

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

La halite 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 résultent de l'assemblage de très nombreux motifs élémentaire cubiques comprenant chacun 13 ions chlorure Cl^- et 14 ions sodium Na^+ . 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: c'est 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 qui correspond à la forme de la maille: cubique, orthorhombique, hexagonale etc. Le cristal de halite, notre exemple, appartient au système cubique
- Le **type de réseau** qui correspond à la manière dont les atomes remplissent le motif géométrique de la maille. Ainsi la maille du cristal de halite est à faces centrées cfc, comme le diamant, tandis que le cristal de fer appartient au système cubique à faces simples cs. Dans le système cristallin de type cfc, les atomes occupent non seulement les sommets du cube mais aussi le centre de chacune de ses faces.
- La **formule brute** désigne la nature des atomes ou des ions qui constituent la maille. le cristal de halite a pour formule brute $(\text{NaCl})_n$, tandis que le diamant, qui appartient au même système, a pour formule chimique C_n
- La **multiplicité** de la maille, notée Z, qui est le nombre d'atomes par maille. Lorsqu'un atome est partagé par plusieurs mailles, on le divise par le nombre de ces mailles. Ainsi pour la halite, les atomes des sommets du cube sont partagés par huit mailles, ceux du milieu des faces du cube sont partagés par deux mailles et ceux situés au milieu de chaque arête du cube sont partagés par quatre mailles. Un seul atome au centre de la maille, appartient entièrement à celle-ci. La multiplicité Z de la maille du cristal de halite est donc: $Z = 8 \times 1/8 + 6 \times 1/2 + 12 \times 1/4 + 1 = 8$
- La **compacité** du cristal notée C, chiffre sans unité qui mesure la proportion du volume de la maille qui est occupée par les atomes.
Dans le cas du cristal de halite
nombre n_n d'ions sodium de la maille: $8 \times 1/8 + 6 \times 1/2 = 4$; rayon r_n d'un ion sodium : 180 pm
nombre n_c d'ions chlorure de la maille : $12 \times 1/4 + 1 = 4$; rayon r_c d'un ion chlorure : 100 pm
arête a de la maille cubique : 564 pm
Ainsi $C = (4 \times 4/3 \pi r_n^3 + 4 \times 4/3 \pi r_c^3) / a^3 = 0,638$

- La **masse volumique** ρ du cristal qui mesure la masse du cristal par unité de volume en g.cm^{-3} .
nombre n_n d'ions sodium de la maille = 4 ; masse m_n d'un ion sodium = masse molaire du sodium/Nombre d'Avogadro = $22,98 \text{ g.mol}^{-1} / 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
nombre n_c d'ions chlorure de la maille = 4 ; masse m_c d'un ion chlorure = masse molaire du chlore/Nombre d'Avogadro = $35,453 \text{ g.mol}^{-1} / 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
arête a de la maille cubique : 564 pm
Ainsi
 $\rho = 38,812 \times 10^{-23} / 179406144 \times 10^{-30} = 2,1633 \text{ g.cm}^{-3}$

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. Plus le refroidissement est lent, plus la proportion de réseaux cristallins augmente dans le verre. 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 le monde vivant où ils jouent des rôles variés:

- contribution au squelette (aragonite des coquilles de mollusques gastéropodes et bivalves, hydroxyapatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ 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 2^{nde}, 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, réseau, cristal, complexité de la maille, système cristallin, type de réseau, compacité, masse volumique, structure microlitique/grenue, domaine de stabilité,