

Structure des matériaux solides

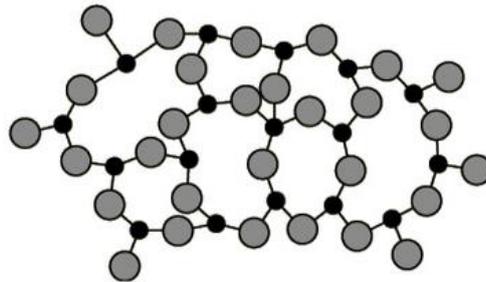
L'état solide est un état compact le plus souvent ordonné. Les entités (molécules, atomes ou ions) sont au contact, rangés selon une périodicité tridimensionnelle. Cependant, tous les solides n'ont pas les mêmes propriétés. Il faut distinguer : Les solides cristallins et les solides amorphes.

1. Les solides amorphes

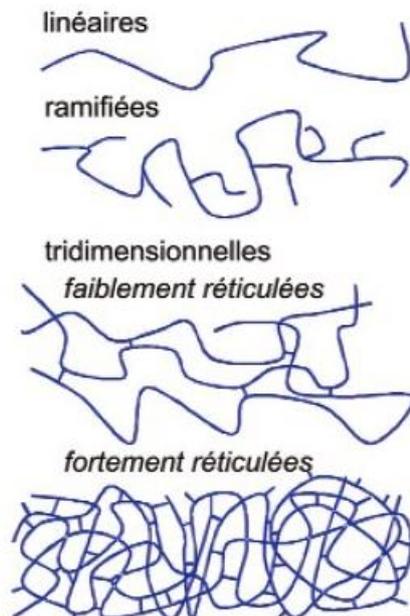
Dans un solide amorphe ou vitreux, les atomes sont disposés aléatoirement et proches les uns des autres. Cependant, à courte distance il existe un certain ordre pour des raisons d'encombrement des sphères atomiques.

Les solides amorphes n'ont pas de température de fusion nette. Le passage de l'état solide à l'état liquide se fait par ramollissement progressif et une diminution de la viscosité.

Le meilleur exemple en est le verre, constitué de silice SiO_2 sous forme amorphe :



On retrouve aussi des solides amorphes dans la famille des matières organiques. Les polymères forment de longues chaînes enchevêtrées aléatoirement liées entre elles par des liaisons faibles. Ces chaînes peuvent être :



2. Les solides cristallins

Les solides cristallins correspondent à un assemblage régulier sur de larges domaines à l'échelle microscopique (on parle de microcristaux de 10nm et plus).

Un solide cristallin, s'il n'a pas été taillé ou cassé présente une forme déterminée. Le quartz par exemple est formé de prismes hexagonaux terminés en pointe, le chlorure de sodium prend la forme de cubes :



Quartz



Chlorure de sodium

Souvent les cristaux n'ont pas les mêmes propriétés mécaniques et électriques selon la direction dans laquelle on effectue les mesures. On dit qu'ils sont anisotropes. Ces observations laissent penser qu'il existe une structure ordonnée à l'intérieur du cristal.

1. Structure périodique des cristaux

L'étude scientifique de la forme des cristaux, la cristallographie, date de la fin du 18^{ème} siècle. Afin de décrire une structure cristalline, on définit deux éléments :

Le réseau et son motif.

Le réseau

C'est un outil géométrique de description de la périodicité d'un cristal. Il est constitué de trois axes portants des vecteurs unitaires indépendants (a , b , c), chaque couple de vecteurs formant un angle quelconque.

Il existe quatorze types de réseaux qu'on appelle réseaux de Bravais, qui dérivent de sept systèmes cristallins.

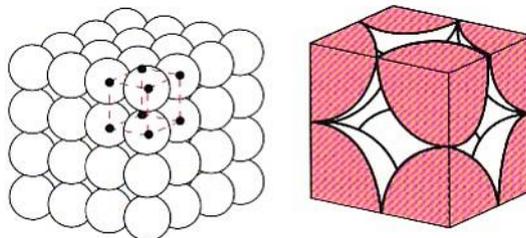
SYSTÈMES CRISTALLINS	cubique $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	quadratique $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	orthorhombique $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	monoclinique $a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	rhomboédrique $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	hexagonal $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma = 120^\circ$	triclinique $a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$
RÉSEAUX DÉRIVÉS (réseaux de BRAVAIS)	simple centré à faces centrées	simple centré	simple centré à deux faces centrées à faces centrées	simple à deux faces centrées			

Le motif atomique

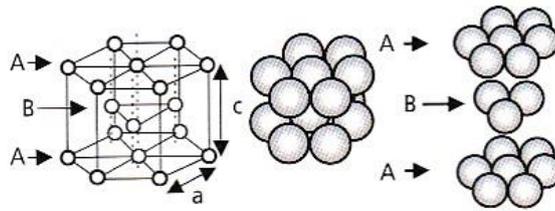
C'est un ensemble d'atomes identiques ou différents qui s'agencent dans le réseau cristallin afin de reconstituer la totalité du cristal.

2. Structures cristallines courantes

- * La structure cubique simple, pour un solide constitué d'un seul type de particules (par exemple, un métal pur). Les particules sont empilées au contact les unes des autres.

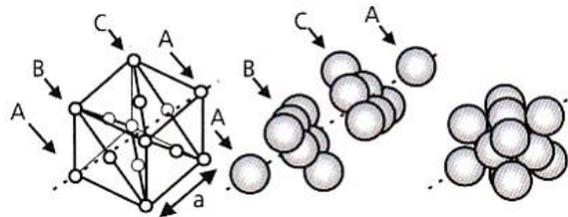


- * La structure hexagonale compacte (hc), est un empilement de plans compacts, selon une séquence binaire A-B-A-B... le long de l'axe du prisme hexagonal :



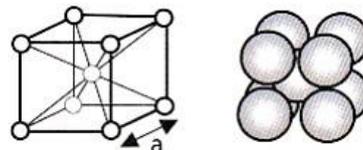
Le titane, le magnésium et le zinc possèdent la structure cristalline hexagonale compacte.

- * La structure cubique à faces centrées (cfc) est un empilement compact de plans compacts, selon une séquence ternaire A-B-C-A-B-C-....le long d'une diagonale interne du cristal :



L'aluminium, l'or, le cuivre, le nickel et le fer de 950°C à 1394 °C possèdent cette structure cubique à faces centrées.

- * La structure cubique centrée (cc), ne comporte pas de plans compacts.



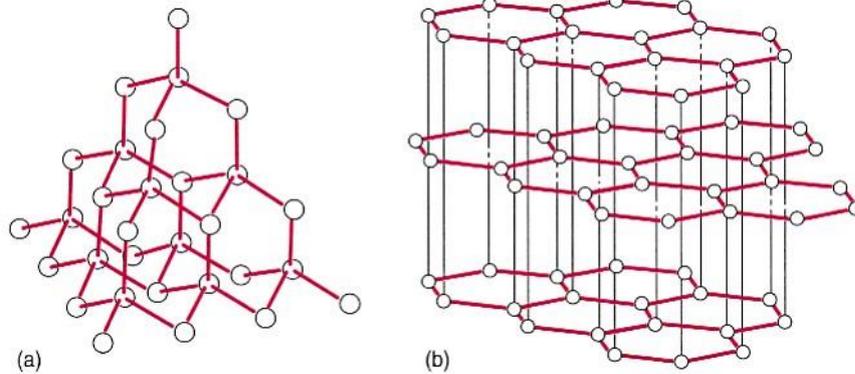
Le chrome, le fer en dessous de 950°C, le molybdène possèdent cette structure de cubique centrée.

3. Variétés allotropiques

L'allotropie est la faculté de certains corps d'exister sous plusieurs formes cristallines différentes.

Le carbone

Par exemple, le carbone existe sous plusieurs formes allotropiques comme par exemple le diamant et le graphite.



La structure du diamant (a) est constituée par des atomes de carbone liés entre eux par quatre liaisons selon un schéma tétraédrique. Ce cristal est très compact et sa cohésion très grande. Le diamant est donc très dur (le plus dur qu'on connaisse) et sa température de fusion est supérieure à 3500°C. Il n'est pas conducteur de l'électricité.

La structure du graphite (b) est bien différente. Il est constitué de réseaux plans parallèles dans lesquels les atomes de carbone ne sont directement liés qu'à trois autres atomes, le dernier électron étant délocalisé dans le plan. Dans un plan, la cohésion des atomes est très importante mais au contraire, elle est très faible entre les plans. Il en résulte que le graphite est tendre car les plans d'atomes peuvent glisser les uns sur les autres. D'autre part, le graphite est conducteur de l'électricité par suite de la présence d'électrons délocalisés.

Le fer

Le fer présente aussi plusieurs variétés allotropiques, voir l'animation suivante :

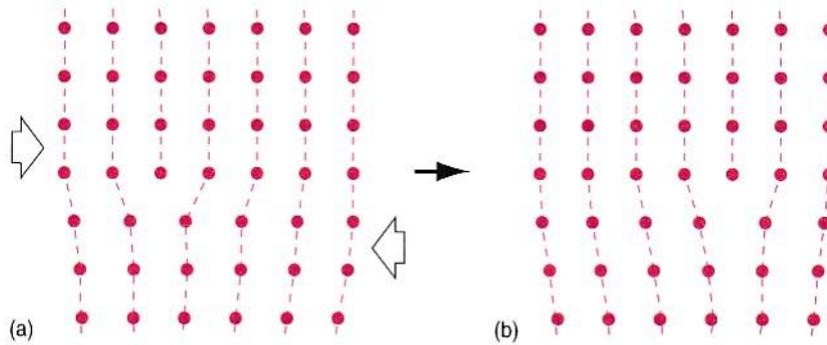
https://www.larousse.fr/encyclopedie/animations/Allotropie_du_fer/1100305

Ces variétés confèrent des propriétés physiques différentes au fer (perte de l'aimantation à haute température notamment).

4. Les solides cristallins réels, impurifiés

Les cristaux réels présentent en quantité plus ou moins grande, des défauts cristallins, c'est-à-dire des irrégularités dans le réseau.

- * Les défauts linéaires constituent des sortes de plis des plans atomiques dans le cristal. On les appelle dislocations. Une dislocation peut migrer dans le cristal, par glissement des plans atomiques les uns par rapport aux autres., sous l'effet d'un effort mécanique.



Dislocation et sa migration dans le cristal

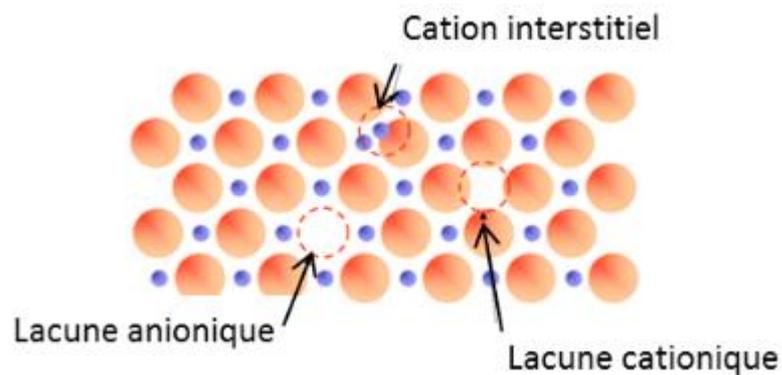
Si les métaux ne présentaient pas de dislocations, ils seraient beaucoup moins malléables et ductiles.

Remarque

Un matériau malléable à une aptitude à se laisser déformer, par exemple par laminage.

Un matériau ductile à une aptitude à se laisser étirer en fils.

- * Il existe aussi des défauts ponctuels qui résultent :
 Soit d'une lacune, là où devrait se trouver un atome ou un ion,
 Soit d'un excès d'atome ou ion, on parle de défaut interstitiel. L'élément s'insère dans un espace vide du réseau cristallin.
 Par exemple, voici une illustration de ces défauts dans la structure du chlorure de sodium, cristal ionique constitué de cations Na^+ et d'anions Cl^- :



Les défauts interstitiels jouent un rôle important dans la constitution des alliages.

3. Les alliages

Définition

Un alliage est une combinaison d'un métal « hôte » avec un ou plusieurs autres éléments métalliques ou non métalliques. Il peut également exister des impuretés.

* Quand l'élément d'alliage est non métallique sa teneur est limitée. Par exemple, l'acier et la fonte ont pour élément de base le fer et pour élément d'alliage le carbone (inférieur à 2% en masse dans l'acier et de l'ordre de 7% dans la fonte).

* Quand l'élément d'alliage est un métal, la teneur peut aller jusqu'à 50%. Par exemple, le laiton est un alliage cuivre-zinc à 50%.

Intérêt

Le but est soit d'améliorer les caractéristiques physiques (dureté, densité...) soit d'améliorer les caractéristiques chimiques (résistance à la corrosion).

Par exemple, l'acier inoxydable est un alliage où l'élément de base est le fer et où les éléments d'alliage sont du carbone, du nickel, du chrome et du molybdène.

Le laiton quant à lui, est très facile à usiner et utilisé pour la fabrication de divers instruments de musique ou encore comme raccord en plomberie.