

# Cristal et diffraction

CRISTAL, D'UNE FACE À L'AUTRE

## 1 | UN CRISTAL, C'EST ORDONNÉ

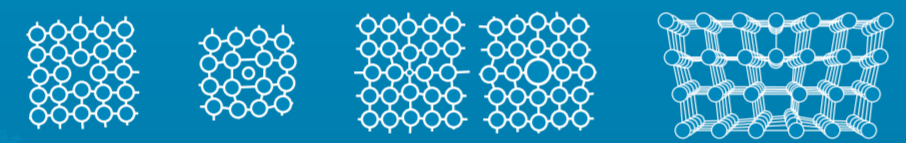
La matière est constituée d'atomes. Dans un cristal, ils sont ordonnés de façon périodique. L'assemblage des atomes d'un cristal est caractérisé par une maille élémentaire répétée dans les trois dimensions de l'espace (il en existe sept types). Dans certains cas, les atomes sont ordonnés mais pas de manière périodique : on parle alors de quasicristaux.

### La structure est primordiale

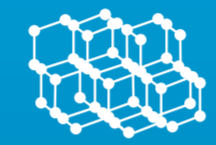
Avec des atomes de carbone on peut obtenir aussi bien du diamant que du graphite.

### Personne n'est parfait

Les cristaux que nous observons ne sont pas toujours parfaits. Ils peuvent comporter des défauts qui dépendent des conditions dans lesquelles le cristal a été formé. Ces « défauts » portent plutôt mal leur nom car ils peuvent donner aux cristaux des propriétés importantes, par exemple leur couleur.



▲ Différents types de défauts : lacune, atome interstitiel, atome substitutionnel, dislocation.



### DIAMANT

- Type d'atome : carbone
- Type de maille : cubique
- Matériau très dur
- Transparent
- Bonne conduction thermique



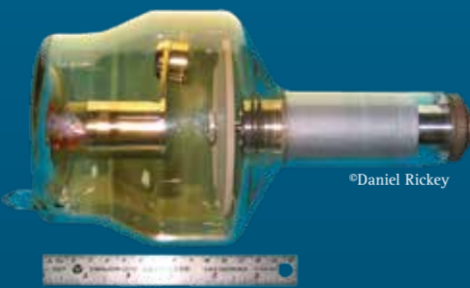
### GRAPHITE

- Type d'atome : carbone
- Type de maille : hexagonale
- Matériau friable en feuillets
- Couleur grise foncée
- Bonne conduction électrique

## 3 | PRODUIRE DES RAYONS X

Pour produire des rayons X, on utilise au laboratoire un tube à rayons X, mais on peut aussi utiliser de grands instruments comme le synchrotron SOLEIL.

En chauffant un filament de tungstène sous vide, des électrons sont arrachés puis accélérés, avant de bombarder une anode métallique : il y a émission de rayons X. Leur longueur d'onde dépend du métal (0,154 nm pour le cuivre, 0,0709 nm pour le molybdène).



▲ Au synchrotron SOLEIL, des électrons tournent à une vitesse proche de celle de la lumière. A chaque fois qu'ils sont déviés, ils émettent des ondes électromagnétiques suivant un spectre très large, contenant notamment des rayons X. Cette source est très puissante et permet de disposer de toutes les longueurs d'onde à la fois.

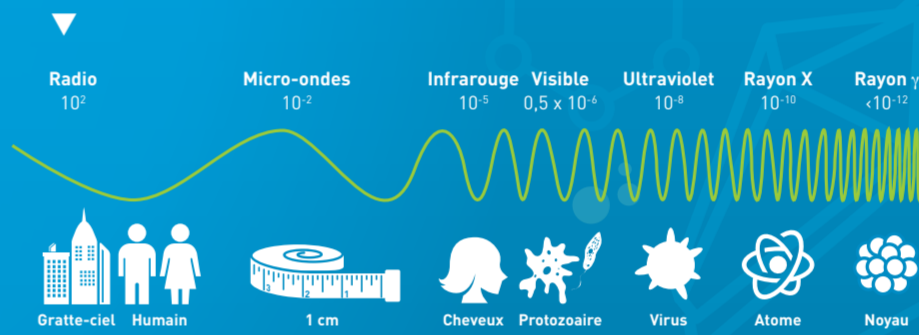
### À la place des rayons X...

On peut utiliser des particules pour faire des images de diffraction : les neutrons, qui permettent de « voir » les atomes d'hydrogène (mal détectés par la diffraction X), ou les électrons, qui autorisent une meilleure précision que les rayons X mais sont réservés aux échantillons de très faible épaisseur (moins de 100 nm).

## 2 | UN CRISTAL, ÇA DIFFRACTE

Lorsque la longueur d'onde de la lumière est proche de la dimension des objets qu'elle éclaire, on observe un phénomène d'interférences lumineuses appelé diffraction : les ondes lumineuses s'additionnent en certains points de l'espace et s'annulent en d'autres.

Différents types d'ondes électromagnétiques en fonction de la longueur d'onde. Pour chaque domaine de longueur d'onde (nm) est représenté un objet de taille comparable.



atome

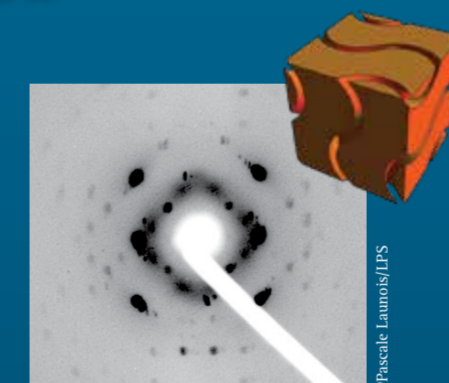
faisceau incident de rayons X

longueur d'onde  $\lambda$

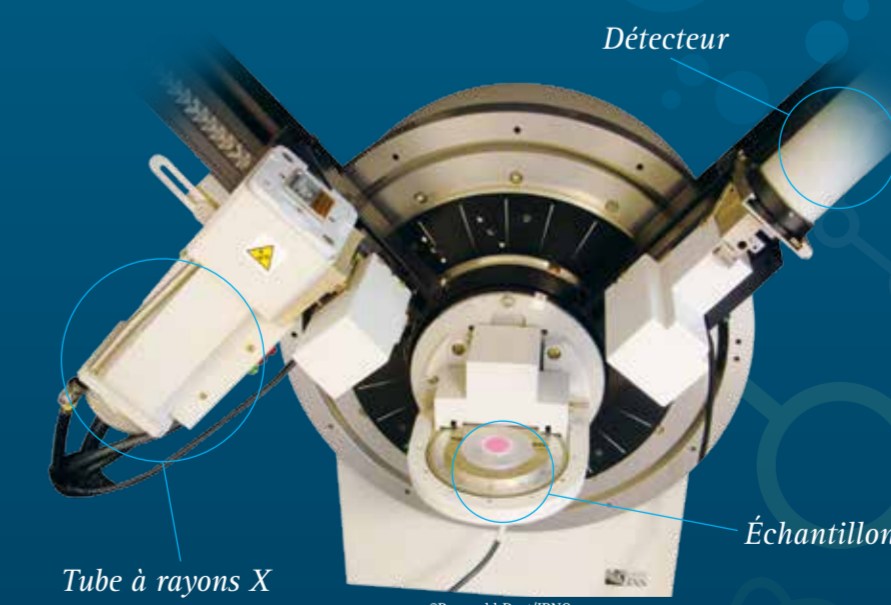
Les rayons X sont diffractés par le réseau cristallin si l'angle d'incidence  $\theta$  vérifie la loi de Bragg :  $2.d.\sin(\theta) = p.\lambda$  (où  $p$  est un nombre entier). La déviation est d'autant plus grande que l'écartement des plans atomiques  $d$  est petit.

## 4 | DÉTECTER ET INTERPRÉTER

Pour analyser la diffraction des rayons X par un cristal, on utilise un diffractomètre. Un réseau cristallin est un objet à 3 dimensions : on détermine les 3 paramètres de la maille élémentaire en analysant la figure de diffraction. L'intensité des taches ou des pics obtenus renseigne sur l'arrangement des atomes dans le cristal.



▲ Figure de diffraction des rayons X par un matériau en silice amorphe à porosité ordonnée. La surface poreuse est périodique dans la matrice de silice (représentée en orange sur le schéma). La diffraction est obtenue avec le faisceau de rayons X le long d'un axe de symétrie d'ordre 4 du matériau.



Tube à rayons X

Détecteur

Échantillon