

# 1

## L'ORGANISATION DE LA MATIÈRE DANS LES SOLIDES

Un solide est constitué d'entités chimiques (atomes, ions ou molécules) qui, liées entre elles, lui donnent une forme propre. Si le sel et le verre sont tous deux des solides, l'étude de leur structure microscopique révèle des différences.

### Comment se distinguent les solides à l'échelle microscopique ?

**OBJECTIF**  
Distinguer les solides cristallins des solides amorphes

### → Les cristaux de sel, un exemple de solide ordonné

#### 1 Un cristal naturel : le sel\*

Les marais salants sont des exploitations permettant la production du sel. Ils sont constitués de bassins de grande surface et de faible profondeur alimentés en eau de mer. L'eau s'évapore sous l'action du Soleil et du vent, et c'est ainsi que l'on obtient la cristallisation\* du sel dissout dans l'eau de mer. Le sel, alors à l'état solide, s'accumule par décantation\* au fond des bassins, où il peut ensuite être récolté par les sauniers.



Marais salants à Noirmoutier.

#### \* VOCABULAIRE

**Cristallisation** : processus inverse de la dissolution.

**Décantation** : processus permettant de séparer par gravité les particules solides de la phase liquide.

**Maille** : forme géométrique permettant de décrire l'empilement des entités chimiques (les ions dans le cas du chlorure de sodium) et qui se répète de manière régulière (périodique) pour former le cristal.

**Sel** : dans le langage courant, le sel désigne le sel de cuisine. En chimie, il désigne un solide constitué d'ions.

#### ✓ À SAVOIR

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) préconise un apport journalier de sel inférieur à 5 g. La consommation excessive de sel, et en particulier du sodium qu'il contient, augmente le risque d'hypertension artérielle et d'accident vasculaire cérébral.

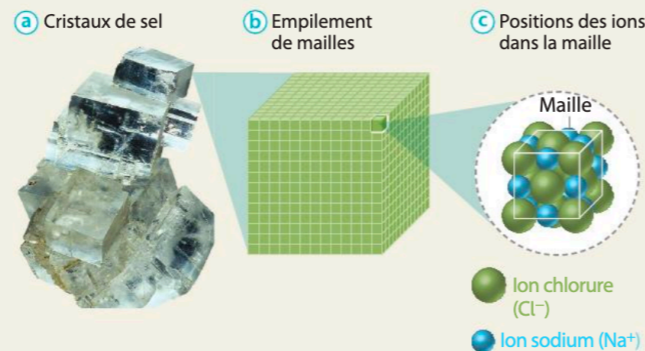
#### 2 Les cristaux de sel à l'échelle microscopique



L'abbé René-Just Haüy (1743-1822), minéralogiste français, est l'un des fondateurs de la cristallographie moderne (étude géométrique des cristaux). C'est en 1781, alors qu'il examine un cristal de calcite, que celui-ci lui échappe des mains et se brise sur le sol. L'abbé Haüy observe alors que les fragments résultants ont conservé la même forme géométrique que le cristal de départ, et ce indépendamment de leur taille. Il émet ainsi l'hypothèse de l'existence de « molécules intégrantes » qui, empilées les unes aux autres, génèrent le cristal.

En 1913, William Henry Bragg (1862-1942), chimiste britannique, décrit la structure cristalline du chlorure de sodium NaCl, composant majoritaire du sel de cuisine. Il démontre que les ions chlorure (Cl<sup>-</sup>) et les ions sodium (Na<sup>+</sup>) s'empilent de façon régulière comme l'avait prédit René-Just Haüy presque deux siècles plus tôt. Cette organisation microscopique caractérise un solide cristallin, aussi appelé « cristal ».

Le chlorure de sodium est décrit au niveau microscopique par une maille\* de forme cubique (c), reflet de l'arrangement des ions qui le constituent. L'empilement régulier et périodique des mailles (b) génère le cristal de chlorure de sodium à l'échelle macroscopique (a). C'est ce que l'on appelle l'état cristallin.



#### Merge cube

Le chlorure de sodium

hatier-clic.fr/es1038

### → Le verre, ou le règne du désordre

#### 3 Un matériau familier : le verre

Les premiers objets en verre datent d'environ 2 500 ans avant J.-C. et ont été retrouvés en Égypte et au Proche-Orient. À l'aide de l'extrémité de son tube en acier creux, appelé « canne du verrier », la souffeuse de verre recueille la pâte de verre en fusion à environ 1 300 °C. En soufflant dans la canne, l'artisan donne à l'objet la forme désirée.



Une verrière en plein soufflage du verre.

#### \* VOCABULAIRE

**Amorphe** : terme venant de la racine grecque *morphos* (forme) associée au préfixe privatif « a » pour signifier « sans forme ».

#### Point sciences

Les diatomées sont des organismes unicellulaires aquatiques (mesurant de 2 µm à 1 mm) constituées d'une « boîte » de verre poreuse à l'intérieur de laquelle vit une cellule. Cet organisme a la faculté de fabriquer le verre constituant sa coque à basse température (celle de l'eau dans lequel il vit) en utilisant la silice dissoute dans l'eau. Reproduire ce procédé offre aux chercheurs de nouvelles avancées technologiques dans la nanomédecine, la lutte contre la pollution des eaux, la fabrication de cellules photovoltaïques...

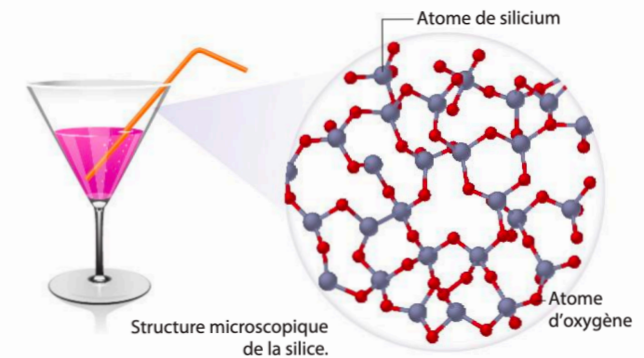
#### Vidéo

Le verre des diatomées  
hatier-clic.fr/es1039

#### 4 Le verre à l'échelle microscopique

Le verre n'est pas un solide cristallin car les atomes qui le constituent sont disposés de façon totalement désordonnée : c'est un solide amorphe\*.

L'analyse microscopique de la silice (SiO<sub>2</sub>), principal constituant du verre, montre que les atomes de silicium et d'oxygène ne suivent pas un arrangement ordonné.



Structure microscopique de la silice.

#### QUESTIONS

- 1 Nommer le changement d'état physique subi par l'eau dans le bassin d'un marais salant.
- 2 Comment est qualifiée l'organisation de la matière dans le sel (chlorure de sodium) ? dans le verre ?
- 3 Justifier que le sel soit un solide cristallin.
- 4 À quoi se réfèrent les « molécules intégrantes » supposées par l'abbé Haüy ?
- 5 Comment se différencie un solide cristallin d'un solide amorphe ?

#### Penser la science

Comprendre que le savoir scientifique résulte d'une longue construction collective

- À partir du document 2, identifier les étapes qui relèvent de la démarche scientifique et expliquer pourquoi les découvertes peuvent mettre plusieurs siècles à être confirmées.

Comprendre la démarche scientifique, p. 16

# DÉCRIRE ET CARACTÉRISER LES SOLIDES CRISTALLINS

**OBJECTIF**  
Décrire et utiliser les caractéristiques microscopiques des cristaux

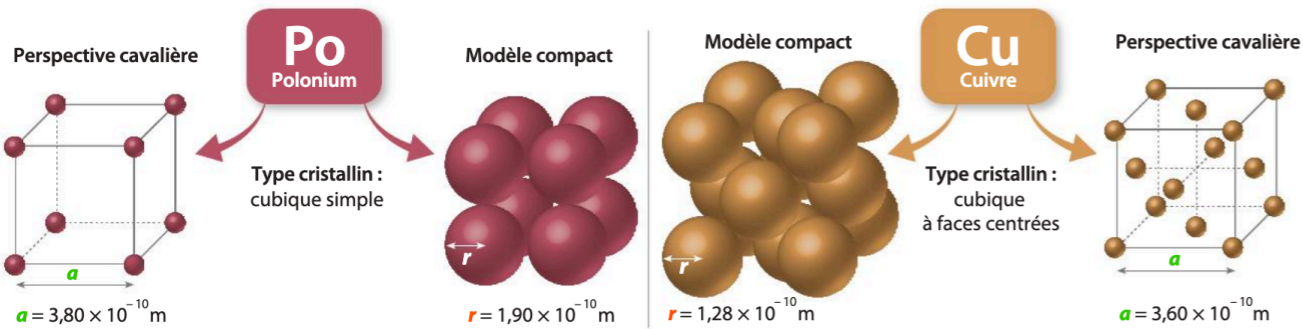
Les propriétés macroscopiques des solides cristallins, la masse volumique par exemple, sont liées à l'organisation de la matière au niveau microscopique. C'est l'agencement des atomes, des ions ou des molécules dans la maille qui caractérisent la structure des cristaux.

## Comment décrire la structure des cristaux à l'échelle microscopique ?

### Étude de cristaux au niveau microscopique

#### 1 Description des types cristallins du polonium et du cuivre

Le polonium et le cuivre sont des métaux qui cristallisent respectivement selon des structures de type cubique simple et cubique à faces centrées. Ces deux types cristallins sont décrits par une maille de forme cubique dans laquelle les atomes s'arrangent différemment.



#### 2 Nombre d'atomes par maille et compacité

##### Étape 1 Nombre $n$ d'atomes par maille

Le modèle tronqué, obtenu à partir du modèle compact, permet de repérer quelle fraction de chaque atome est à l'intérieur de la maille.

Chacun des 8 sommets de la maille présente  $1/8^e$  de l'atome

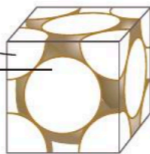


Type cubique simple

$$n = \text{fraction d'atome par sommet} \times 8$$

Chacun des 8 sommets de la maille présente  $1/8^e$  de l'atome

Chacune des 6 faces de la maille présente  $1/2$  de l'atome



Type cubique à faces centrées

$$n = (\text{fraction d'atome par sommet} \times 8) + (\text{fraction d'atome par face} \times 6)$$

##### Étape 2 Compacité $C$ (taux d'occupation de la maille)

C'est une grandeur sans unité qui est égale au rapport entre le volume total des atomes contenus dans la maille et le volume de la maille.

La compacité  $C$  est donc égale à :

$$C = \frac{\text{Volume des atomes dans la maille}}{\text{Volume de la maille}} = \frac{n \times \frac{4}{3} \times \pi \times r^3}{a^3}$$

#### QUESTIONS

- Nommer les types cristallins associés respectivement au polonium et au cuivre.
- Quelle forme géométrique permet de les représenter à l'échelle microscopique ?
- Montrer qu'une maille du polonium contient l'équivalent d'un atome de polonium et que celle du cuivre contient l'équivalent de quatre atomes de cuivre.
- En déduire la compacité des deux types cristallins dans le cas du polonium et du cuivre.

➔ Pour approfondir : ex. 10 et 11 p. 150

### → La masse volumique

#### Protocole expérimental

- Peser le cylindre et noter sa masse.
- Remplir l'éprouvette graduée avec 70 mL d'eau colorée.
- Introduire le cylindre dans l'éprouvette légèrement inclinée, en le faisant glisser le long de la paroi intérieure.
- Relever le volume total obtenu.

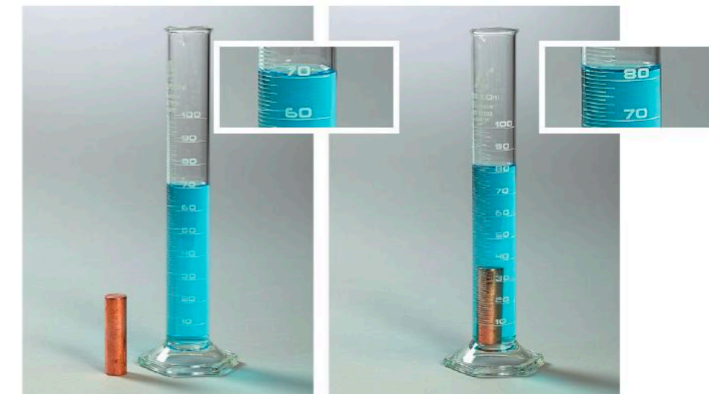
#### Matériel

- Une éprouvette graduée de 100 mL
- De l'eau colorée
- Un cylindre en cuivre
- Une balance

#### Observations



Mesure de la masse du cylindre (en grammes).



Mesure du volume du cylindre (en millilitres) par déplacement d'eau.

#### FORMULE

- La masse volumique, notée  $\rho$ , est égale au quotient de la masse  $m$  d'un corps par son volume  $V$  :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

en  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ou en  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$       en  $\text{kg}$  ou en  $\text{g}$       en  $\text{m}^3$  ou en  $\text{cm}^3$

#### QUESTIONS

Obtenir la masse volumique à partir de l'expérience

- Quelle est la masse du cylindre ?
  - Déterminer le volume du cylindre en détaillant les calculs.
  - Quelle est la masse volumique du cuivre en  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$  ?
- Obtenir la masse volumique à partir de la maille
- Connaissant la longueur de l'arête  $a$  de la maille du cuivre, calculer le volume de la maille en  $\text{cm}^3$ .
  - Connaissant la masse d'un atome de cuivre et sachant que la maille contient l'équivalent de  $n = 4$  atomes de cuivre, calculer la masse totale des atomes de cuivre contenus dans la maille.
  - En déduire la masse volumique du cuivre.

➔ Pour approfondir : ex. 9 p. 50

#### Penser la science

Identifier la validité d'une pratique scientifique

- Comparer les résultats obtenus avec chacune des méthodes ci-dessus en réfléchissant à la notion d'incertitude de mesure.

**4** Dans sa maille, la carboglace possède 4 molécules de dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$ . La masse d'un atome de carbone est égale à  $m_C = 2,00 \times 10^{-23}$  g et celle de l'atome d'oxygène est de  $m_O = 2,66 \times 10^{-23}$  g.

1. Calculez la masse  $m_{\text{CO}_2}$  d'une molécule de dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$ .
2. Déduisez-en la masse  $m$  d'une maille de carboglace.
3. Calculez le nombre  $N$  de mailles contenues dans 1g de carboglace.

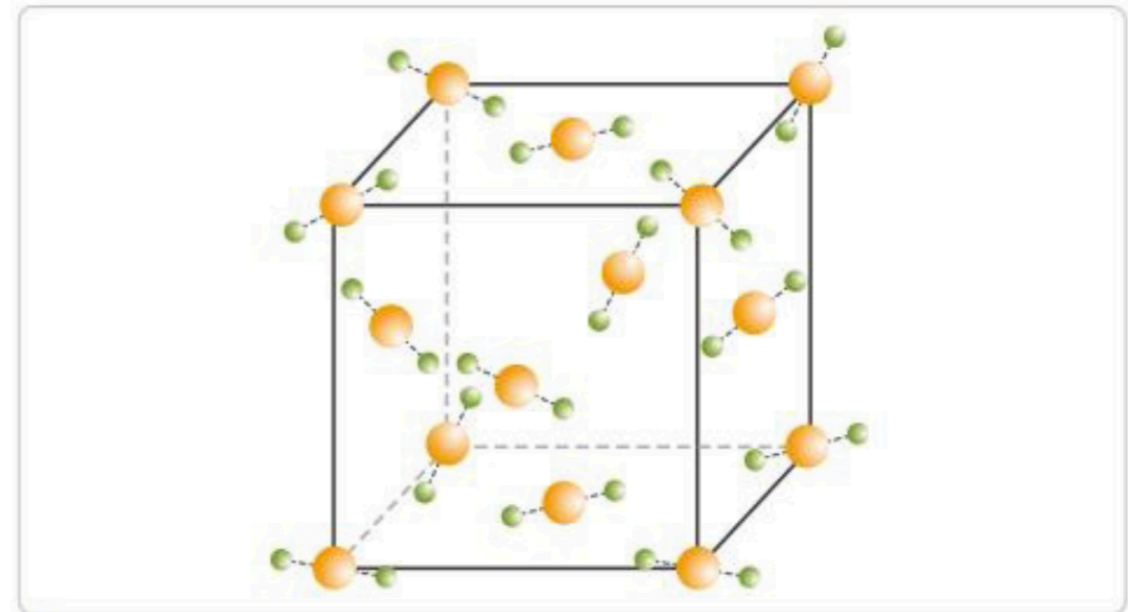
**1** Le polonium est l'un des premiers éléments découverts par Marie Curie. C'est un élément radioactif que l'on trouve à l'état de trace dans les minerais d'uranium. Son nom est un hommage au pays natal de Marie Curie (née Maria Salomea Skłodowska) : la Pologne.

1. Le paramètre de la maille cubique de polonium est égal à  $a = 336$  pm. Convertissez cette valeur en mètre (m).
2. Calculez le volume  $V$  de la maille sachant que la maille est un cube de côté  $a$ .

**5** Le polonium possède une maille dont le volume est égal à  $V = 3,80 \times 10^{-29}$  m<sup>3</sup> et une masse  $m = 3,50 \times 10^{-25}$  kg

1. Estimez la masse volumique  $\rho$  à partir des données microscopiques associées à la maille.
2. Comparez la valeur à la masse volumique mesurée du polonium égale à  $\rho_{\text{mes}} = 9\,200$  kg·m<sup>-3</sup> en effectuant un calcul d'erreur relative  $\varepsilon = \frac{|\rho - \rho_{\text{mes}}|}{\rho_{\text{mes}}} \times 100$

**2** La carboglace, de formule chimique  $\text{CO}_2$ , correspond à la forme solide du dioxyde de carbone. Dans sa maille, une molécule de dioxyde de carbone est présente à chaque sommet de la maille cubique ainsi qu'au centre de chacune des faces. Cette structure correspond à un nombre de 4 molécules par maille.



**Maille en perspective de la carboglace.**

La maille de la carboglace a un volume  $V$  de  $0,174$  nm<sup>3</sup>. Déduisez-en le paramètre  $a$  de la maille.

## Fiche révision - Cristaux

- 2 types de solides : amorphes et cristallins
- Solides amorphes : pas d'organisation spécifiques entre les entités (constituants)
- Solides cristallins : répétition quasi parfaite d'arrangements des entités dans les trois directions de l'espace.
- Maille : l'unité de répétition d'un cristal par translation. En se répétant dans les trois dimensions de l'espace elle définit le réseau cristallin.
- Maille la plus simple : cube de côté  $a$  appelé paramètre de maille.
- $\rho = \frac{m_{maille}}{V_{maille}}$
- $V_{maille} = a^3$
- $m_{maille} = n \times m_{entite}$  avec  $n$  le nombre d'entités par maille (on peut vous demander de le retrouver à l'aide de documents)
- Savoir calculer  $a$  connaissant  $V$  ( $a = \sqrt[3]{V} = V^{1/3}$ )
- Savoir passer de  $pm$  en  $m$  :  $1 pm = 10^{-12}m$
- $1 cm^3 = 10^{-6}m^3$
- Revoir les exercices