

I - Un niveau d'organisation : les éléments chimiques

1. La matière dans l'Univers

L'Univers est formé de **118 éléments chimiques** différents. Sa composition est liée à la manière dont ont été synthétisés ces éléments chimiques (*voir cours de physique : c'est à partir de l'hydrogène initial qu'apparaissent les autres éléments chimiques plus lourds*).

Représentant plus de 90% des atomes de la matière connue, soit presque les $\frac{3}{4}$ de sa masse, l'**hydrogène** est l'élément le plus abondant de l'Univers. Il est suivi par l'**hélium**. Très loin ensuite viennent : l'**oxygène**, le **carbone**, l'**azote**...

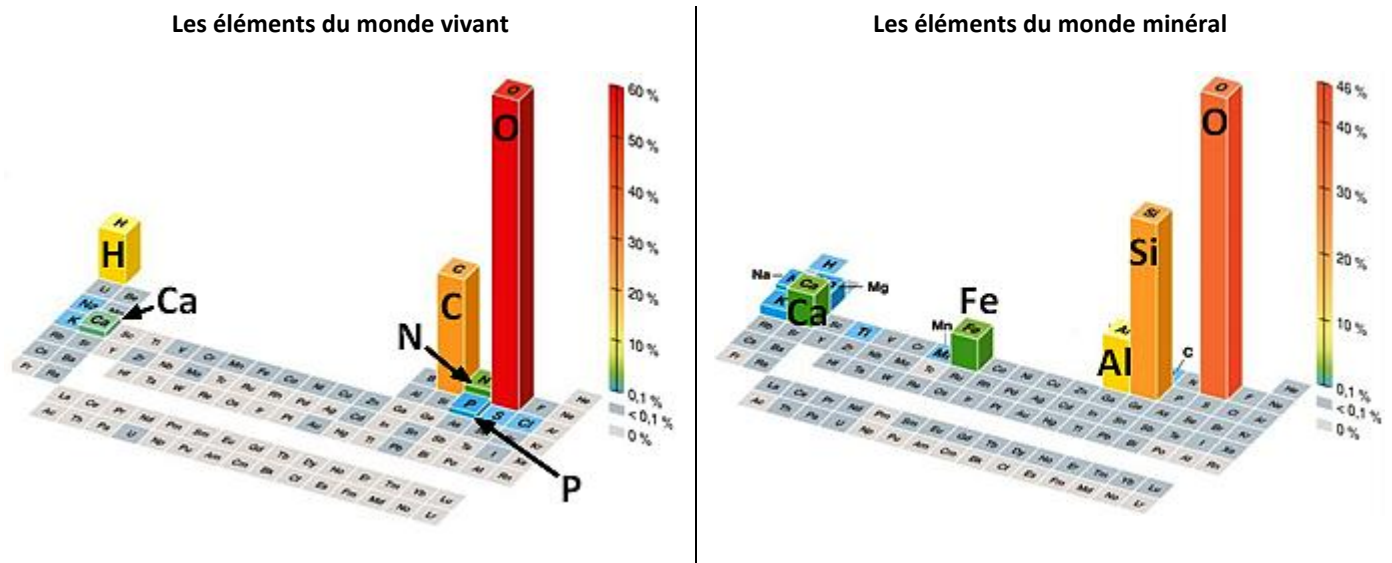
Remarque : Les éléments sont d'autant plus rares que leur masse est élevée.

2. Sur Terre

La planète Terre est surtout constituée d'**oxygène**, de **fer**, de **silicium** et de **magnésium** participant à la formation de **molécules minérales** en particulier de **silicates**, éléments essentiels des **roches** de la croûte terrestre et du manteau. Le noyau terrestre est principalement composé de **fer**, **nickel** et de soufre.

Les êtres vivants partagent avec le monde minéral les **mêmes éléments chimiques** mais dans des **proportions différentes**. Leurs principaux constituants sont le **carbone** (C), l'**hydrogène** (H), l'**oxygène** (O) et l'**azote** (N) qui participent à la formation de **molécules organiques** (glucides, lipides, protides...). Le « squelette » de ces molécules est constitué par des **atomes de C** sur lesquels viennent se greffer les autres éléments (**H, O, N, S, P** etc..).

Remarque : On trouve également des molécules organiques sur d'autres corps du Système solaire, parmi eux, les **comètes**, objets célestes constitués de glace et de poussières riches en **carbone**. Les astronomes suspectent les comètes d'avoir apporté sur notre planète à la fois l'eau et les composés chimiques précurseurs du vivant à la faveur d'un énorme bombardement auquel on sait que notre planète et les autres objets du système solaire ont été soumis peu de temps après leur genèse : c'est la « théorie de l'ensemencement ».



II - Des édifices ordonnés : les cristaux

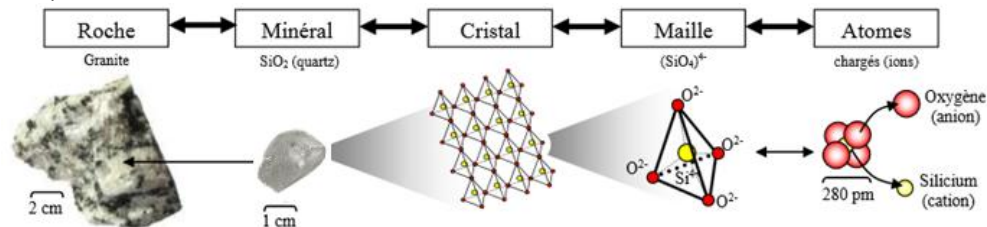
Un peu d'histoire : L'abbé René-Just Haüy (1743 – 1822), minéralogiste français, est l'un des fondateurs de la cristallographie moderne (étude géométrique des cristaux). C'est en 1781, alors qu'il examine un cristal de calcite, que celui-ci lui échappe des mains et se brise sur le sol. L'abbé Haüy observe alors que les fragments résultants ont conservé la même forme géométrique que le cristal de départ, et ce indépendamment de leur taille. Il émet ainsi l'hypothèse de l'existence de « *molécules intégrantes* » qui, empilées les unes aux autres, génèrent le cristal. Ces « *molécules intégrantes* » sont aujourd'hui appelées **mailles**.

1. L'organisation de la matière dans les solides

À l'échelle microscopique (nanométrique – $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$), les **atomes**, **ions** ou **molécules** constituant les **solides cristallins** s'agencent de manière ordonnée et régulière (= **périodique**).

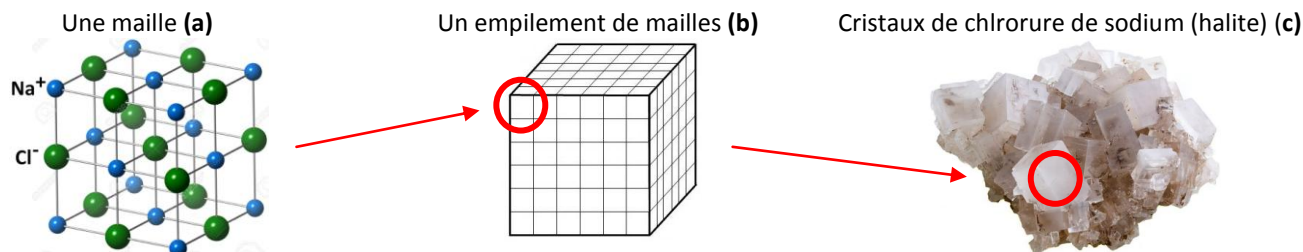
À l'échelle macroscopique, cette organisation conduit à la formation de **cristaux** aux formes géométriques bien définies. Leur architecture correspond à l'un des **sept systèmes cristallins**.

De la roche (un granite) à l'atome



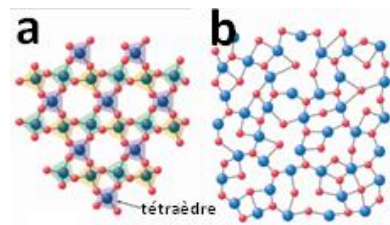
- Cas du chlorure de sodium (voir TP2)

Le chlorure de sodium [NaCl(s)] est décrit au niveau microscopique par une **maille de forme cubique à face centrée (a)**, reflet de l'arrangement des ions qui le constituent (Na^+ et Cl^-). L'empilement régulier et périodique de ces mailles cubiques (b) génère le **crystal** de chlorure de sodium à l'échelle macroscopique (c) de forme cubique lui aussi.



Au contraire, les **solides amorphes** (le verre, par exemple) ne présentent aucune organisation particulière à l'échelle microscopique : les éléments chimiques se répartissent de manière aléatoire. Les solides amorphes n'ont donc pas de forme géométrique précise.

- Structure cristalline
- Structure amorphe






En résumé : une **structure cristalline** est définie par une **maille élémentaire répétée périodiquement**. Un **crystal** est défini par la **forme géométrique de la maille, la nature et la position dans cette maille des éléments chimiques qui la constituent**.

2. Des roches aux êtres vivants : les cristaux sont partout !

➤ Une **roche** est formée par l'association d'un ou de plusieurs **minéraux**, dont les propriétés dépendent de l'arrangement spatial des éléments chimiques qui le constituent.

Un composé de même formule chimique peut cristalliser, selon les conditions de **pression** et de **température**, en différentes formes possédant des propriétés macroscopiques différentes.

Ex. Le **basalte** et le **gabbro** sont 2 **roches magmatiques** caractéristiques de la **croûte océanique** ayant une **composition chimique très proche** mais une **texture** (ou structure) différente.

roche	Composition minéralogique	texture	Conditions de mise en place
 obsidienne	Pas de cristaux visibles à l'œil nu ou au microscope.	Aucune organisation particulière des éléments chimiques Absence de cristallisation → Structure vitreuse	Refroidissement très rapide d'un magma en surface (et au contact de l'eau par exemple) L'obsidienne est une roche magmatique volcanique
 basalte	Feldspaths plagioclase : 50% Pyroxène : 25 à 40% Olivine : 10 à 25% Magnétite : 2-3%	minéraux microscopiques de pyroxène et d'olivine + cristaux de feldspath sous forme de paillettes, baguettes noyées dans une matière amorphe (= verre ou pâte) Cristallisation partielle → Structure microlithique	Refroidissement rapide d'un magma en surface (ou dans une cheminée volcanique) Le basalte est une roche magmatique volcanique
 gabbro	Feldspaths plagioclase Pyroxène	La roche est entièrement cristallisée : tous les minéraux, visibles à l'œil nu, sont jointifs. Cristallisation totale → Structure grenue	Refroidissement lent d'un magma en profondeur , dans une chambre magmatique . Le gabbro est une roche magmatique plutonique

En résumé : La **structure cristalline** des roches magmatiques résulte d'un **refroidissement lent** d'un **magma** dans une **chambre magmatique** alors que la **structure amorphe** résulte d'un **refroidissement très rapide** d'un magma, la plupart du temps en surface.

- Dans de nombreux cas, les cristaux font partie intégrante de la structure des êtres vivants.

Ex 1 : les raphides : cristaux d'**oxalate de calcium** ou de **carbonate de calcium** sous forme d'aiguilles chez la misère. Ils constituent un système de défense contre les herbivores.

Ces cristaux se retrouvent également chez les humains dans leur rein, ce sont les « calculs rénaux » (du latin *calculus* : caillou).

Ex 2. La coquille de mollusques bivalves (huitres, moules...) : cristaux d'**aragonite** et de **calcite** de même formule chimique mais cristallisant dans un système différent. La **nacre** est composée de 5% de matière organique et de 95% d'aragonite.

III – Une structure complexe : la cellule vivante

1. De la « génération spontanée » à la « théorie cellulaire »

Avant l'invention du microscope, les **microorganismes** étaient inconnus. La théorie biologique de la **génération spontanée** stipulait que la matière inerte pouvait donner naissance à un être vivant. Si une tranche de pain, du fromage, ou les fruits est laissé dans l'air pour assez longtemps, la moisissure apparaît là-dessus éventuellement. Dans le passé, il n'y avait pas d'explication pour l'apparence soudaine de moisissure. Il n'y avait donc dans cette théorie aucune nécessité de la reproduction dans la multiplication des êtres vivants. Cette représentation peut faire sourire de nos jours alors qu'elle a été soutenue et même âprement défendue d'Aristote jusqu'à la seconde moitié du 19^e siècle. Il faudra attendre les expériences de **Louis Pasteur** en **1864** et les progrès de la microscopie pour que cette théorie soit définitivement rejetée.

La théorie cellulaire :

La cellule, unité vivante, est la plus petite **unité structurale et fonctionnelle du vivant** (Theodor Schwann – 1839);

Tous les êtres vivants sont constitués **de 1 ou plusieurs cellules** ;

Toute cellule **provient d'une autre cellule** (Rudolf Virchow – 1855 / Louis Pasteur – 1861 : *l'idée de « génération spontanée est réfutée*).

2. Les progrès de la microscopie (*voir document annexe*)

2.1. Les microscopes optiques (ou photoniques)


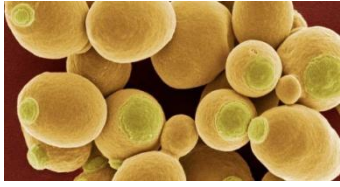

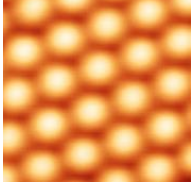
Le microscope optique est un système optique à lentilles. L'objet à observer est placé devant le premier groupe optique appelé « objectif ». Le deuxième groupe optique du côté de l'observateur est l'oculaire. [**Grossissement maximal : 1 000 x**]

2.2. Les microscopes électroniques [grossissement maximal : jusqu'à 5.10⁶ x]

Ces microscopes utilisent des **faisceaux d'électrons** - et non de la lumière (= photons) – concentrés par des lentilles électromagnétiques, ce qui permet de passer d'un grossissement de x **1 000** à x **1 000 000** et d'accéder ainsi à l'**échelle moléculaire**.

Le microscope électronique à transmission (MET) : **un faisceau d'électrons traverse l'échantillon**. Les zones qui les laissent passer apparaissent en blanc alors que celles qui les dispersent parce que plus denses apparaissent sombres, ce qui permet de former une **image en noir et blanc**. Le MET permet des observations jusqu'à une résolution **nanométrique** (10⁻⁹ m). L'invention de ces microscopes, dont le pouvoir de résolution est 1000 x supérieur à celui des microscopes optiques, a permis l'exploration de l'intérieur de la cellule et de son fonctionnement : exploration des divers **organites**, limités par des membranes. On distingue par exemple le noyau mais également ce qu'il contient : de l'ADN et des protéines, les détails de la **membrane plasmique**.

Le microscope électronique à balayage (MEB) : la surface de l'échantillon **est balayée** par un faisceau d'électrons qui est **réfléchi**. La topographie de la surface permet d'établir une **image en 3D** de la surface de l'échantillon.

Levure du boulanger en MET (x 5000)	Levure du boulanger en MEB	Bactériophage T4 (virus) en MET	Atomes de silicium avec microscope à effet tunnel
			
Taille : 6 à 12 μm (micromètre : 10 ⁻⁶ m)		Taille : 200 nm (nanomètre = 10 ⁻⁹ m)	Taille : 210 pm (picomètre : 10 ⁻¹² m)

3. La membrane plasmique : une « mosaïque fluide »

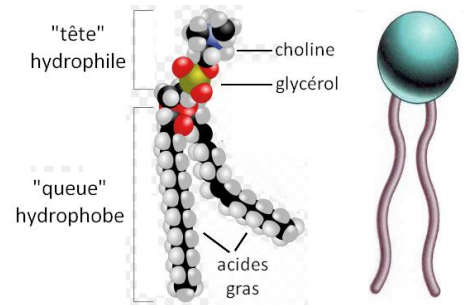
La cellule est un espace séparé du milieu environnant par une **membrane plasmique**. Elle est constituée d'une **bicouche lipidique** dans laquelle sont insérées des **protéines**. Ces deux catégories de molécules possèdent des **régions hydrophiles** et **lipophiles**. Grâce à ces interactions la membrane est stabilisée mais reste souple et déformable ; on parle de structure en « mosaïque ».

Les lipides : Ce sont des **phospholipides** et du **cholestérol**.

Les régions hydrophiles se regroupent grâce à des interactions attractives avec le cytoplasme et le milieu extracellulaire. Les régions lipophiles (donc hydrophobes) se regroupent grâce à des interactions attractives.

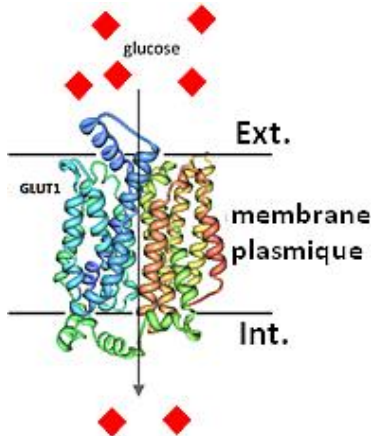
Les protéines sont constituées d'un assemblage d'**acides aminés**. Certains de ces acides aminés sont **hydrophobes** (donc lipophiles), d'autres **hydrophiles**. Les protéines membranaires ont souvent plusieurs domaines. Certains domaines se trouvent à l'intérieur de la cellule, à l'extérieur de la cellule ou enchâssés au sein de la membrane plasmique.

- Certaines sont capables de capter des informations extérieures (hormones) et de les transmettre à l'intérieur de la cellule ;
- D'autres, lorsqu'elles sont liées à la face extérieure de la membrane, sont impliquées dans des fonctions d'adhérence et de reconnaissance entre les cellules.
- D'autres, ont une fonction **de canal membranaire**, ce sont les **porines** ou les **canaux ioniques**. Ce canal permet le transport transmembranaire de molécules hydrophiles : d'**ions** (cas des canaux ioniques) ou de molécules de petite taille telles que **H₂O, glucides, acides aminés, nucléotides** (cas des porines) avec une capacité de transport d'environ 10^7 à 10^8 molécules/sec.
- Etc.

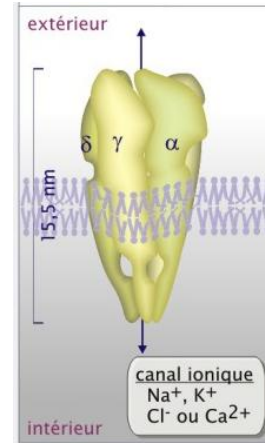


Les **molécules lipophiles** peuvent, elles, traverser directement la membrane plasmique. La membrane plasmique n'est donc pas une barrière étanche : certains échanges entre le cytoplasme et l'extérieur sont possibles (glucose, ions ...).

Une porine : la glucose transférase



Un canal ionique : le canal à sodium (Na⁺)



Portion de la membrane plasmique : une structure complexe

