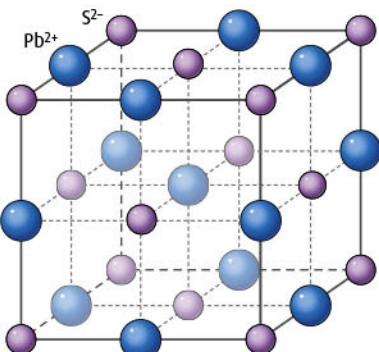
La structure de la galène

La galène est un solide minéral composé de sulfure de plomb de formule PbS . C'est la principale source de plomb pour l'industrie.

DOC 1 Représentation 3D de l'unité élémentaire de sulfure de plomb.

QUESTIONS

- Identifiez le système cristallin du sulfure de plomb.
- Déterminez le type de réseau formé par les ions négatifs S^{2-} , et décrivez comment les ions positifs Pb^{2+} sont placés par rapport à eux.
- Calculez la multiplicité des ions négatifs, puis celle des ions positifs.



5 Interpréter des données et calculer

La peste de l'étain

Vidéo du changement de forme de l'étain



L'étain pur possède deux formes cristallines : l'étain gris Sn_α et l'étain blanc Sn_β . L'étain gris cristallise dans la même structure que le diamant, à savoir un réseau cubique faces centrées auquel s'ajoutent quatre atomes à l'intérieur de la maille. Par grand froid (température proche de -50°C), un phénomène appelé peste de l'étain rend l'étain pulvérulent (il tombe en poussière).

	Étain gris Sn_α	Étain blanc Sn_β
Température de stabilité	$\theta < 13^\circ\text{C}$	$\theta > 13^\circ\text{C}$
Masse volumique ρ (en $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	5,75	7,28

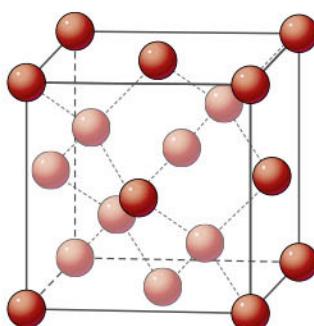
DOC 1 Propriétés des deux formes cristallines de l'étain.



DOC 2 Photo du phénomène de la peste de l'étain.

QUESTIONS

- Expliquez la peste de l'étain.
- Calculez la multiplicité de l'étain gris.
- Sachant que la masse molaire de l'étain est $M(\text{Sn}) = 118,7 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, calculez la longueur de la maille de l'étain gris (voir doc 4 unité 3).



DOC 3 Représentation 3D de l'unité élémentaire de l'étain.

6 Analyser des données et raisonner

Les nano-cristaux des caméléons

Les caméléons sont capables de changer de couleur pour se camoufler, mais également, chez les mâles, pour intimider leur adversaire pendant un combat et impressionner les femelles. Cette capacité, très rare dans la nature, est l'œuvre de nano-cristaux de guanine (un des constituants de l'ADN) contenus dans certaines cellules de la peau des caméléons appelées iridophores. Lorsque les cristaux sont

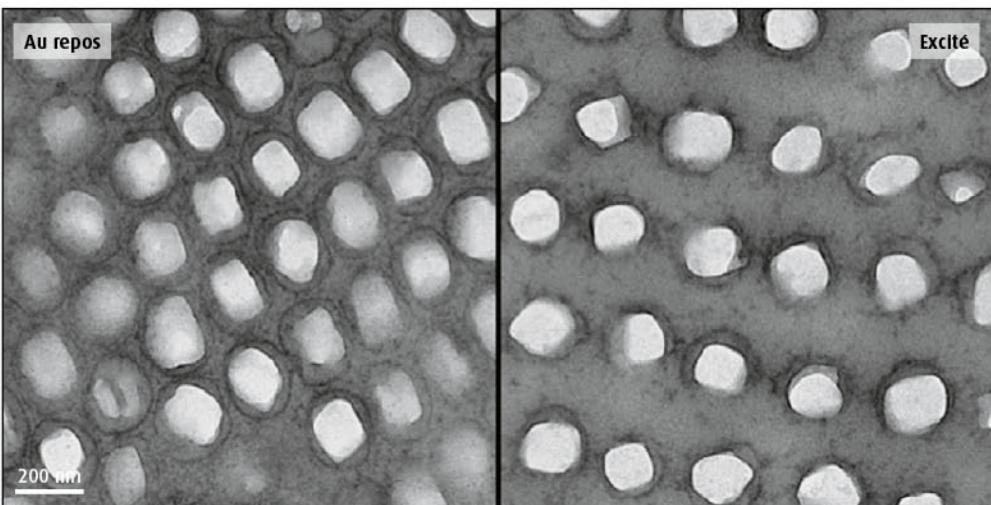
assez rapprochés, ils reflètent les petites longueurs d'ondes, qui correspondent aux couleurs bleu et vert. Lorsque la distance entre les cristaux augmente, ils reflètent les longueurs d'ondes plus importantes, qui correspondent aux couleurs jaune, orange, rouge. Ce processus d'expansion et de contraction du réseau cristallin est très rapide (quelques minutes) et complètement réversible.



Excité



DOC 1 Changement de couleur d'un caméléon.



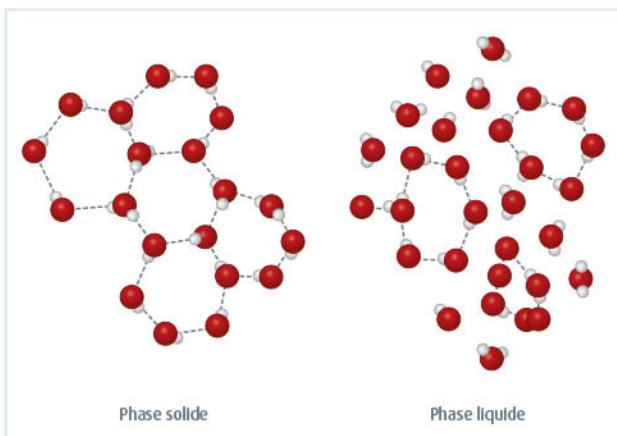
DOC 2 Observation au MET de la répartition des nano-cristaux de guanine dans les iridophores d'un caméléon au repos et excité.

QUESTIONS

- Identifiez les cristaux présents chez le caméléon, et localisez-les.
- Expliquez comment ces cristaux permettent aux caméléons de changer de couleur.
- Déterminez en quoi cette capacité est utile pour les caméléons.

Vie de tous les jours

Pourquoi la glace flotte-t-elle sur l'eau ?



Disposition des molécules dans le cristal de glace (à gauche) et dans l'eau liquide (à droite).

Pour la plupart des corps, la phase solide est plus dense que la phase liquide. Mais lorsque l'eau se solidifie, elle forme un réseau cristallin particulier qui laisse des espaces plus grands entre les molécules que dans l'état liquide. Ainsi, le volume occupé par un nombre donné (donc une masse donnée) de molécules d'eau dans un cristal de glace est plus important que le volume occupé par ces mêmes molécules à l'état liquide. Il en résulte donc une densité plus basse pour l'eau solide. Cette propriété peu commune conduit à des phénomènes qui nous paraissent naturels comme les icebergs ou les glaçons flottant dans un verre.

Pour en savoir plus Vidéo de l'émission *C'est pas Sorcier*

Menez l'enquête

Déterminez s'il existe d'autres corps purs dont le volume augmente lors de la solidification.

Ecologie

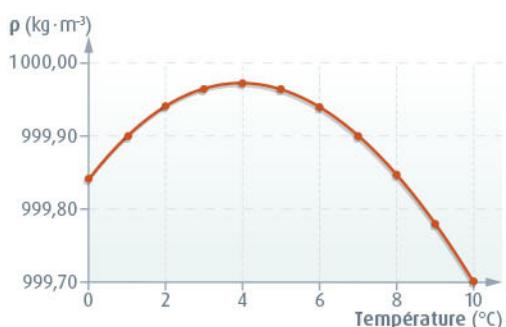
La vie dans les lacs en hiver

Les atomes d'hydrogène des molécules d'eau se lient facilement aux atomes d'oxygène des molécules voisines. Ces liaisons sont appelées « liaisons hydrogènes ». Elles sont responsables de la structure particulière du réseau cristallin de la glace. Lorsque la température de l'eau diminue, deux phénomènes opposés influent sur sa densité. La diminution de l'agitation thermique entraîne une contraction et une augmentation de la densité. La formation de liaisons hydrogène entraîne l'apparition de cycles à 6 molécules (voir figure ci-dessus), augmentant l'espace occupé par les molécules et induisant une diminution de la densité. Ainsi, l'eau liquide présente un maximum de densité à 4 °C. Conséquence : en hiver, le fond des lacs se maintient à 4 °C, empêchant ainsi les lacs de geler entièrement, et sauvant la vie des espèces aquatiques qui y vivent.

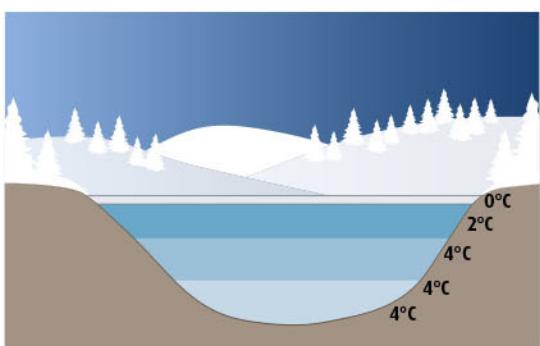
Pour en savoir plus Site consacré aux lacs de montagne

Menez l'enquête

Sachant qu'en hiver la chaleur est évacuée par le haut, décrivez le mécanisme qui conduit à la répartition de température dans un lac.



Évolution de la densité de l'eau liquide avec la température.



Profil de température dans un lac en hiver.