

solides cristallins:

* Généralités:

les 3 états de la matière:

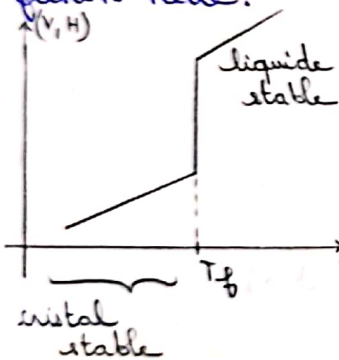
- solide: état compact, ordonné.
- liquide: état fluide
- gaz: état désordonné: les forces d'interactions faibles.

les 2 types des solides:

les cristaux:

les composantes sont arrangés de manière régulière (uniforme)

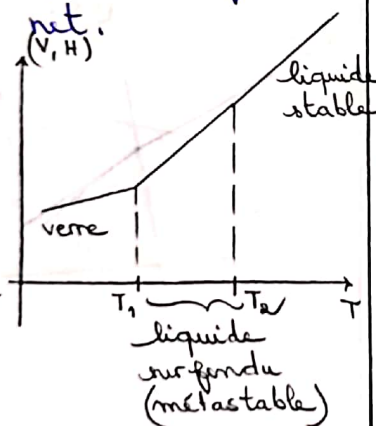
→ une température de fusion nette.



matériaux amorphes:

les composantes ne sont pas ordonnées (irréguliers)
ex: le verre.

→ absence de point de fusion net.



* des solides cristallins:

les 4 types des cristaux:

- métalliques: atomes métalliques (Na(s), Fe(s)) → liaison métallique
- ioniques: des ions (NaCl(s)) → liaison ionique
- covalents: atomes non métalliques (C(s)) → liaison covalente
- moléculaires: molécule d'atome (H₂O(s))

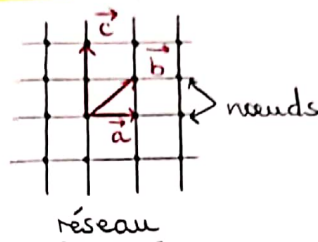
on s'intéresse au cristal parfait.



un empilement ordonné et infini

1/ le réseau cristallin:

d'ensemble des pts régulièrement disposés. et les pts sont appelés nœuds du réseau.



$\vec{a}$, $\vec{b}$ et $\vec{c}$ constituent une base du réseau.

Dans le réseau, il existe une infinité des bases.

de nœud peut être occupé par un objet répété périodiquement appelé: motif (atome, groupe d'atomes, ion, diions)

2/ des opérations de symétrie:

→ la translation: (pas de pt fixe)

$\vec{T}$: vecteur de translation semblables à une combinaison linéaire des vecteurs de base.

→ la rotation: (l'axe de rotation est invariant)

$R = (u, \varphi)$ → $\varphi = \frac{2\pi}{n}$: l'axe est d'ordre n: C_n

→ d'inversion: (le centre de symétrie est fixe)
C'est la symétrie point: transforme un vecteur en son opposé.

→ la réflexion: produit d'un axe binaire C_2 ($\varphi = \pi$) par l'inversion.

* des outils de la cristallographie :

1/ la maille :

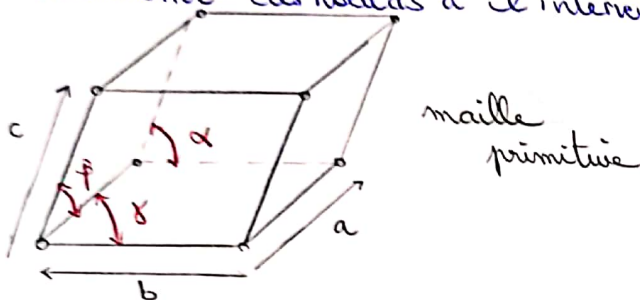
c'est l'unité de base de forme parallélépipédique.

→ maille élémentaire/primitive :

- la plus petite unité
- contient un nœud à chaque sommet (intérieur + face : vide)

→ maille conventionnelle :

- contient des nœuds à l'intérieur.



α : entre b et c
 β : entre a et c
 γ : entre a et b
 a, b, c

les paramètres de la maille.

$$V = \vec{a} \cdot (\vec{b} \wedge \vec{c}) = \vec{b} \cdot (\vec{c} \wedge \vec{a}) = \vec{c} \cdot (\vec{a} \wedge \vec{b})$$

↓ volume de la maille.

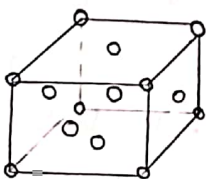
2/ Multiplicité : (m)

nb des nœuds propres à la maille.

$m = n \times (?)$
 nb des nœuds

- $\frac{1}{8}$: sommet
- $\frac{1}{4}$: arête
- $\frac{1}{2}$: face
- 1 : centre

- exp :

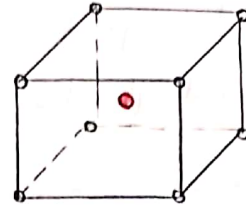


$$m = 8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} + 1 \times 1 = 5 \text{ nœuds}$$

3/ Coordination :

nb d'atomes voisins les plus proches dans les 3 directions de l'espace.

- exp :



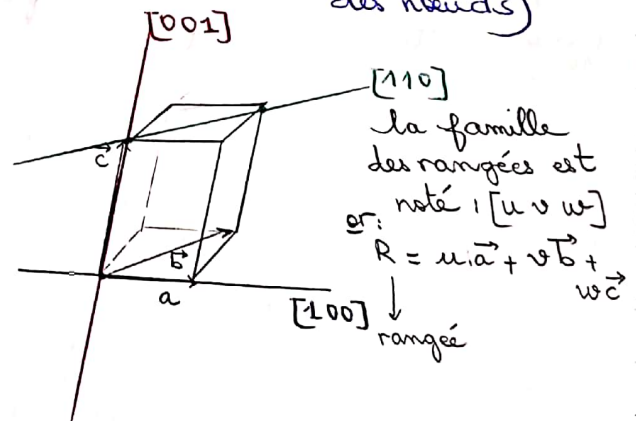
la coordination de l'atome situé au centre de la maille est 8.

4/ Compacité :

$$\text{Compacité} = \frac{\text{volume occupé}}{\text{volume de la maille}}$$

5/ des rangées :

toute droite passant par 2 nœuds de la maille (elle contient infinité des nœuds)



⚠ : des directions $[uvw]$ et $[\bar{u}\bar{v}\bar{w}]$ sont équivalentes.

6/ des plans réticulaires :

tout plan passant par 3 pts non colinéaires. (contient infinité des nœuds). repéré par les indices de Miller (hkl)

(2)

* des étapes de repérage :

① choisir une origine : le pt le plus proche du plan qui n'est pas au plan.

② on prend l'intersection des 3 axes (de la base choisie au origine choisie)

③ on fait l'inverse des indices (avec : $\frac{1}{\infty} = 0$ par convention)

⚠ : l'indice est 0 si l'axe // au plan.

④ rendre tous les indices des entiers
→ Résultat : les indices de Miller (h k l)

- exp :

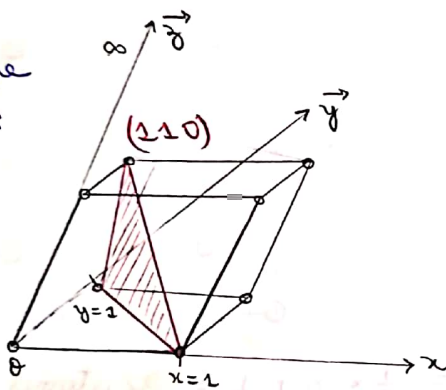
le plan coupe les axes en :

1, 1, ∞
car le plan // $\vec{z}$

inverse :

(1 1 0)

les indices de miller

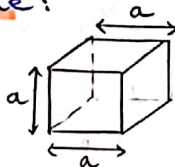


+ / des systèmes cristallins :
il existe 7 systèmes cristallins.

⚠ à retenir :

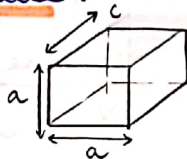
→ le système cubique :

$$\begin{cases} a=b=c \\ \alpha=\beta=\gamma=90^\circ \end{cases}$$



→ le système hexagonale :

$$\begin{cases} a=b \neq c \\ \alpha=\beta=90^\circ \\ \gamma=120^\circ \end{cases}$$



8/ des sous-systèmes :

Il existe 14 sous-systèmes, classés selon : les types des réseaux :

→ les systèmes P : (primitive)
comporte une entité sur chaque sommet de la maille.

→ les systèmes I : comporte un motif au centre

→ les systèmes C : comporte un motif au centre de 2 faces opposées.

→ les systèmes F : comporte un motif au centre de chaque face.

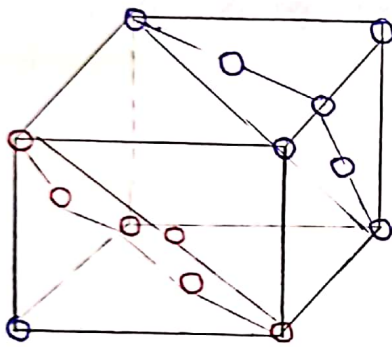
⚠ : hexagonal : il y a seulement P.

Empilements:

* Empilements compacts:

⚠: * chaque site (vide) entouré de 4 atomes → site tétraédrique.
 * chaque site entouré de 6 atomes → site octaédrique.

1/ Empilement type: ABC ABC
 cubique face centré: C.F.C

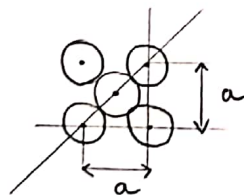


8 sommets
 6 au centre des faces

$$n = 8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4 \text{ atomes}$$

$$a = 2\sqrt{2} r$$

$$\text{Coordination} = 12$$



Compacité: c

$$c = \frac{V_{\text{matif}}}{V_{\text{maille}}} = \frac{n \times V_{\text{atome}}}{a^3}$$

sphère = $\frac{4}{3}\pi R^3$

or: $a = 2\sqrt{2} r$

$$c = \frac{\pi}{3\sqrt{2}} \approx 0,74$$

masse volumique: ρ

$$\rho = \frac{m_{\text{maille}}}{V_{\text{maille}}} = \frac{n \times m_{\text{atome}}}{a^3}$$

masse molaire $\left(\frac{M}{N_A}\right)$
 nb d'Avogadro

des sites interstitiels: 12

8 sites
tétraédriques

les centres des
 cubes de côté
 $\frac{a}{2}$.

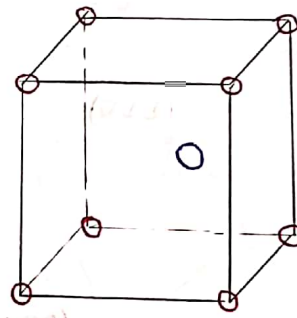
$$r_0 \leq r \left(\sqrt{\frac{3}{2}} - 1 \right) \approx 0,225 r$$

4 sites
octaédriques

centre de
 cube + les
 milieux des
 arêtes.

$$r_0 \leq r \left(\sqrt{2} - 1 \right) \approx 0,414 r$$

2/ Empilement type: ABAB
 hexagonal compact: H.C



$$n = \frac{1}{8} \times 8 + 1 = 2 \text{ atomes}$$

$$a = 2r$$

$$\text{coordination} = 12$$

compacité c:

$$c = \frac{n \times V_{\text{atome}}}{V_{\text{maille}}}$$

$$c = \frac{\pi}{3\sqrt{2}} \approx 0,74$$

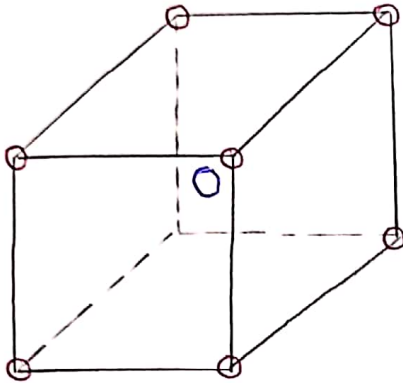
$$\text{hauteur} = a \cdot \sqrt{\frac{3}{2}}$$

masse volumique: ρ

$$\rho = \frac{m_{\text{maille}}}{V_{\text{maille}}} = \frac{n \times m_{\text{atome}}}{a^3 \sqrt{2}}$$

$\left(\frac{M}{N_A}\right)$

* Empilements pseudo-compacts :
cubique centré : C.C



$$n = 8 \times \frac{1}{8} + 1 \times 1 = 2 \text{ atomes}$$

$$4r = a\sqrt{3}$$

$$\text{Coordination} = 8$$

compacité c :

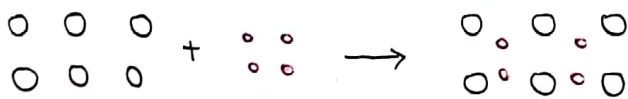
$$c = \frac{\pi\sqrt{3}}{8} \approx 0,68 < 0,74$$

→ non compact.

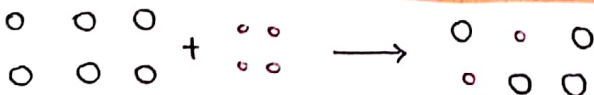


Alliage : un composé qui contient plusieurs types d'atomes.

→ solution solide d'insertion :



→ solution solide de substitution :



les coordonnées réduites d'un atome :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{les sommets : } (0,0,0) \\ \text{les faces : } \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0\right), \left(0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right), \\ \text{le centre : } \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right) \end{array} \right.$$

(5)