Thème 1 Chapitre 2. Des édifices ordonnés : les cristaux

Les atomes peuvent exister à l'état isolés mais aussi former des assemblages de plus grande taille et complexité qui forment une partie importante du monde macroscopique : roches du paysage, êtres vivants. Parmi ces assemblages, les cristaux sont les plus simples. Nous allons décrire les cristaux, quelques-unes de leurs propriétés et leur diversité puis nous montrerons l'importance de la présence de ces cristaux dans notre environnement.

1. Un exemple de cristal : le chlorure de sodium solide

L'halite ou sel gemme est une roche qui se forme dans des grottes par évaporation de l'eau de mer. Elle constituée de gros éléments cubiques translucides. Ces éléments cubiques résultent de l'assemblage de très nombreux exemplaires d'un motif élémentaire cubique
Ce motif élémentaire constitue la maille du cristal.
Dans certaines conditions naturelles ou artificielles, un grand nombre de mailles identiques forment un assemblage répétitif ou réseau cristallin
Lorsque le réseau cristallin peut s'agrandir sans obstacle, l'objet qui en résulte a une forme géométrique très régulière qui dépend de celle de la maille: un cristal

2. Propriétés et diversité des cristaux

Les cristaux se distinguent par plusieurs propriétés géométriques, physiques et chimiques qui sont liées entre elles.

- Le **système cristallin** auquel ils appartiennent est la forme géométrique de la maille : cubique, orthorhombique, hexagonale etc.
  exemple : le cristal de halite (sel de mer) appartient au système cubique.

- Le **type de réseau** est la manière dont les atomes sont disposés dans la maille.
  Exemples :
  dans la Halite, les ions Na+ forment un réseau cubique à faces centrées
  dans le cristal de fer, les atomes de Fer dorment un réseau cubique centré
  dans le cristal de polonium les atomes de Polonium forment un réseau cubique simple.

- La **formule brute** est la nature et la proportion stœchiométrique des atomes qui constituent la maille.
  Exemple : l'halite a pour formule brute Na^+Cl^- ou NaCl: il y a un ion Na^+ pour un ion Cl^- dans la maille. Le diamant, qui appartient au même système, a pour formule chimique C : il n'y a que des atomes de carbone dans la maille.

- La **multiplicité** de la maille, notée Z, est le nombre d'atomes physiquement présents dans la maille. Lorsqu'un atome est partagé par plusieurs mailles, on le divise par le nombre des mailles dont il fait partie. Dans le cas d'une maille cubique :

Position de l'atome	Contribution de l'atome (partie de l'atome qui est réellement dans la maille)
au milieu du cube	1
au centre d'une face	1/2
au milieu d'une arête	1/4
sur un somment du cube	1/8

Exemple : Calculons la multiplicité Z de la maille du cristal de halite:
$Z_{Na} = 8 \times (\frac{1}{8}) + 6 \times (\frac{1}{2}) = 4$

$Z_{Cl} = 12 \times (\frac{1}{4}) + 1 \times (1) = 4$

Dans les calculs, les contributions des atomes sont entre parenthèses.

$Z = Z_{Na} + Z_{Cl} = 4 + 4 = 8$ atomes

- La **compacité** du cristal notée C, chiffre sans unité, est la proportion du volume de la maille qui est réellement occupée par les atomes

Exemple : pour la halite,
Volume d'un ion sodium $Na^+ = 2{,}4 \cdot 10^{-29}$ m³
Volume d'un ion Chlorure $Cl^- = 0{,}4 \cdot 10^{-29}$ m³
Volume de la maille (= a³) = $17{,}6 \cdot 10^{-29}$ m³

Il y a 4 ions Na+ physiquement présents dans la maille et 4 ions Cl-.

$$C = \frac{\text{volume occupé par les atomes}}{\text{volume de la maille}}$$

$$= \frac{4 \times \text{volume d'un ion sodium} + 4 \times \text{volume d'un ion Chlorure}}{\text{volume de la maille}}$$

$$= \frac{4 \times 2{,}4 \cdot 10^{-29} + 4 \times 0{,}4 \cdot 10^{-29}}{17{,}6 \cdot 10^{-29}} = \frac{4 \times 2{,}4 + 4 \times 0{,}4}{17{,}6} = \mathbf{0{,}64}$$

Dans cette maille, les atomes occupent 64% du volume de la maille.

- La **masse volumique** ρ du cristal est la masse du cristal par unité de volume, en g.cm^{-3}.

Exemple : pour la halite,
Masse d'un ion sodium Na^+: $m_{Na^+} = 3{,}81 \cdot 10^{-23}$ g.
Masse d'un ion chlorure Cl^- : $m_{Cl^-} = 5{,}89 \cdot 10^{-23}$ g.
Volume de la maille (= a³) = $17{,}6 \cdot 10^{-23}$ cm³

$$\rho = \frac{\text{masse des atomes physiquement présents dans la maille}}{\text{volume de la maille}}$$

$$= \frac{4 \times \text{masse d'un ion sodium} + 4 \times \text{masse d'un ion Chlorure}}{\text{volume de la maille}}$$

$$= \frac{4 \times 3{,}81 \cdot 10^{-23} + 4 \times 5{,}89 \cdot 10^{-23}}{17{,}6 \cdot 10^{-23}} = \frac{4 \times 3{,}81 + 4 \times 5{,}89}{17{,}6} = \mathbf{2{,}2\ g.cm^{-3}}$$

La masse volumique de la halite est de 2,2 grammes par centimètre cube.

3. Les cristaux dans notre environnement : quelques exemples

La grande majorité des roches de notre planète sont constituées d'édifices cristallins, en partie ou totalement.
Dans les roches magmatiques, le refroidissement du magma permet l'assemblage des mailles des cristaux.

- Si le refroidissement est très rapide, les mailles n'ont pas le temps de s'assembler et solidifient en un mélange désordonné appelé verre ou pâte. Plus le refroidissement est lent, plus la proportion de réseaux cristallins dans le verre augmente. Les roches contenant du verre ont une structure dite microlitique.

- Si le refroidissement est suffisamment lent, la totalité du magma solidifie sous forme de réseaux cristallins. La roche obtenue est de structure grenue, c'est à dire entièrement cristallisée. Dans une roche grenue, les réseaux cristallins n'ont pas la forme régulière des cristaux car la croissance de chaque réseau est gênée par les réseaux voisins. On utilise le terme de minéraux pour désigner ces réseaux aux formes plus ou moins irrégulières.

Un réseau cristallin n'est stable que dans un certain "domaine" de pressions et températures qu'on appelle son domaine de stabilité. Si la roche qui contient ce réseau subit un changement de pression et température et quitte ce domaine de stabilité, le réseau cristallin peut se modifier et changer de structure tout en conservant la même formule brute. Ainsi un composé de formule chimique donnée peut cristalliser sous différents types de structures qui ont des propriétés macroscopiques différentes. Exemple: graphite et diamant, quartz et coésite, disthène et sillimanite.

Les réseaux cristallins sont également présents dans le monde vivant où ils jouent des rôles variés:

- contribution au squelette (aragonite des coquilles de mollusques gastéropodes et bivalves, hydroxyapathite $Ca_5(PO_4)_3OH$ du squelette osseux des vertébrés
- contribution aux défenses de l'organisme (raphides de certaines plantes, nano-cristaux de guanine de la peau des caméléons)

4. Conclusion

Les édifices cristallins présentent une très grande diversité et contribuent fortement à la richesse de notre environnement naturel. Pourtant, leur variété est bien plus limitée que la diversité propre au monde vivant ou biodiversité vue en 2nde, et leur complexité est bien inférieure à celle des organismes et des cellules vivantes que nous allons aborder dans le prochain chapitre.

Mots-clés du chapitre:

Maille, système, réseau cristallin, formule brute, complexité de la maille, compacité, masse volumique, structure microlitique/grenue, domaine de stabilité.