

Chap.2 : Les cristaux

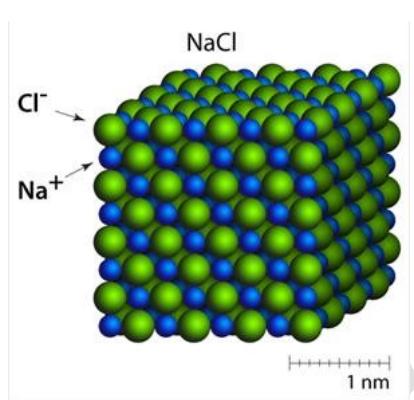
Savoirs	Savoir-faire
Le chlorure de sodium solide est constitué d'un empilement régulier périodique d'ions (état cristallin).	Utiliser une représentation 3D du cristal de chlorure de sodium
	Relier l'organisation de la maille au niveau microscopique à la structure du cristal au niveau macroscopique
Une structure cristalline est définie par une maille élémentaire répétée périodiquement.	Représenter une maille en perspective cavalière.
La structure microscopique du cristal conditionne certaines de ses propriétés macroscopiques notamment sa masse volumique.	Calculer la masse volumique du cristal.

I. Le sel, un solide cristallin ?

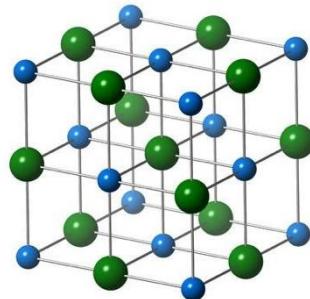
⇒ Activité N° 5 (PC) : Structure du chlorure de sodium

Bilan de l'activité N°5 :

- **Le sel ou chlorure de sodium** de formule chimique **NaCl** est présent sous sa forme solide dans certaines roches (comme l'*halite*), ou bien provient de l'évaporation de l'eau de mer.
- Au niveau microscopique, le chlorure de sodium est **un solide cristallin (ou cristal)** c'est-à-dire **qu'il est constitué d'un empilement périodique régulier d'ions Na⁺ (sodium) et d'ions Cl⁻ (chlorure)**.



Une maille élémentaire du cristal NaCl :

**Remarque :**

Tout cristal (comme le sel) est défini par une maille élémentaire (d'ions ou d'atomes) qui se répète périodiquement contrairement à un solide amorphe (comme le verre) qui ne présente aucune organisation particulière à l'échelle microscopique.

II. Exemples de structures cristallines cubiques

Une structure cristalline est définie par la forme géométrique de la maille élémentaire, la nature et la position dans cette maille des entités qui la constituent.

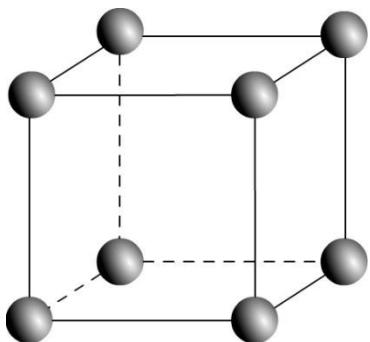
Il existe plusieurs structures cristallines cubiques dont :

- la structure dite **Cubique Simple (CS)**
- la structure dite **Cubique Centré (CC)**
- la structure dite **Cubique à Faces Centrées (CFC)**

➤ Comment représenter en perspective cavalière une maille élémentaire de chaque structure cristalline ?

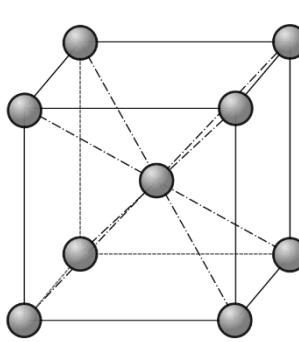
Le réseau Cubique Simple (CS)

Représentation éclatée



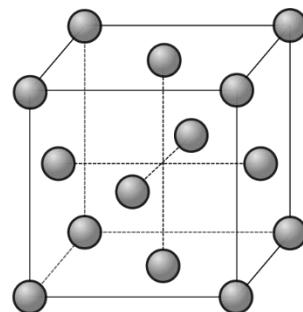
Le réseau Cubique Centré (CC)

Représentation éclatée



Le réseau Cubique à Faces Centrées (CFC)

Représentation éclatée

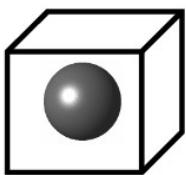


➤ Comment compter le nombre d'atomes par maille que possède chaque structure cristalline cubique ?

A retenir :

Dans la maille élémentaire cubique, si l'atome est situé :

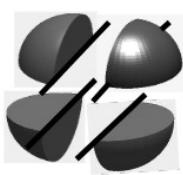
Au Centre
=> Compte pour 1



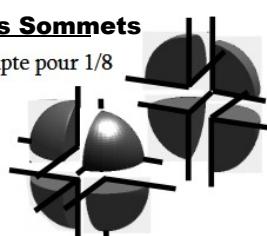
Sur les Faces
=> Compte pour 1/2



Sur les Arêtes
=> Compte pour 1/4



Sur les Sommets
=> Compte pour 1/8



Vidéo (source e-profs) :



Applications :

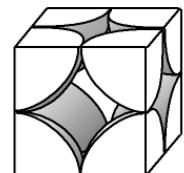
1- Comptons le nombre d'atomes par maille dans la structure cristalline **Cubique Simple (CS)** :

Il y a **1 atome à chaque sommet de la maille cubique soit 8 atomes.**

Or chaque atome ne compte que pour **1/8^{ième}** dans la maille : $8 \times 1/8 = 1 \text{ atome.}$

⇒ **Dans une maille Cubique Simple, il n'y a qu'un seul atome par maille.**

Modèle compact



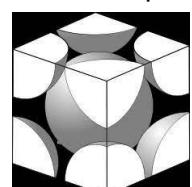
2- Comptons le nombre d'atomes par maille dans la structure cristalline **Cubique Centrée (CC)** :

• Il y a **1 atome à chaque sommet de la maille cubique soit 8 atomes.**

Or chaque atome ne compte que pour **1/8^{ième}** dans la maille : $8 \times 1/8 = 1 \text{ atome.}$

• Il y a également **1 atome entier au centre de la maille.**

Modèle compact



⇒ **Dans une maille Cubique Centrée, il y a donc 2 atomes par maille.**

3- Comptons le nombre d'atomes par maille dans la structure cristalline **Cubique Faces Centrées (CFC)** :

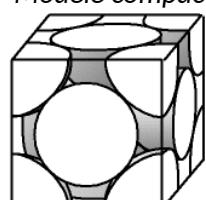
• Il y a **1 atome à chaque sommet de la maille cubique soit 8 atomes.**

Or chaque atome ne compte que pour **1/8^{ième}** dans la maille : $8 \times 1/8 = 1 \text{ atome.}$

• Il y a **1 atome sur chaque face de la maille cubique soit 6 atomes.**

Or chaque atome ne compte que pour **1/2** dans la maille : $6 \times \frac{1}{2} = 3 \text{ atomes.}$

Modèle compact



⇒ **Dans une maille Cubique Faces Centrées, il y a donc 4 atomes par maille.**

Exercice d'entraînement :

Déterminer le nombre d'ions chlorure Cl^- et d'ions sodium Na^+ par maille dans le chlorure de sodium :

> Pour les ions sodium Na^+ :

8 ions au sommet qui comptent chacun pour $1/8$: $8 \times 1/8 = 1$

6 ions sur chaque face qui compte chacun pour $\frac{1}{2}$: $6 \times \frac{1}{2} = 3$

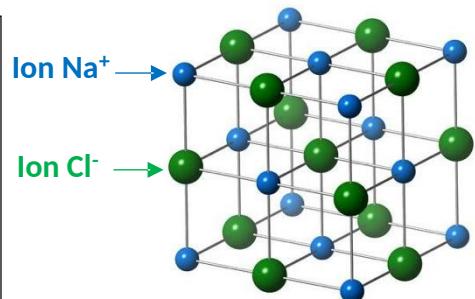
⇒ Au total : **4 ions sodium Na^+ par maille.**

> Pour les ions chlorure Cl^- :

12 ions sur les arêtes qui comptent chacun pour $\frac{1}{4}$: $12 \times 1/4 = 3$

1 ion au centre de la maille = 1

⇒ Au total : **4 ions chlorure Cl^- par maille.**

**> Qu'est-ce que la compacité d'une maille et comment la calculer ?**

En observant les 3 structures cristallines ci-contre, on remarque qu'il y a plus ou moins d'espace libre c'est-à-dire de vide entre les atomes dans la maille. Les compacités de ces 3 structures sont différentes.

A retenir :

La compacité correspond au taux d'occupation de la maille par les atomes ou les ions qui la constituent.

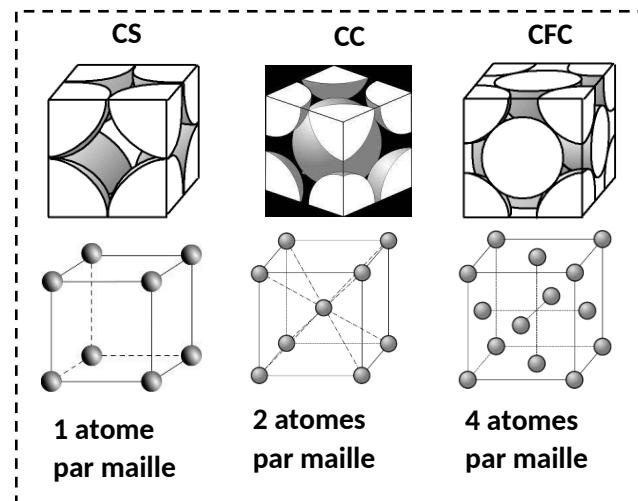
On la note C et elle se calcule par la relation suivante :

$$C = \frac{\text{Volume occupé par les atomes dans une maille}}{\text{Volume de la maille}}$$

$$C = \frac{\text{Nombre d'atomes par maille} \times \text{Volume d'un atome}}{\text{Volume de la maille}}$$

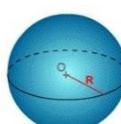
La compacité n'a pas d'unité.

Sa valeur est comprise entre 0 et 1 (et peut s'exprimer en pourcentage).

**Rappel Maths**

Volume d'une sphère de rayon R

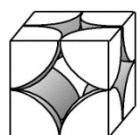
$$V = \frac{4}{3}\pi R^3$$



⇒ **Activité N°6 (Maths) : Calcul de la compacité des structures cristallines cubiques**

En résumé (à retenir) :**COMPACITE**

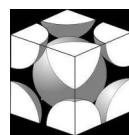
Cubique simple



$$C = 0,52$$

1 atome/maille

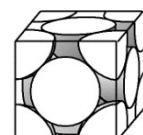
Cubique Centrée



$$C = 0,68$$

2 atomes/maille

Cubique Faces Centrées



$$C = 0,74$$

4 atomes/maille

III. Masse volumique d'un cristal

⇒ **Activité N°7 (Maths) : Comment déterminer la masse volumique d'un solide cristallin ?**

A retenir :

$$1 \text{ } \mu\text{m} (\text{micromètre}) = 10^{-6} \text{ m}$$

$$1 \text{ nm} (\text{nanomètre}) = 10^{-9} \text{ m}$$

$$1 \text{ pm} (\text{picomètre}) = 10^{-12} \text{ m}$$

Formule de la masse volumique d'un cristal :

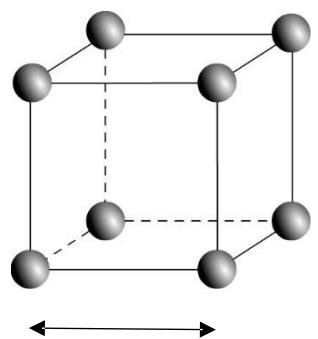
$$\rho = \frac{\text{masse de la maille}}{\text{volume de la maille}}$$

$$\rho = \frac{\text{masse d'un atome} \times \text{nombre d'atomes par maille}}{a^3}$$



La masse volumique ρ s'exprime le plus souvent en kg.m^{-3} ou en g.cm^{-3} .

Représentation éclatée



a = paramètre de la maille

Applications :

1- Le fer est l'élément chimique de numéro atomique $Z = 26$. Rarement utilisé sous sa forme pure, il peut néanmoins être cristallisé sous plusieurs structures cristallines, dites variétés allotropiques, selon les conditions de pression et de température adoptées.

Le **fer α** cristallise dans une structure **Cubique Centrée** tandis que le **fer γ** cristallise dans une structure **Cubique Faces Centrées**.

Données :

Masse d'un atome de fer : $m_{\text{Fe}} = 9,27 \times 10^{-26} \text{ kg}$

Paramètre de la maille cubique du fer α : $a_{\alpha} = 0,287 \text{ nm}$

Paramètre de la maille cubique du fer γ : $a_{\gamma} = 0,356 \text{ nm}$

⇒ **Calculer les masses volumiques du fer α et du fer γ en kg.m^{-3} et les exprimer en g.cm^{-3} :**

Pour le fer α , il cristallise dans une structure **Cubique Centrée donc il y a 2 atomes de fer par maille.**

$$\rho = 2 \times 9,27 \times 10^{-26} / (0,287 \times 10^{-9})^3 \approx 7,84 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3} = 7,84 \text{ g.cm}^{-3}$$

Pour le fer γ , il cristallise dans une structure **Cubique Faces Centrées donc il y a 4 atomes de fer par maille.**

$$\rho = 4 \times 9,27 \times 10^{-26} / (0,356 \times 10^{-9})^3 \approx 8,22 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3} = 8,22 \text{ g.cm}^{-3}$$

2- Déterminer la masse volumique du chlorure de sodium en kg.m^{-3} puis l'exprimer en g.cm^{-3}

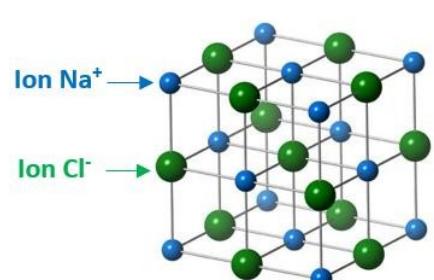
Données :

Masse de l'ion sodium Na^+ : $m(\text{Na}^+) = 3,82 \times 10^{-26} \text{ kg}$

Masse de l'ion chlorure Cl^- : $m(\text{Cl}^-) = 5,89 \times 10^{-26} \text{ kg}$

Paramètre de la maille du chlorure de sodium : $a = 564 \text{ pm}$

Maille élémentaire du Chlorure de Sodium :



On sait qu'il y a 4 ions Na^+ par maille et 4 ions Cl^- par maille.

$$\text{Donc } \rho = (4 \times 3,82 \times 10^{-26} + 4 \times 5,89 \times 10^{-26}) / (564 \times 10^{-12})^3$$

$$\rho = 2,16 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3} = 2,16 \text{ g.cm}^{-3}$$