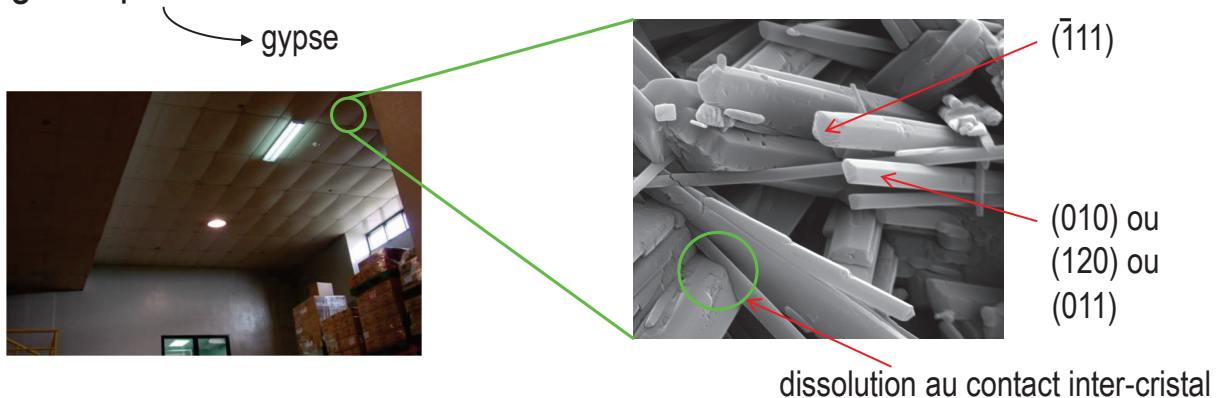


Cristallographie

Ordre et désordre dans les matériaux

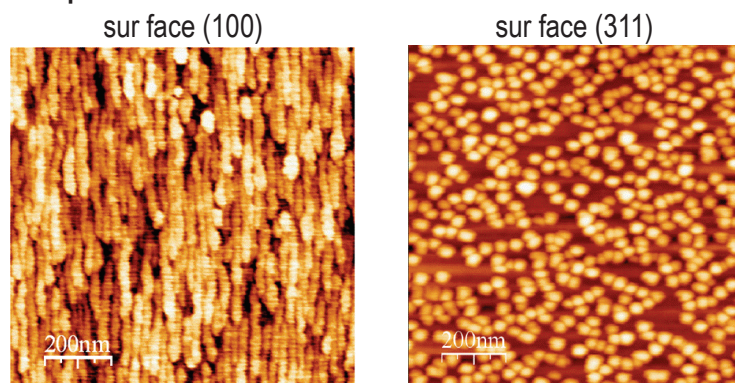
Exemples d'application

● Fluage du plâtre en milieu humide



● Fabrication de diodes laser : InAs déposé sur InP

infrarouge
très utilisées dans les
télécommunications car
minimum d'absorption
dans les fibres de verre



Structure cristalline

● Cristal :

métaux, céramiques et polymères peuvent être cristallins

● Cristallographie :

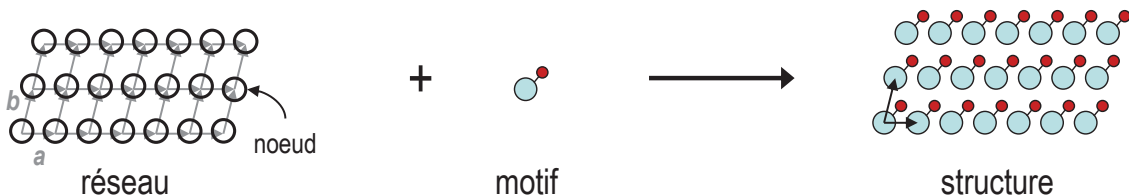
→ inventée par les minéralogistes au 19^e s.

● Réseau :

● Motif :

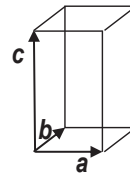
● Structure cristalline :

Exemple en 2 dimensions :

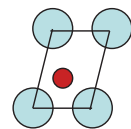


Structure cristalline

● Maille élémentaire :



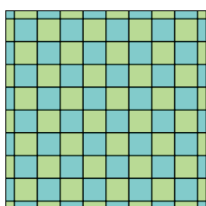
Exemple à 2D :



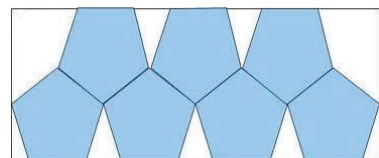
● Paramètres de maille :



Exemple en 2 dimensions : carrés, hexagones, ... mais pas pentagones



M.C. Escher



en 3D ...

Réseaux de Bravais

Il existe exclusivement 14 façons de répartir des nœuds périodiquement dans l'espace, on les appelle les réseaux de Bravais

physicien français - 19^e s.



	primitif ou simple	centré	faces centrées	bases centrées
Système	Mode P	Mode I	Mode F	Mode C
Fe, Al, diamant → Cubique				
Zn, émeraude → Hexagonal $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6 \cdot \text{Cr}$				
martensite, zircon → Quadratique ZrSiO_4				
saphir, quartz → Rhomboédrique Al_2O_3 SiO_2				
cémentite, soufre → Orthorhombique Fe_3C				
gypse, azurite → Monoclinique $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$				
turquoise → Triclinique $\text{Cu Al}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$				



: tetragonal

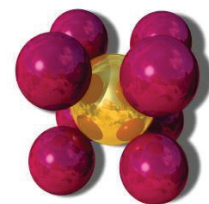
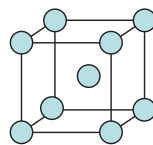


azurite

Compacités

Compacité :

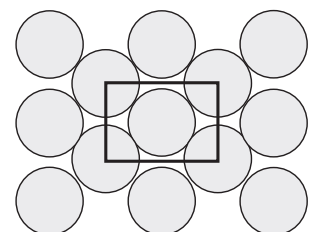
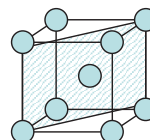
Exemple :
cubique centré
(monoatomique) : **68%**



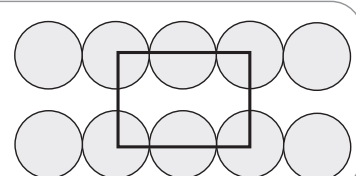
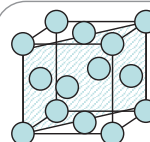
Densité atomique surfacique :

dénomination des plans : indices de Miller

Exemple : plan (110) cubique centré
(monoatomique) : **83%**



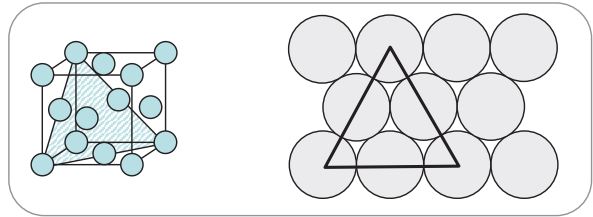
Exemple : plan (110) cubique à faces centrées
(monoatomique) : **56 %**



Compacités

Exemple : plan (111) cubique à faces centrées
(monoatomique) : **91 %** (compacité maximum)

plan compact



Densité atomique linéaire :

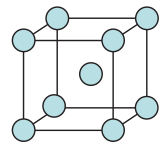
Exemple : direction [100] cubique à face centrée
(monoatomique) : **71 %**

dénomination des directions : indices de Miller



Nombre d'atomes par maille :

Coordinnence :



Polycristaux

Monocristaux :

minoritaires, mais importants
(joaillerie, microélectronique, ...)

Exemple : demesmaeckerite $\text{Pb}_2\text{Cu}_5(\text{UO}_2)_2(\text{SeO}_3)_6(\text{OH})_6 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$

un seul cristal



1 mm

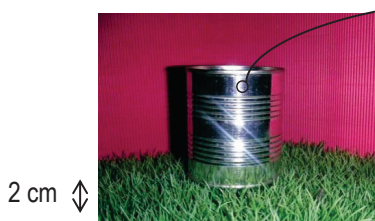
réseau de Bravais : triclinique primitif
 $a = 11,94 \text{ \AA}$ $b = 10,02 \text{ \AA}$ $c = 5,62 \text{ \AA}$
 $\alpha = 90,00^\circ$ $\beta = 100,00^\circ$ $\gamma = 91,91^\circ$

Matériaux polycristallins :

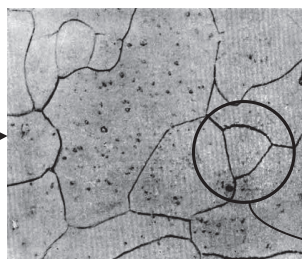
très grande majorité des matériaux

Exemple : acier doux

des milliards de cristaux

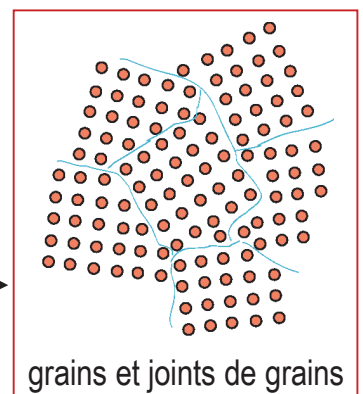


2 cm



10 μm

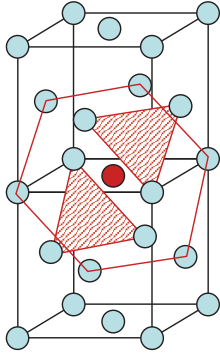
réseau de Bravais : cubique centré
 $a = b = c = 2,90 \text{ \AA}$
 $\alpha = \beta = \gamma = 90,00^\circ$



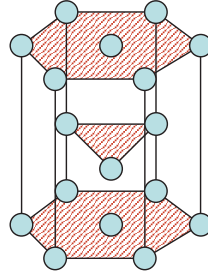
Métaux



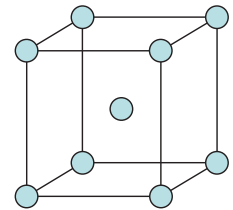
Trois structures cristallines les plus répandues :



$8 \times 1/8 + 6 \times 1/2 = 4$ nœuds / maille
ex. : Al, Ag, Au, Cu, Pt, Pb ...



$12 \times 1/6 + 2 \times 1/2 + 3 = 6$ nœuds / maille
ex. : Co, Ti, Zn, Mg, Zr, ...

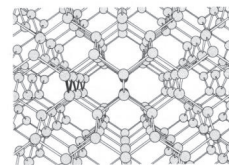


$8 \times 1/8 + 1 = 2$ nœuds / maille
ex. : Fe, Cr, V, W, ...

structures compactes (compacité maximum : 74%)

Céramiques

Cristaux ioniques



~ gigantesque molécule

Cristaux covalents

liaison forte dirigée

Exemple : quartz $\rho = 2600 \text{ kg.m}^{-3}$, diamant $\rho = 3500 \text{ kg.m}^{-3}$ (acier $\rho = 7800 \text{ kg.m}^{-3}$)

exemple : silice (SiO_2) =

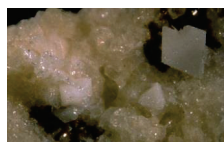
quartz, cristobalite, tridymite en fonction de la structure cristalline

rhomboédrique

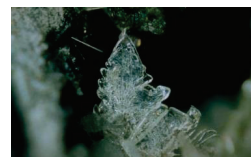
minéral le plus commun sur terre
présent dans le granite, le sable, le grès, ...



quadratique



triclinique

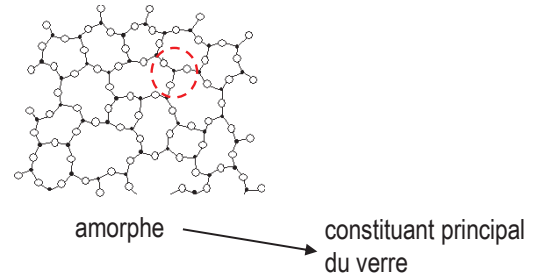
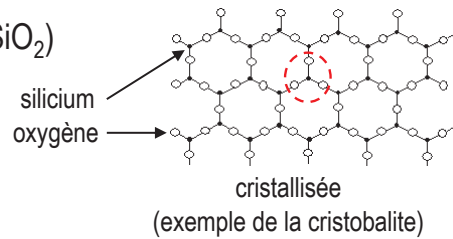


Matériaux amorphes

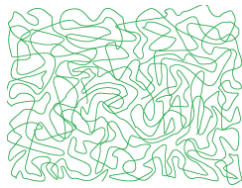
● Matériau amorphe ou désordonné :

● Concerne surtout

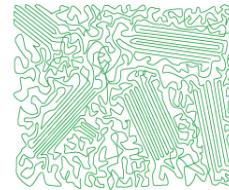
Exemple : silice (SiO_2)



● ... et



PC, PMMA, polyisoprène, ...



PE, PP, PA, PTFE, ...



3 à 5 éléments d'alliage de taille très différente

Ex : Pd-Ag-P-Si-Ge, meilleur compromis résistance ($R_e=1,5 \text{ GPa}$) et ténacité ($K_{IC}=200 \text{ MPa m}^{1/2}$)
en 2011 → articles de sport

Bilan

Structure des matériaux ↔ liaisons assurant leur cohésion

● Métaux → principalement *cfc*, *hc* et *cc*

● Céramiques → amorphes
ioniques, iono-covalentes et covalentes : divers

● Polymères → amorphes ou semi-cristallins