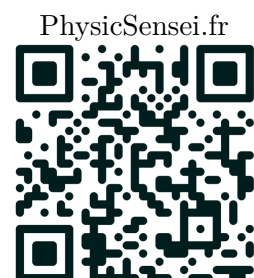


Le solide cristallin

☰ Plan du cours			✎ Exercices
I	La cristallographie Aperçu historique • L'état solide	1	🏠 Voir fiche TD
II	Le modèle du cristal parfait Définitions A.1 Le cristal parfait A.2 Le réseau Les mailles • Le motif • Bilan et analogie	2 2 2	🌐 Tous les cours en ligne !
III	Les cristaux métalliques Propriétés • Principales structures • Définitions C.1 Coordinence C.2 Population La tangente D.1 Cubique simple D.2 Cubique centrée D.3 Cubique à faces centrées Compacité • Masse volumique	4 5 6 7 7 7	



I La cristallographie

A Aperçu historique

☰ Définition

La cristallographie est la science qui étudie la structure et les propriétés des cristaux.

💡 Remarque

Les premières observations des cristaux remontent à l'Antiquité, mais c'est à partir du XVII^e siècle que des scientifiques comme Johannes Kepler et René Just Haüy ont commencé à formaliser leur étude.



Kepler

Haüy

B L'état solide

☰ Définition

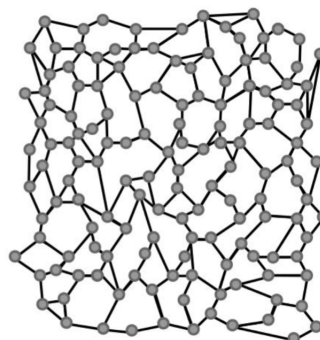
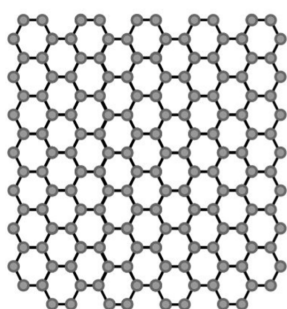
L'état solide est un état de la matière caractérisé par une forme et un volume propres.

Propriété

L'état solide peut être divisé en deux grandes catégories :

- les solides cristallins, où les atomes sont ordonnés.
- les solides amorphes, où l'arrangement est désordonné.

Exemple



Attention !

Il est important de distinguer un solide cristallin d'un solide amorphe : seuls les premiers présentent une organisation périodique des atomes.

II Le modèle du cristal parfait

A Définitions

A.1 Le cristal parfait

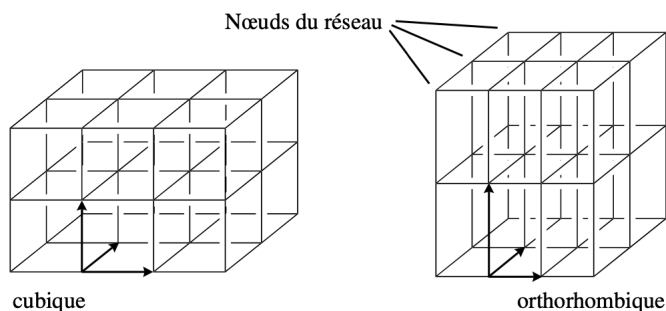
Définition

Un cristal parfait est un solide dans lequel les atomes, ions ou molécules sont disposés de manière régulière et périodique dans les trois directions de l'espace.

A.2 Le réseau

Définition

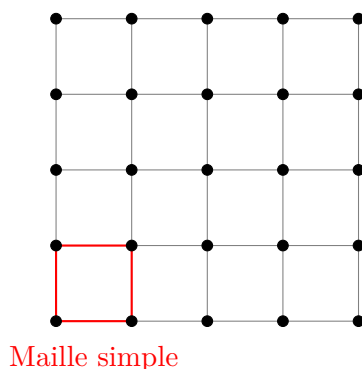
Le réseau est une structure mathématique formée par l'ensemble des points représentant les positions des motifs dans un cristal parfait. Chaque point est appelé un nœud du réseau.



B Les mailles

Définition

Une maille simple est la plus petite unité du réseau qui, par translation, permet de reconstituer l'ensemble du cristal.

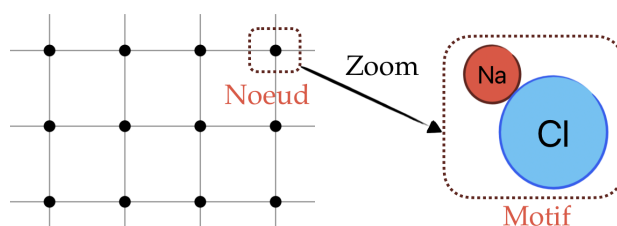


Elle est caractérisée par la longueur de ces côtés que l'on appelle : paramètre de maille noté a .

C Le motif

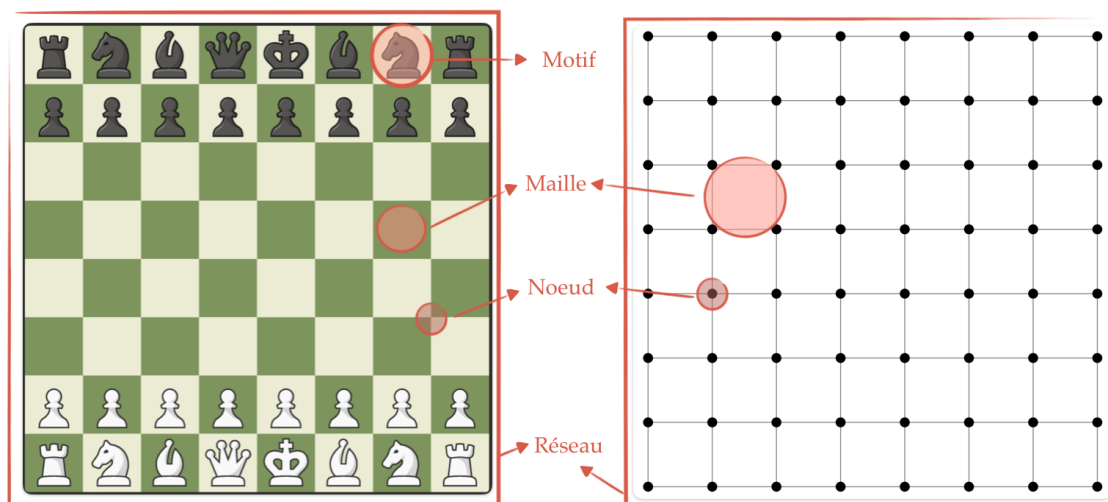
Définition

Le motif correspond à l'ensemble des atomes, ions ou molécules associés à chaque nœud du réseau.



D Bilan et analogie

Analogie



Résumé

Concept	Échecs	Cristal
Réseau	L'ensemble des cases du plateau d'échecs (64 cases, 8x8) formant une grille de nœuds où le jeu se déroule.	L'ensemble des atomes organisés dans un réseau tridimensionnel régulier, formant la structure cristalline.
Nœud	Une case spécifique sur le plateau, par exemple "A1", "D5", "H8", où une pièce peut être placée.	L'emplacement précis d'un atome ou ion dans la structure cristalline, correspondant à un point du réseau.
Maille	Une case individuelle du plateau d'échecs, délimitée par quatre nœuds (les coins de la case), représentant une unité du réseau.	L'unité de base du cristal, formée par une répétition régulière des atomes ou ions, délimitée par des nœuds dans le réseau.
Motif	Une pièce d'échecs placée dans une case spécifique, comme un pion sur "E2", une tour sur "A1". Ce motif se répète dans le jeu selon les règles.	La disposition répétée des atomes ou ions dans chaque maille du cristal, par exemple la disposition des ions Na^+ et Cl^- dans le cristal de sel.

III

Les cristaux métalliques

A

Propriétés

Remarque

68 éléments du tableau périodique sur les 90 éléments naturels présentent des propriétés qui définissent l'état métallique.

Propriété

Leurs propriétés physico-chimiques sont de nature variée :

- Mécanique : les métaux sont ductiles (aptitude au filage), malléables (aptitude à la déformation sans rupture) et tenaces (aptitude à résister mécaniquement aux déformations). Leur masse volumique est comprise entre $0,53.10^3 \text{ kg.m}^3$ (lithium) et $22,6.10^3 \text{ kg.m}^3$ (osmium) mais fréquemment élevée : 80% des métaux ont une masse volumique supérieure à 5.10^3 kg.m^3 , les moins denses étant les métaux alcalins et alcalino-terreux.

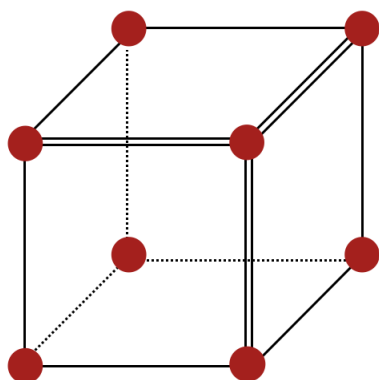
Métal	Na	Mg	Al	K	Zn	Fe	Ni	Cu	Ag
$\Theta_f / ^\circ\text{C}$	98	650	660	79	419	1535	1455	1083	961
$\rho / 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$	0,97	1,74	2,70	0,86	7,14	7,87	8,91	8,95	10,49

- Optique : les métaux sont des composés opaques au rayonnement électromagnétique visible et possèdent donc un grand pouvoir réflecteur.
- Electrique : les métaux présentent une grande conductivité électrique, thermique et sont capables d'émettre des électrons par effet photoélectrique.
- Chimique : les métaux sont des espèces possédant une énergie de première ionisation (énergie nécessaire à l'expulsion d'un électron à l'état gazeux) faible, inférieure en général à 5 eV ; ce sont des réducteurs, donnant aisément des cations.

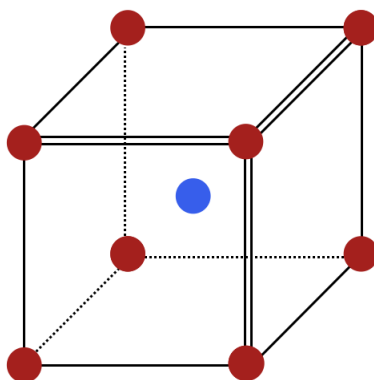
B Principales structures

Il existe trois structures essentielles au programme de CPRP :

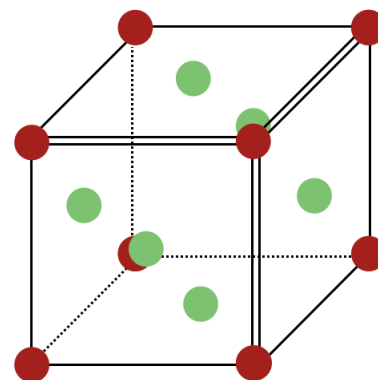
Définition



Cubique Simple (C.S)



Cubique Centré (C.C)



Cubique à Faces Centrées (C.F.C)

C Définitions

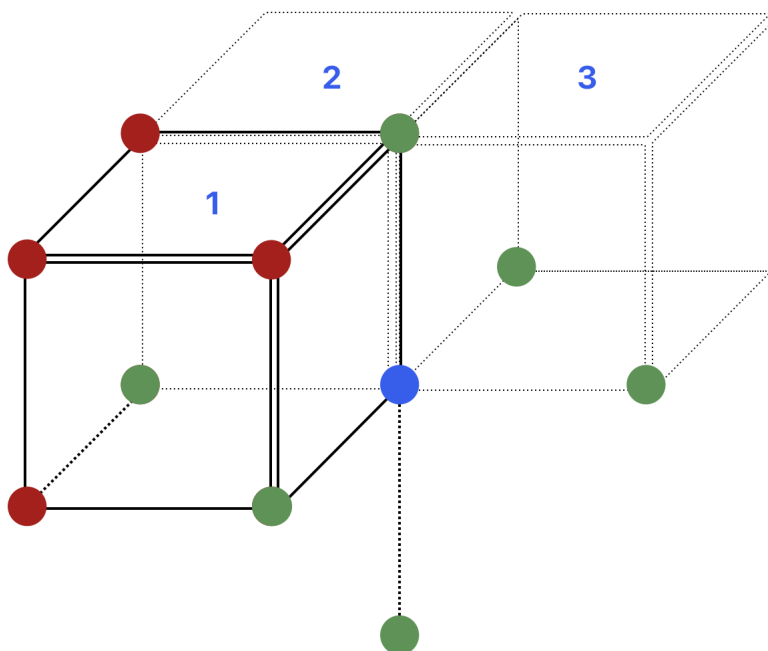
C.1 Coordinence

Définition

La coordinence d'un atome dans un cristal métallique est le nombre d'atomes les plus proches qui l'entourent.

Exemple

Cas simple d'une maille cubique simple :



On remarque que pour l'atome bleu, il y a 6 atomes qui sont voisins. La coordinence vaut donc 6.

⚠ Attention !

Dans un métal pur, tous les atomes possèdent la même coordination, ce qui n'est pas le cas des alliages dans lesquels les atomes ou les ions peuvent avoir des coordinences différentes.

C.2 Population

📖 Définition

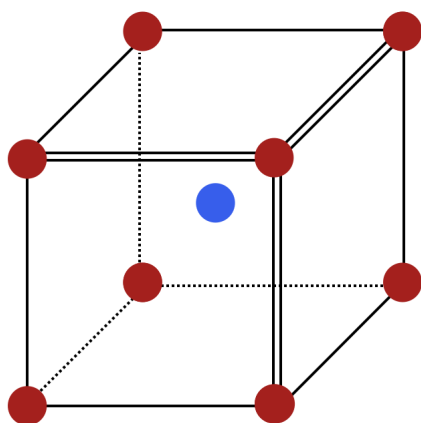
La population d'une maille est le nombre effectif d'atomes contenus dans cette maille. On la note souvent Z .

🛠 Méthode

1. Les atomes situés au centre de la maille comptent pour 1.
2. Les atomes situés sur une face de la maille comptent pour $\frac{1}{2}$.
3. Les atomes situés sur une arête de la maille comptent pour $\frac{1}{4}$.
4. Les atomes situés dans un coin de la maille comptent pour $\frac{1}{8}$.
5. On additionne tout ces nombres.

✓ Exemple

Dans le cas d'une maille de type Cubique Centrée :



Il y a 1 atome centrale et 8 atomes dans les coins ce qui fait une population qui vaut :

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

La population dans une maille de type cubique centrée est de 2.

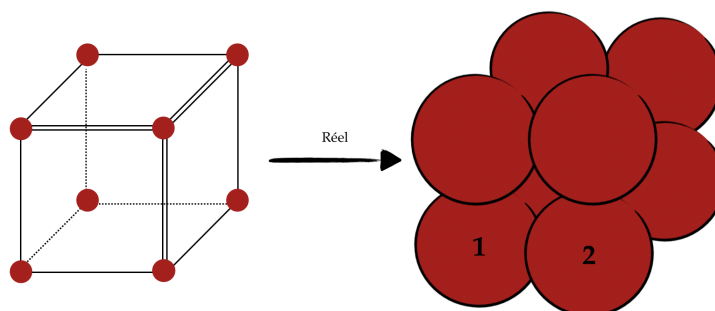
D**La tangente****📖 Définition**

On appelle tangente le point de contact entre deux atomes de la maille. Il est indispensable de la déterminer afin de pouvoir calculer la compacité.

D.1 Cubique simple

 Propriété

La tangence se fait le long d'une arête.



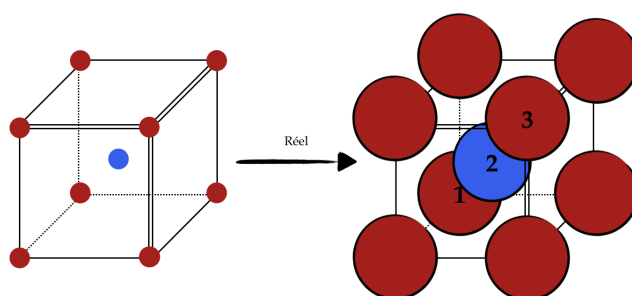
On a donc :

$$2 \times R = a$$

D.2 Cubique centrée

 Propriété

La tangence se fait le long de la grande diagonale du cube.



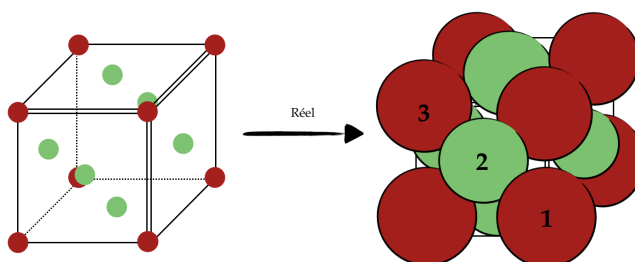
On a donc :

$$4 \times R = a \times \sqrt{3}$$

D.3 Cubique à faces centrées

 Propriété

La tangence se fait le long de la diagonale des faces.



On a donc :

$$4 \times R = a \times \sqrt{2}$$

E Compacité

X¹ Formule

La compacité (C) d'un cristal est définie comme le rapport entre le volume occupé par les atomes et le volume total de la maille :

$$C = \frac{V_{\text{matiere}}}{V_{\text{maille}}}.$$

Méthode

On se place dans le modèle des sphères rigides, c'est à dire que l'on approxime les atomes à des sphères de volume.

1. On calcule la population Z . (Voir III/C.2)
2. Établir le lien entre rayon atomique et paramètre de maille (aussi appelé tangente).
3. On calcule le volume de matière : $V_{\text{matiere}} = Z \times \frac{4}{3} \times \pi \times R^3$ avec R le rayon atomique.
4. On calcule le volume de la maille (cas des mailles cubiques) : $V_{\text{maille}} = a^3$.
5. Conclure sur la compacité en appliquant la formule :

$$C = \frac{V_{\text{matiere}}}{V_{\text{maille}}}.$$

✓ Exemple

Cas d'une maille cubique centrée :

1. La population vaut :
 $Z = 2$ (cf. III/C.2).
2. D'après III/D.2, on a la relation $4R = a\sqrt{3}$, donc :
3. Le volume occupé par la matière est donné par :

$$V_{\text{matiere}} = Z \times \frac{4}{3} \pi R^3 = 2 \times \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{8}{3} \pi R^3.$$

$$\text{or : } R = \frac{a\sqrt{3}}{4}.$$

$$V_{\text{matiere}} = \frac{8}{3} \pi \left(\frac{a\sqrt{3}}{4} \right)^3,$$

$$V_{\text{matiere}} = \frac{\pi a^3 \sqrt{3}}{8}.$$

4. La maille est cubique, donc son volume est donné par :

$$V_{\text{maille}} = a^3.$$

5. La compacité est donnée par le rapport :

$$C = \frac{V_{\text{matiere}}}{V_{\text{maille}}} = \frac{\frac{\pi a^3 \sqrt{3}}{8}}{a^3} = \frac{\pi \sqrt{3}}{8} \approx 0.68$$

F Masse volumique

X¹ Formule

La masse volumique (ρ) d'un cristal métallique est donnée par :

$$\rho = \frac{Z \cdot M}{a^3 \cdot N_A},$$

où Z est le nombre d'atomes par maille, M la masse molaire, a la longueur d'arête de la maille et N_A le nombre d'Avogadro.