

Les sciences du vivant...

La biochimie

Ou **la chimie de la vie**

La chimie organique la chimie du Carbone

La biologie, la biologie moléculaire

la physique, la biophysique

la bioénergétique

la microbiologie

la génétique

la géochimie

l'exobiologie

Et aussi la géologie, l'astronomie....

Qu'est-ce que la Vie ? De l'atome à la cellule

**Un voyage au cœur du vivant
Évolution de la Vie sur Terre**

Hypothèse sur l'origine de la vie jusqu'en 1865

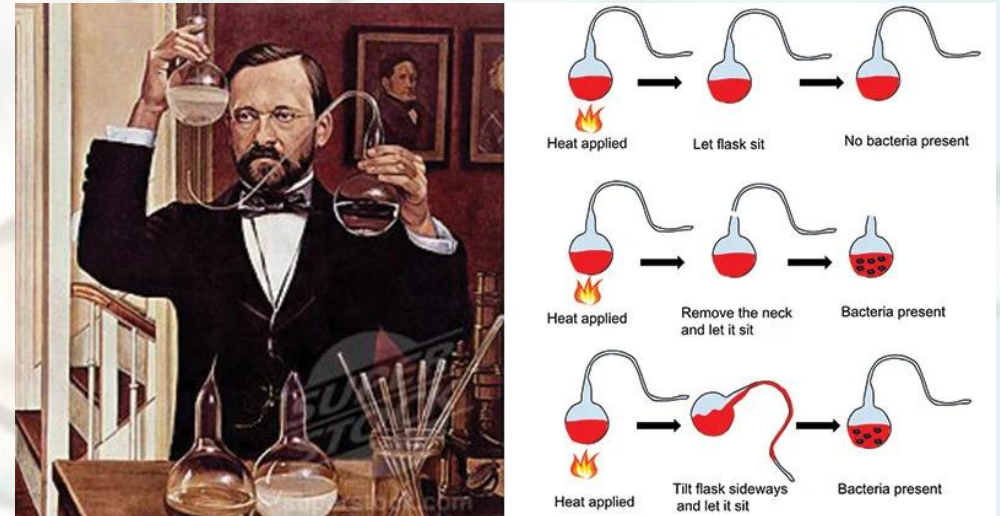
Jusqu'à 1865, existe le dogme de **la génération spontanée**, ou **abiogenèse**; qui affirme que les organismes vivants **naissent de la matière inerte**.

En **1865 Pasteur** met au point une expérience qui donne un **coup fatal à la théorie de la génération spontanée**.

Cette expérience démontre que dans un milieu clos, lorsqu'il n'y a **aucune contamination par l'air ambiant**, aucune vie ne peut apparaître.

La conclusion est définitive :

➤ **seule la vie engendre la vie**



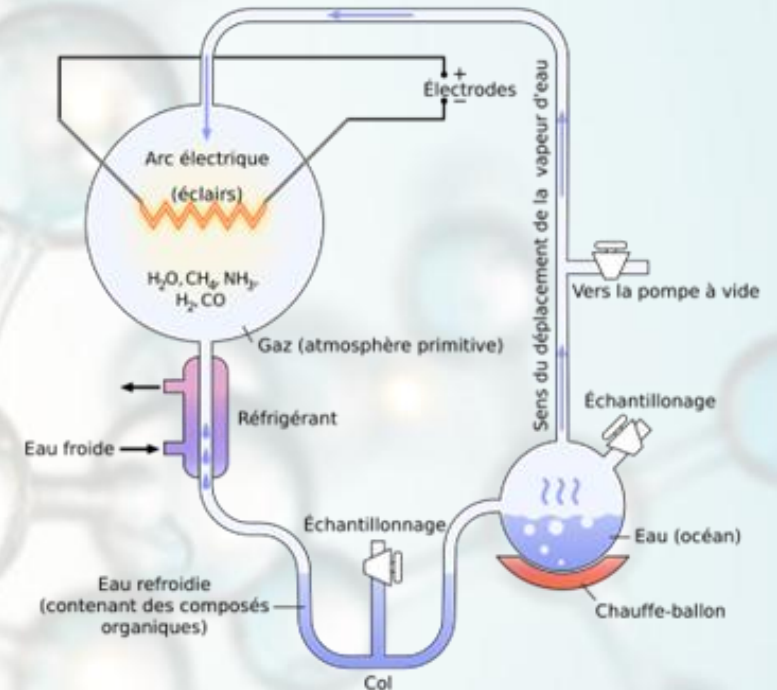
A partir de 1924, nouvelle théorie

Théorie audacieuse de **A. Oparin (1924)** et **Haldane (1929)**

L'évolution du monde vivant aurait été précédée d'une évolution chimique

En **1953 Stanley Miller**, accompagné de **Harold Urey**, miment les conditions de la « **la soupe primitive** » pour vérifier cette hypothèse

Ces expériences, controversées de nos jours, montrent qu'elles permettent la **formation de molécules** comme les **acides aminés** et **ADN**, qui **pourraient être à l'origine de la vie**



Ils ont enfermé dans un ballon des gaz, méthane CH_4 , ammoniac NH_3 , hydrogène H_2 , carbone C et eau H_2O et soumis le mélange à des décharges électriques et UV pendant sept jours.

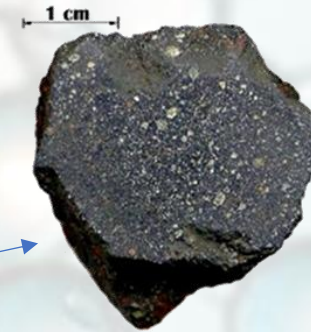
Théorie de la panspermie

La **panspermie** est une hypothèse, apparue au cours de l'Antiquité, selon laquelle l'origine des organismes vivants sur Terre serait une « contamination » extraterrestre. Elle reste une **hypothèse spéculative** puisqu'elle n'est pas étayée par des preuves tangibles.

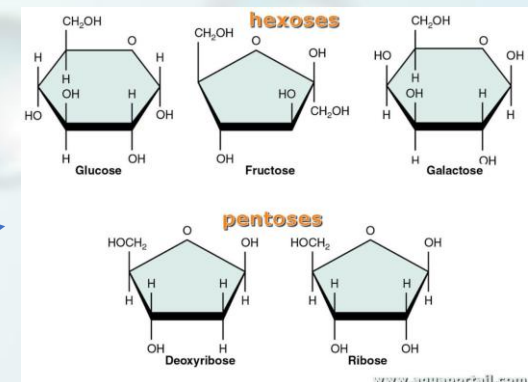
Néanmoins, **l'univers** est constitué de 92 espèces d'atomes.

- Le **Carbone, Azote, Hydrogène, Oxygène**, atomes fabriqués dans les étoiles
- Le méthane **CH₄**, l'ammoniac **NH₃**... molécules simples synthétisées dans les nébuleuses
- Les météorites, les **chondrites carbonées**, possèdent des **molécules riches en carbone**, dont plus de **70 acides aminés** présents dans la **biosphère**

Fragment de la météorite de **Murchison**, Australie, la plus riche en chondrites carbonées. **Source 2004** J. H. Wittke & T. E. Bunch



Proportion (nombre d'atomes pour 1 milliard)	Élément
910580000	Hydrogène (H)
88000000	Hélium (He)
800000	Oxygène (O)
300000	Carbone (C)
100000	Azote (N)
100000	Néon (Ne)
30000	Silicium (Si)
30000	Magnésium (Mg)
30000	Fer (Fe)
30000	somme des 83 autres éléments

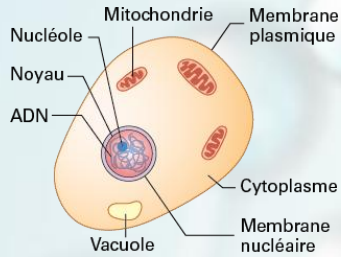


- Les nuages interstellaires, de part la **collision des atomes** avec les particules du **rayonnement cosmiques** forment, plus de 60 molécules organiques simples, constituées de **C, O, H**, capable de former des **sucres**

Définition de la Vie

- Entité délimitée par une membrane, garde son intégrité mais évolue
- Elle a une activité autonome, interagit avec son environnement, puise l'énergie, possède un métabolisme, (ensemble de réactions chimiques) pour convertir l'énergie et les nutriments en matière vivante.
- Capable de se reproduire et coder l'information pour que la vie se perpétue après sa mort
 - Ces trois fonctions de base sont essentielles à la vie

la Vie, la cellule



- La **Vie** a finalement pris la forme d'une **cellule** délimitée par une **membrane**
 - Cette **cellule** est capable d'une **activité autonome**, de **s'auto organiser**, de **s'auto réparer**, elle **puise** elle-même tous les éléments et l'énergie pour atteindre un ordre interne
 - Et, **la vie utilise l'eau liquide comme solvant**
- « **La vie est un système chimique auto-maintenu, capable d'évolution darwinienne** »

NASA 1992



Charles Darwin. 1859 *L'origine des espèces*.

La théorie de l'évolution suggère que toutes les espèces vivantes sont en perpétuelle transformation et subissent au fil du temps et des générations des modifications morphologiques comme génétiques.

Sont-ils vivants ?

Un robot est-il vivant ?

Délimité

Interagit, capable de parler

NON, ne se reproduit pas !



Un virus informatique est-il vivant ?

Se diffuse d'un ordinateur à un autre

Utilise l'énergie électrique

NON, n'est pas délimité

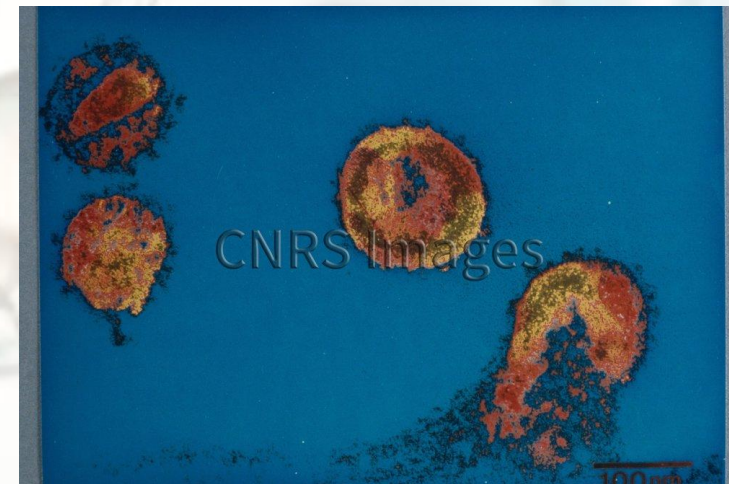
et n'évolue pas tout seul naturellement



Un virus est-il vivant?

VIH ou virus de l'immunodéficience humaine. Charles DAUGUET.

Microscopie électronique. En bas particule de **VIH** bourgeonnant à la surface d'un **lymphocyte T4** infecté. Au centre : particule de **VIH** immature qui s'est détachée de la cellule infectée. En haut à gauche : particule virale mature, prête à infecter une nouvelle cellule, où l'on distingue le cône du noyau



délimité, évolue vite, possède un génome ARN ou ADN, **mais pas de métabolisme, pas autonome, a besoin de la cellule hôte pour se reproduire.**

NON, entité individuelle : Organisme non vivant

OUI, écosystèmes : interagit avec les cellules, modifie leur métabolisme, cause leur mort, donc font partie du monde vivant

De quoi la vie cellulaire a-t-elle besoin ?

➤ Énergie

- L'énergie du soleil
- Autre type d'énergie : énergie chimique

➤ Matière et éléments chimiques ou atomes

la Vie utilise la chimie du carbone, associé à d'autres atomes : C, H, O, N, S, P, Cl, Br, Na, K, et ions métalliques, Fe...

Ces atomes sont constitutifs des briques du vivant et des molécules complexes

➤ Eau

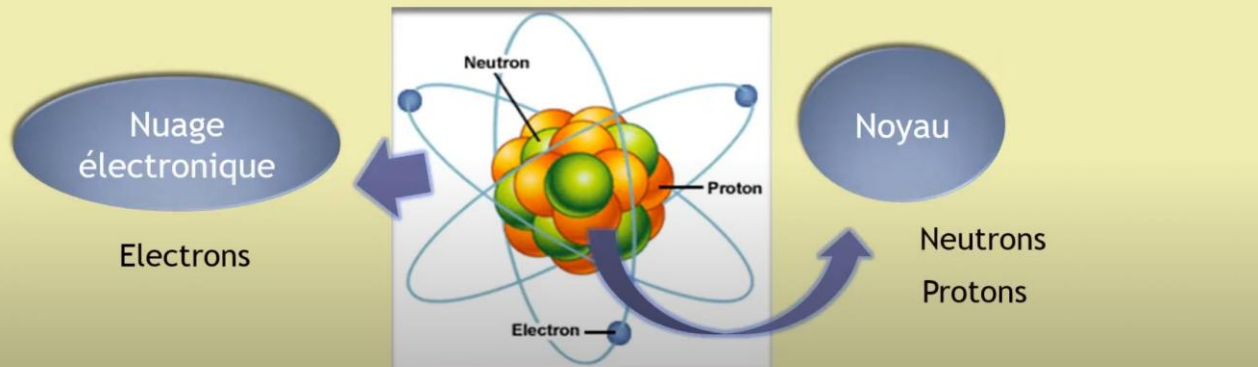
Liquide ordinaire, mais bizarre, source d'électrons

Structure de l'atome

Un atome est constitué d'un noyau constitué de nucléons - **protons** et **neutrons** - ,
d'électrons qui tournent autour du noyau sur **différentes couches**

1. Structure d'un atome

a. Composition d'un atome



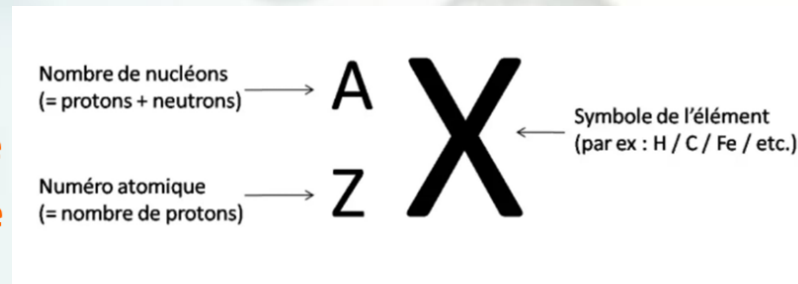
A nombre de masse
Z numéro atomique



Qu'est qu'un isotope ?

Les isotopes ont le même numéro atomique Z
c'est-à-dire le même nombre de protons, mais le
nombre de neutrons varie

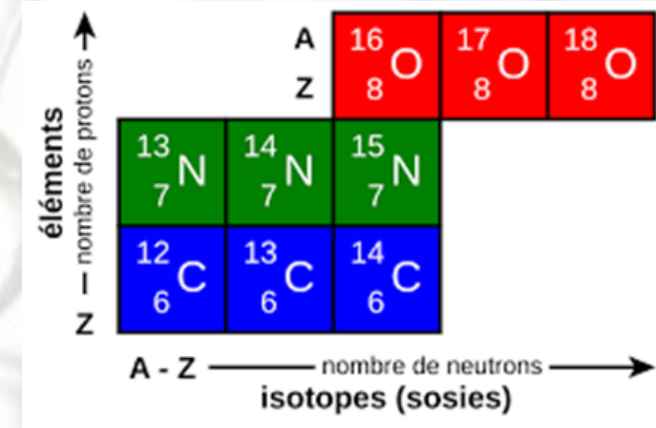
A nombre de masse
Z numéro atomique



Les isotopes radioactifs sont les formes instables d'un élément. Ils émettent des rayonnements pour se transformer en isotopes stables, c'est à dire ayant le même nombre de neutrons et de protons

Chaque **élément chimique** X peut posséder plusieurs isotopes

- l'**hydrogène H** possède 3 isotopes dont ^1H , et le ^2H deutérium naturels et stables, et le ^3H tritium radioactif
- Isotopes des éléments, **oxygène O**, **azote N**, et **carbone C**



Le ^{13}C est un isotope naturel et stable du **carbone** avec un noyau contenant 6 protons et 7 neutrons.

L'**analyse isotopique** * du ^{13}C , est appelée **signature isotopique**

*L'analyse isotopique, par la Résonance Magnétique Nucléaire ou RMN, consiste à quantifier les proportions des isotopes stables d'un élément chimique dans un échantillon. Ces proportions permettent d'obtenir des informations sur l'origine d'un échantillon et les processus l'ayant affecté.

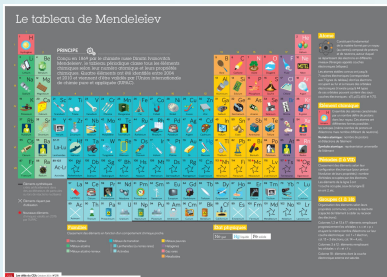


Tableau périodique des éléments

« *Une merveille de l'esprit humain* »

C'est en ces termes que le **Tableau de Mendeleïev** est décrit par la communauté scientifique

Lorsque **Dimitri Mendeleïev** établit le **classement des éléments chimiques en 1869**, ni l'électron, ni même la structure de l'atome ne sont découverts

Joseph John Thomson prouvera expérimentalement l'existence de l'électron en **1897**; et **Ernest Rutherford**, élève de Thomson, découvrira le **noyau atomique** en **1911**

Visionnaire, Mendeleïev constate à l'époque une « **périodicité** » des propriétés chimiques des éléments, **à partir de leur masse**, qui lui permet d'en classer **63** dans ce « Tableau périodique des éléments »

La **périodicité correspond à une « période » de remplissage des couches électroniques.**

Cette **périodicité** est la base du tableau qui porte désormais le nom de son inventeur

L'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée, **IUPAC**, valide en **2016** quatre nouveaux éléments. Aujourd'hui le Tableau de Mendeleïev comporte **118 éléments**, non sans débats entre chimistes et physiciens.

Ce tableau est devenu incontournable pour anticiper les propriétés chimiques et faire progresser les connaissances

Tableau périodique des éléments

- métaux alcalins
- métaux alcalino-terreux
- métaux de transition
- lanthanides
- actinides
- autres métaux
- semi-métaux (métalloïdes)
- autres éléments non métalliques
- halogènes
- gaz rares

groupe	1	2											13	14	15	16	17	18
1	1 H hydrogène 1,0079																	2 He hélium 4,0026
2	3 Li lithium 6,941	4 Be béryllium 9,0122											5 B bore 10,811	6 C carbone 12,0107	7 N azote 14,0067	8 O oxygène 15,9994	9 F fluor 18,9984	10 Ne néon 20,1797
3	11 Na sodium 22,9898	12 Mg magnésium 24,3050											13 Al aluminium 26,9815	14 Si silicium 28,0855	15 P phosphore 30,9738	16 S soufre 32,065	17 Cl chlore 35,453	18 Ar argon 39,948
4	19 K potassium 39,0983	20 Ca calcium 40,078	21 Sc scandium 44,9559	22 Ti titane 47,867	23 V vanadium 50,9415	24 Cr chrome 51,9961	25 Mn manganèse 54,9380	26 Fe fer 55,845	27 Co cobalt 58,9332	28 Ni nickel 58,6934	29 Cu cuivre 63,546	30 Zn zinc 65,38	31 Ga gallium 69,723	32 Ge germanium 72,64	33 As arsenic 74,9216	34 Se sélénium 78,96	35 Br brome 79,904	36 Kr krypton 83,798
5	37 Rb rubidium 85,4678	38 Sr strontium 87,62	39 Y yttrium 88,9058	40 Zr zirconium 91,224	41 Nb niobium 92,9064	42 Mo molybdène 95,96	43 Tc technétium [98]	44 Ru ruthénium 101,07	45 Rh rhodium 102,9055	46 Pd palladium 106,42	47 Ag argent 107,8682	48 Cd cadmium 112,411	49 In indium 114,818	50 Sn étain 118,710	51 Sb antimoine 121,760	52 Te tellure 127,60	53 I iode 126,9045	54 Xe xénon 131,293
6	55 Cs césium 132,9054	56 Ba baryum 137,327	57-71 La-Lu	72 Hf hafnium 178,49	73 Ta tantale 180,9479	74 W tungstène 183,84	75 Re rhénium 186,207	76 Os osmium 190,23	77 Ir iridium 192,217	78 Pt platine 195,084	79 Au or 196,9666	80 Hg mercure 200,59	81 Tl thallium 204,3833	82 Pb plomb 207,2	83 Bi bismuth 208,9804	84 Po polonium [209]	85 At astate [210]	86 Rn radon [222]
7	87 Fr francium [223]	88 Ra radium [226]	89-103 Ac-Lr	104 Rf rutherfordium [267]	105 Db dubnium [268]	106 Sg seaborgium [271]	107 Bh bohrium [272]	108 Hs hassium [277]	109 Mt meitnerium [276]	110 Ds darmstadtium [281]	111 Rg roentgenium [280]	112 Cn copernicium [285]	113 Nh nihonium [284]	114 Fl flérovium [289]	115 Mc moscovium [288]	116 Lv livermorium [293]	117 Ts tennessine [291]	118 Og oganesson [294]

numéro atomique → 26
nom de l'élément → fer
symbole de l'élément (en blanc et vert : aucun isotope stable)
masse atomique, basée sur ^{12}C
() : nombre de masse de l'isotope le plus stable

Lanthanides →

Actinides →

57 La lanthane 138,9055	58 Ce cérium 140,116	59 Pr praséodyme 140,9077	60 Nd néodyme 144,242	61 Pm prométhium [145]	62 Sm samarium 150,36	63 Eu europium 151,964	64 Gd gadolinium 157,25	65 Tb terbium 158,9253	66 Dy dysprosium 162,500	67 Ho holmium 164,9303	68 Er erbium 167,259	69 Tm thulium 168,9342	70 Yb ytterbium 173,054	71 Lu lutétium 174,9668
89 Ac actinium [227]	90 Th thorium 232,0381	91 Pa protactinium 231,0359	92 U uranium 238,0289	93 Np neptunium [237]	94 Pu plutonium [244]	95 Am américium [243]	96 Cm curium [247]	97 Bk berkélium [247]	98 Cf californium [251]	99 Es einsteinium [252]	100 Fm fermium [257]	101 Md mendélévium [258]	102 No nobélium [259]	103 Lr lawrencium [262]

Le tableau de Mendeleïev

PRINCIPE

Conçu en 1869 par le chimiste russe Dimitri Ivanovitch Mendeleïev, le tableau périodique classe tous les éléments chimiques selon leur numéro atomique et leurs propriétés chimiques. Quatre éléments ont été identifiés entre 2004 et 2010 et viennent d'être validés par l'Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC).

I	1 H Hydrogène	2 He Hélium																	18 Ar Argon					
II	3 Li Lithium	4 Be Béryllium																	13 Al Aluminium	14 Si Silicium	15 P Phosphore	16 S Soufre	17 Cl Chlore	18 Ar Argon
III	11 Na Sodium	12 Mg Magnésium																	13 Al Aluminium	14 Si Silicium	15 P Phosphore	16 S Soufre	17 Cl Chlore	18 Ar Argon
IV	19 K Potassium	20 Ca Calcium	21 Sc Scandium	22 Ti Titane	23 V Vanadium	24 Cr Chrome	25 Mn Manganèse	26 Fe Fer	27 Co Cobalt	28 Ni Nickel	29 Cu Cuivre	30 Zn Zinc	31 Ga Gallium	32 Ge Germanium	33 As Arsenic	34 Se Sélénium	35 Br Brome	36 Kr Krypton						
V	37 Rb Rubidium	38 Sr Strontium	39 Y Yttrium	40 Zr Zirconium	41 Nb Niobium	42 Mo Molybdène	43 Tc Technétium	44 Ru Ruthénium	45 Rh Rhodium	46 Pd Palladium	47 Ag Argent	48 Cd Cadmium	49 In Indium	50 Sn Étain	51 Sb Antimoine	52 Te Tellure	53 I Iode	54 Xe Xénon						
VI	55 Cs Césium	56 Ba Baryum	57-71 La-Lu Lanthanides	72 Hf Hafnium	73 Ta Tantale	74 W Tungstène	75 Re Rhénium	76 Os Osmium	77 Ir Iridium	78 Pt Platine	79 Au Or	80 Hg Mercure	81 Tl Thallium	82 Pb Plomb	83 Bi Bismuth	84 Po Polonium	85 At Astate	86 Rn Radon						
VII	87 Fr Francium	88 Ra Radium	89-103 Ac-Lr Actinides	104 Rf Rutherfordium	105 Db Dubnium	106 Sg Seaborgium	107 Bh Bohrium	108 Hs Hassium	109 Mt Meitnerium	110 Ds Darmstadtium	111 Rg Roentgenium	112 Cn Copernicium	113 Nh Nihonium	114 Fl Flerovium	115 Mc Moscovium	116 Lv Livermorium	117 Ts Ténessine	118 Og Oganesson						

— Éléments synthétiques créés artificiellement dans des accélérateurs de particules ou lors de réactions nucléaires

× Éléments n'ayant pas d'utilisation

★ Nouveaux éléments chimiques validés en 2016 par l'IUPAC

57 La Lanthane	58 Ce Cérium	59 Pr Praseodyme	60 Nd Néodyme	61 Pm Prométhium	62 Sm Samarium	63 Eu Europium	64 Gd Gadolinium	65 Tb Terbium	66 Dy Dysprosium	67 Ho Holmium	68 Er Erbium	69 Tm Thulium	70 Yb Ytterbium	71 Lu Lutetium
89 Ac Actinium	90 Th Thorium	91 Pa Protactinium	92 U Uranium	93 Np Neptunium	94 Pu Plutonium	95 Am Américium	96 Cm Curium	97 Bk Berkélium	98 Cf Californium	99 Es Einsteinium	100 Fm Fermium	101 Md Mendelevium	102 No Nobelium	103 Lr Lawrencium

- Éléments synthétiques créés artificiellement dans des accélérateurs de particules ou lors de réactions nucléaires
- × Éléments n'ayant pas d'utilisation
- ★ Nouveaux éléments chimiques validés en 2016 par l'IUPAC

PRINCIPE



Conçu en 1869 par le chimiste russe Dimitri Ivanovitch Mendeleïev, le tableau périodique classe tous les éléments chimiques selon leur numéro atomique et leurs propriétés chimiques. Quatre éléments ont été identifiés entre 2004 et 2010 et viennent d'être validés par l'Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC).

Familles

Classement des éléments en fonction d'un comportement chimique proche.

- Non-métaux
- Métaux alcalins
- Métaux alcalino-terreux
- Métaux de transition
- Lanthanides (ou terres rares)
- Actinides
- Métaux pauvres
- Halogènes
- Gaz rares
- Métalloïdes

État physiques

Ne gaz Hg liquide Fe solide

Atome



Constituant fondamental de la matière formé par un noyau (au centre), composé de protons et de neutrons, autour duquel

se répartissent des électrons en différents niveaux d'énergies appelés couches électroniques (ellipses).

Les atomes stables connus ont jusqu'à 7 couches électroniques (correspondant aux 7 lignes du tableau) dont les électrons occupent au fur et à mesure des orbitales électroniques (il existe jusqu'à 44 types de ces orbitales pouvant contenir des sous-couches électroniques : s(1), p(3), d(5) et f (7)).

Élément chimique



Ensemble des atomes caractérisés par un nombre défini de protons dans leur noyau. Ces atomes ont différentes formes possibles : les isotopes (même nombre de protons et d'électrons mais nombre différent de neutrons).

Numéro atomique : nombre de protons et d'électrons de l'élément

Symbole atomique : représentation universelle de l'élément

Périodes (I à VII)

Classement des éléments selon leur configuration électronique (pour prévoir l'évolution de leurs propriétés) : nombre d'orbitales occupées par des électrons.

Les éléments de la ligne I ont 1 couche occupée, ceux de la ligne II en ont 2, etc.

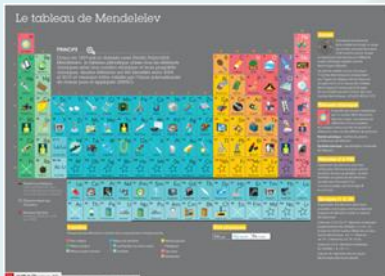
Groupes (1 à 18)

Organisation des éléments selon leurs propriétés communes, comme la réactivité (capacité de l'élément à céder ou recevoir des électrons).

Colonnes 1, 2 et 13 à 17 : éléments remplissant progressivement les orbitales « s » et « p » et ayant le même nombre d'électrons sur leur couche électronique : col. 1 = 1 électron, col. 13 = 3 électrons, col. 14 = 4, etc.

Colonnes 3 à 12 : éléments remplissant les orbitales « d » et « f ».

Colonne 18 : éléments dont la couche électronique externe est saturée.



Pour résumer

Les **éléments** ou **atomes**, sont classés **par masse croissante**. Les éléments en bas du tableau, sont plus massifs, plus lourds que les éléments en haut du tableau.

Les **électrons** gravitent autour du noyau sur différentes couches électroniques appelés aussi périodes

Chaque ligne, du tableau correspond donc au nombre de couche électronique de l'atome -1 à 7- . Plus un atome est **lourd**, plus il **possède d'électrons**, plus il possède de **couches** ou **orbitales électroniques**.

Chaque colonne correspond à une famille chimique. Les **atomes** d'une **même famille chimique** :

- ont le **même nombre d'électron** sur leur **couche externe**, ce sont les **électrons de valence**
- ont tendance à faire **le même nombre de liaisons** lorsqu'ils forment des molécules.

- Les atomes appartenant à une même ligne ont le même nombre de couches électroniques.
- Les éléments appartenant à une même colonne ont le même nombre d'électrons de valence.

Couches et sous-couches des électrons

Les **électrons** d'un atome se répartissent dans des **couches électroniques**, repérées par un **numéro** $n = 1, 2, 3, \dots, 7$ (**1** est la plus proche du noyau)

Chaque **couche se découpe en sous-couches** contenant un **nombre limité** d'électrons, repérées par une lettre : **« s » ou « p »**

Les électrons contenus dans la couche externe sont les **électrons de valence**

ils sont **susceptibles d'interagir avec au milieu extérieur**,
ils **définissent sa capacité de se lier avec d'autres atomes**

Configuration électronique du **carbone C** ($Z = 6$)

Couche 1 = **1s²**, **couche 2** = **2s² 2p²**

Il possède **4 électrons de valence**. Il est **tétravalent**

Remplissage des différentes sous-couches électroniques

Les **sous-couches 1s, 2s et 3s** peuvent contenir jusqu'à **2 électrons**

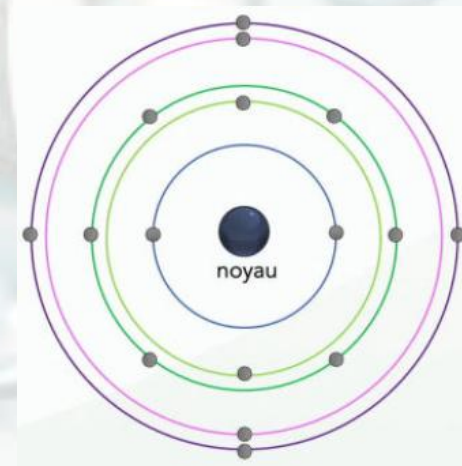
Les **sous-couches 2p et 3p** peuvent contenir jusqu'à **6 électrons**

Jusqu'à 18 électrons, les sous-couches se remplissent dans l'ordre suivant :

1s, 2s 2p, 3s 3p pour colonnes, 1,2, 15 et 17

Quand une sous-couche est pleine (ou saturée), on remplit la sous-couche suivante.

Au dessus de 18 électrons, sous-couches **d** et **f**, colonnes 3 à 12



Si silicium (Z=14)

1s², 2s² 2p⁶, 2s²

3p⁴

Atome, ion positif, ion négatif, composés ioniques

Quand un **atome**, **perd** ou **gagne** un ou plusieurs électrons, il se charge électriquement, il devient un **ion**

- Une **perte d'électron(s)** correspond à une charge globale **positive** : on parle de **cation**

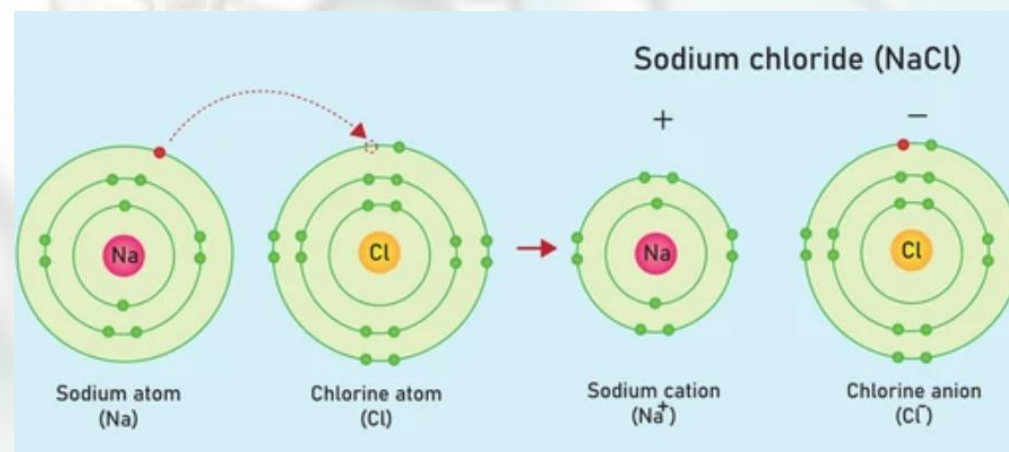
Exemple : ion **sodium** Na^+

- Un **gain d'électron(s)** correspond à une charge globale **négative** : on parle d'**anion**

Exemple : ion **chlorure** Cl^-

Exemple : Le sel de cuisine, ou chlorure de sodium, NaCl est formé de :
cations sodium Na^+ et d'anions chlorure Cl^- et

Les **composés ioniques** sont des solides constitués de **plusieurs ions** - anions et cations - reliés entre eux par des **liaisons chimiques** appelées **liaisons ioniques** ou **électrostatique**



Liaison entre atomes

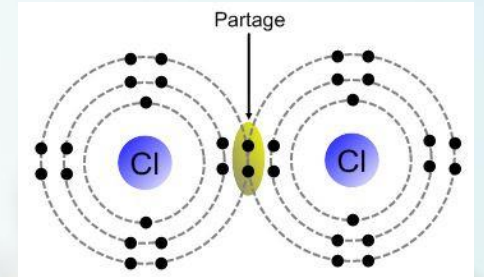
Une liaison chimique est une **interaction attractive entre des atomes**. Elles sont classées en fonction de leur **énergie de liaison**.

- Dans une liaison covalente, les électrons sont partagés entre les deux atomes. On parle de **liaison quantique**
- Dans une liaison ionique, les électrons sont complètement transférés. Il s'agit d'une **attraction électrostatique**
- Dans une liaison hydrogène, il n'y a ni échange d'atome ni mise en commun d'électrons. Il s'agit simplement d'une **attraction électrostatique**

Le but est, à chaque fois est de minimiser les énergies.

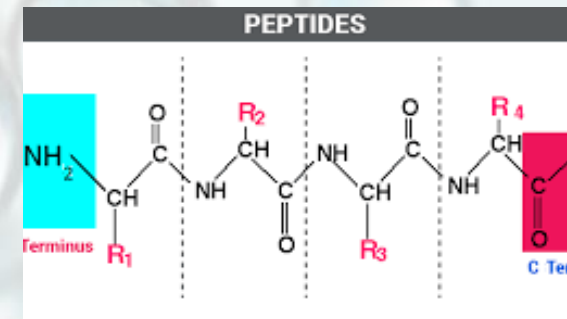
La liaison covalente

Mise en commun d'électrons entre deux atomes.



Attention, le **doublet d'électrons commun ne provient que de l'un des deux atomes liés**.

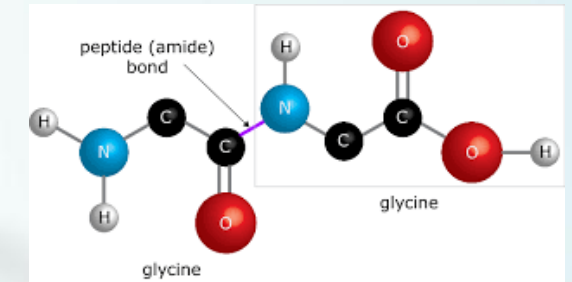
C'est la **liaison** dans les **Molécules du vivant**, responsable de la création de **molécules de petite taille** (**H₂**, **O₂**, etc.), de **peptides** (enchainement ou polymère, **d'acides aminés constitutif des protéines**)



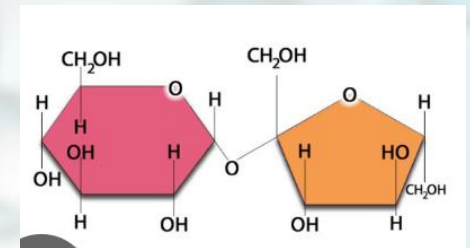
Molécules de la vie

- **Les acides aminés (aa)**, petites molécules ou «**briques** de base» des **protéines**. En s'assemblant les **aa** forment les **protéines** essentielles à la vie.
- **Les protéines**
Longues molécules constituées d'un enchainement d'**acides aminés (aa)** : **peptides** (10aa), **polypeptides** (plusieurs centaines à quelques milliers aa)
- **Les glucides C, O, H**
Sucres simples et les **polysaccharides**. Ils donnent de l'énergie à notre corps.
- **Les lipides**
Constituants des **membranes** des cellules. Ils stockent aussi l'énergie
- **L'ADN, acide désoxyribonucléique**
Constitués de molécules « les nucléotides » symbolisés par les lettres **A, T, G, C** (adénosine, thymine, guanine, cytosine). Elle code l'information
- **L'ARN, acide ribonucléique**
Considéré comme le grand-père de l'ADN. Aide à fabriquer les protéines en décodant et transportant les informations à partir de l'ADN

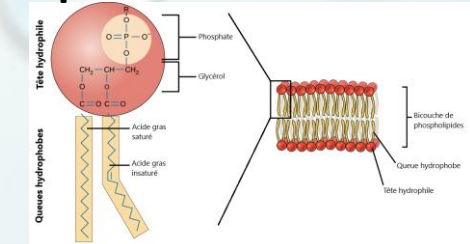
Peptide



Glucide

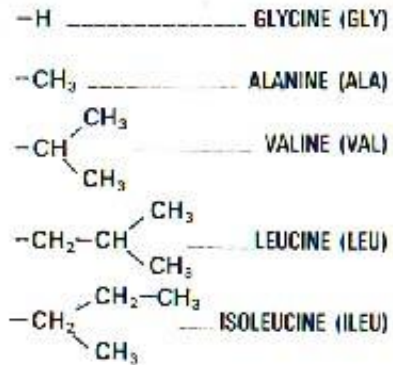


Lipide membrane

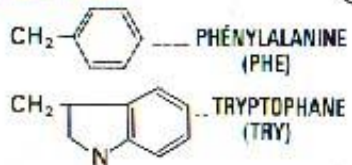


Brique du vivant, les 20 acides aminés

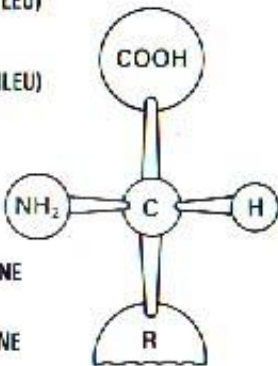
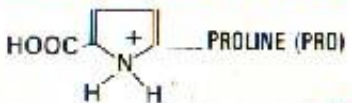
1 - aliphatiques



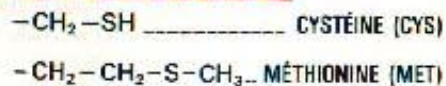
2 - aromatiques



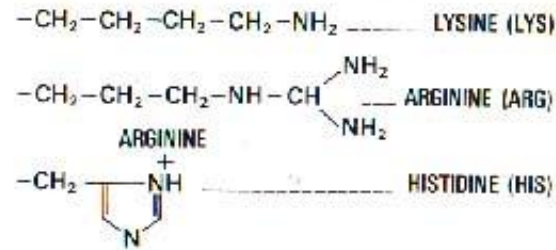
3 - A - carbone asymétrique dans un hétérocycle



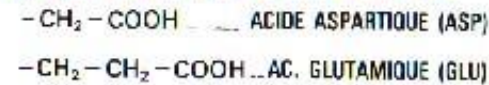
8 - contenant du soufre



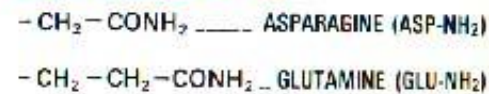
4 - A - fonctions amines supplémentaires



5 - A - fonction acide supplémentaire



6 - A - fonction amide



7 - aliph et arom à fonction alcool

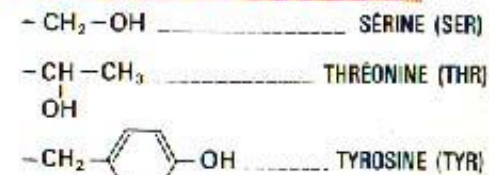
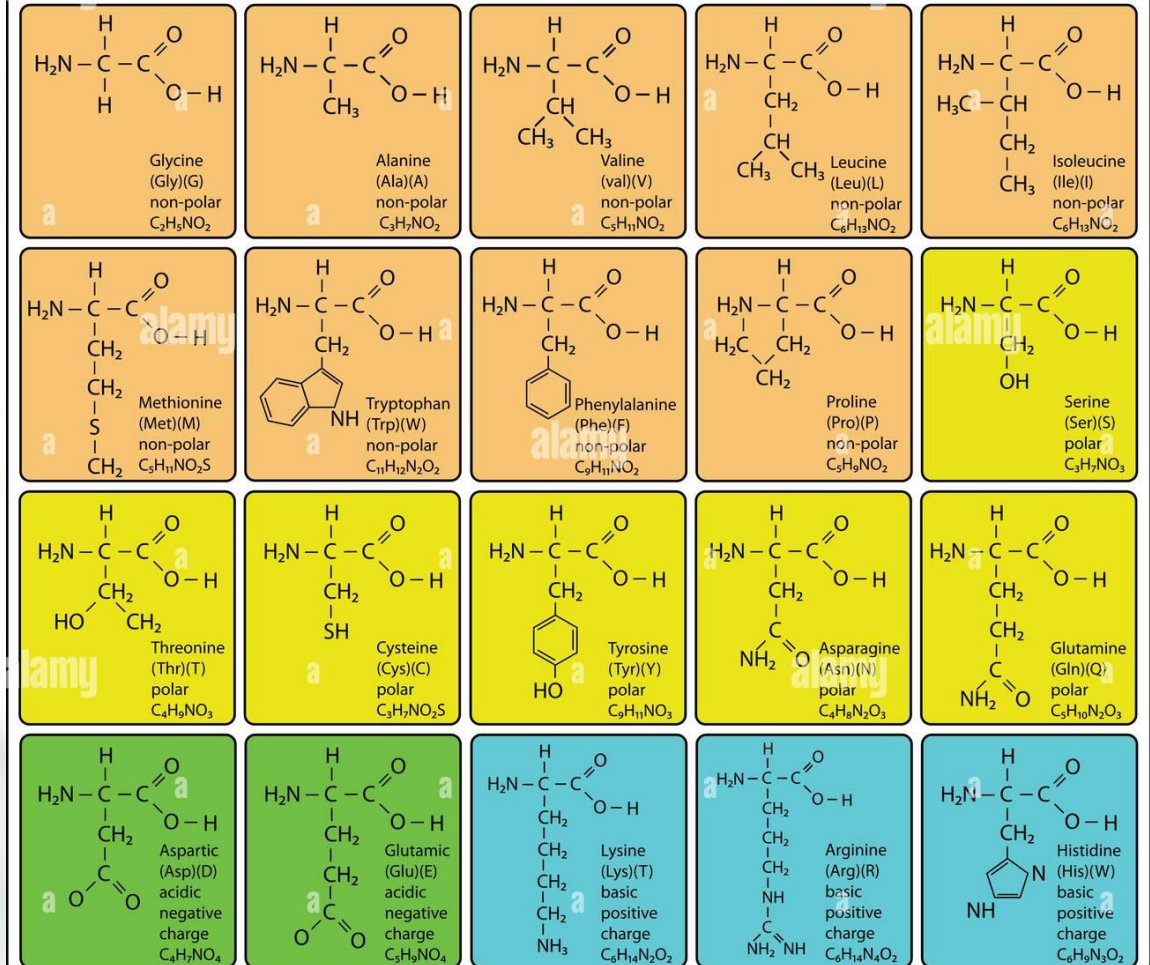


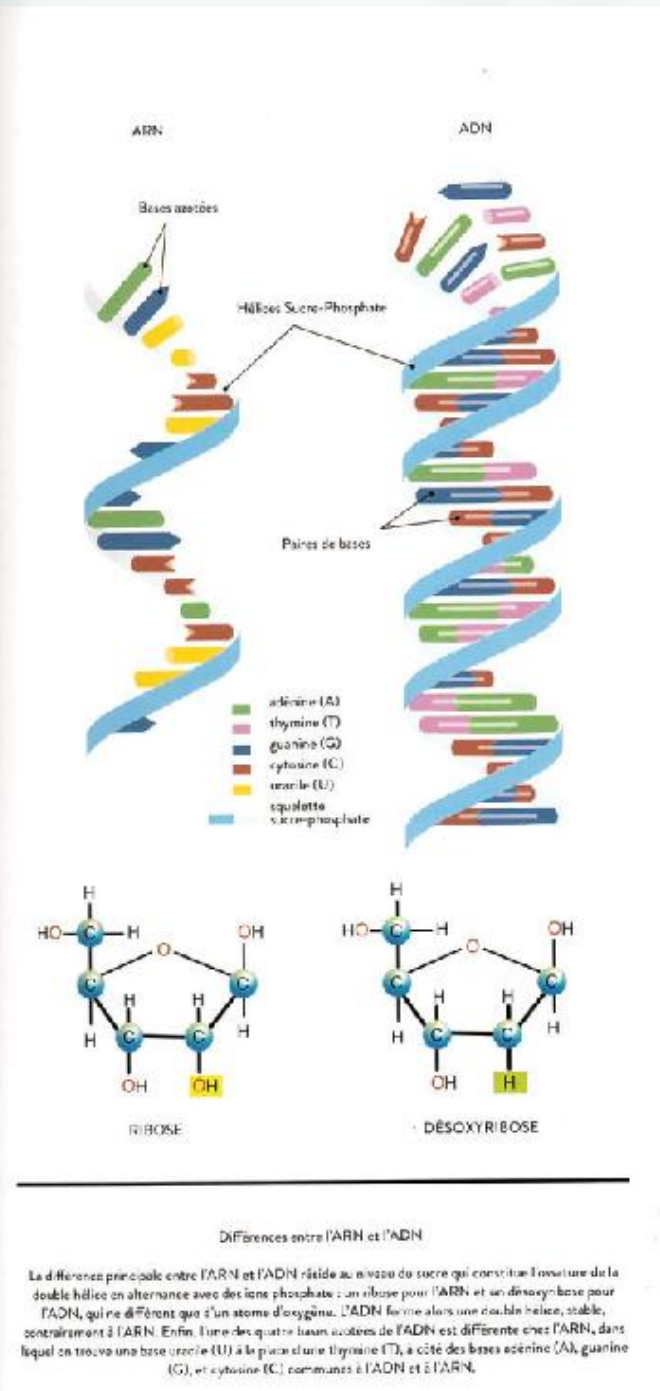
FIGURE 16

Formule des acides aminés le plus couramment rencontrés dans les protéines

20 Amino Acid Structures



ARN et ADN



Brique du vivant, l'ADN, bases et double-hélice

16 LES CONCEPTS DE BASE

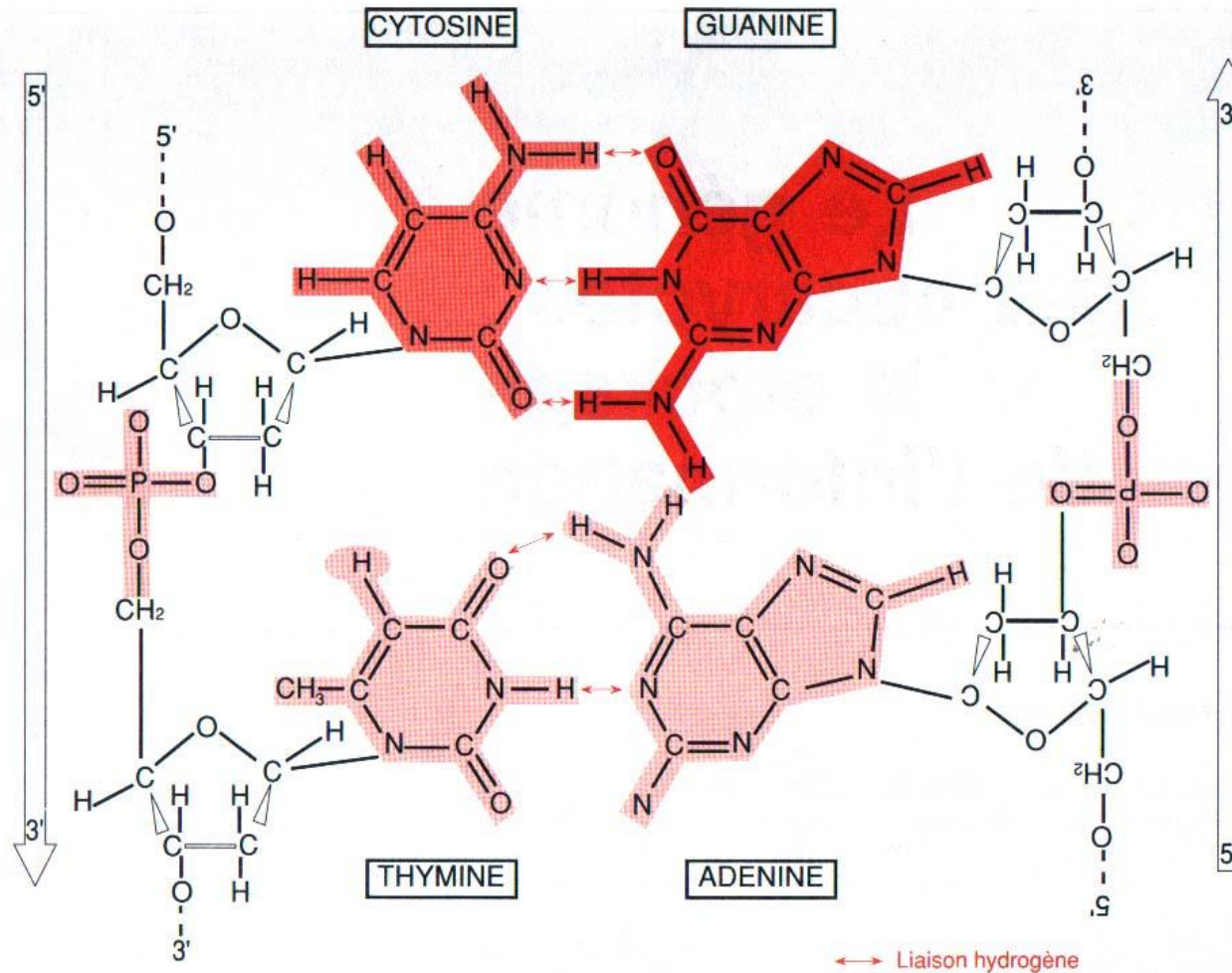
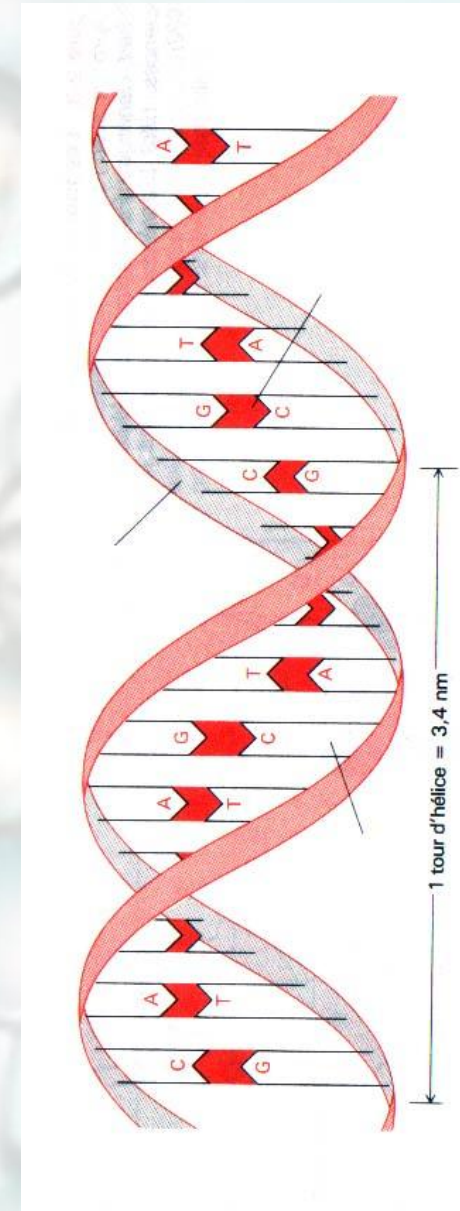
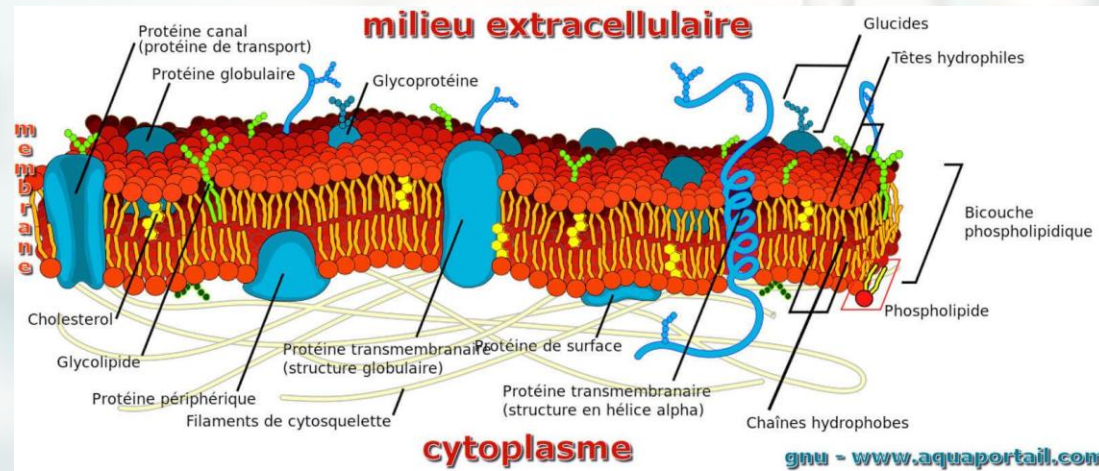
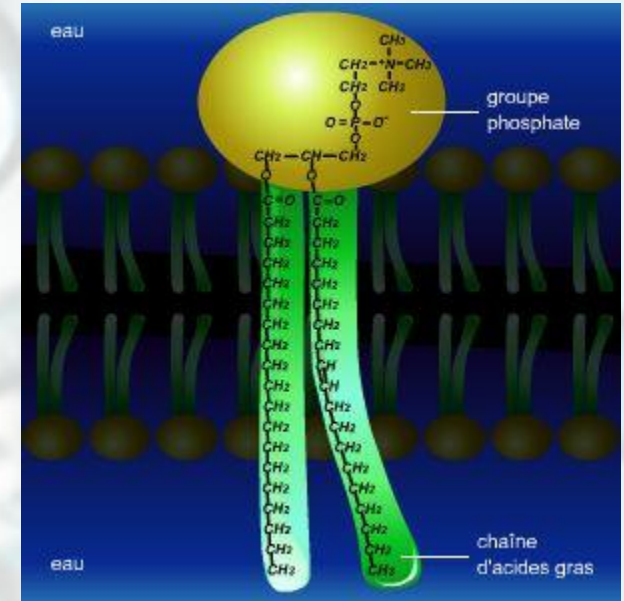
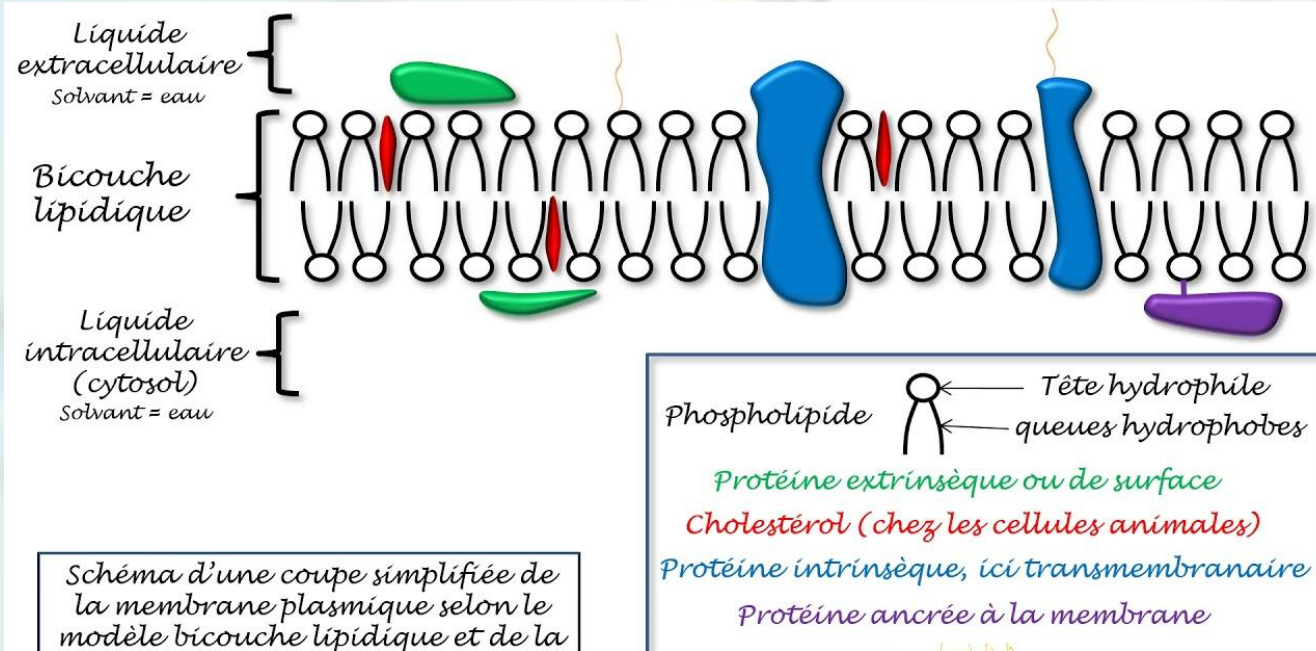


Figure 2-1 Organisation moléculaire du DNA



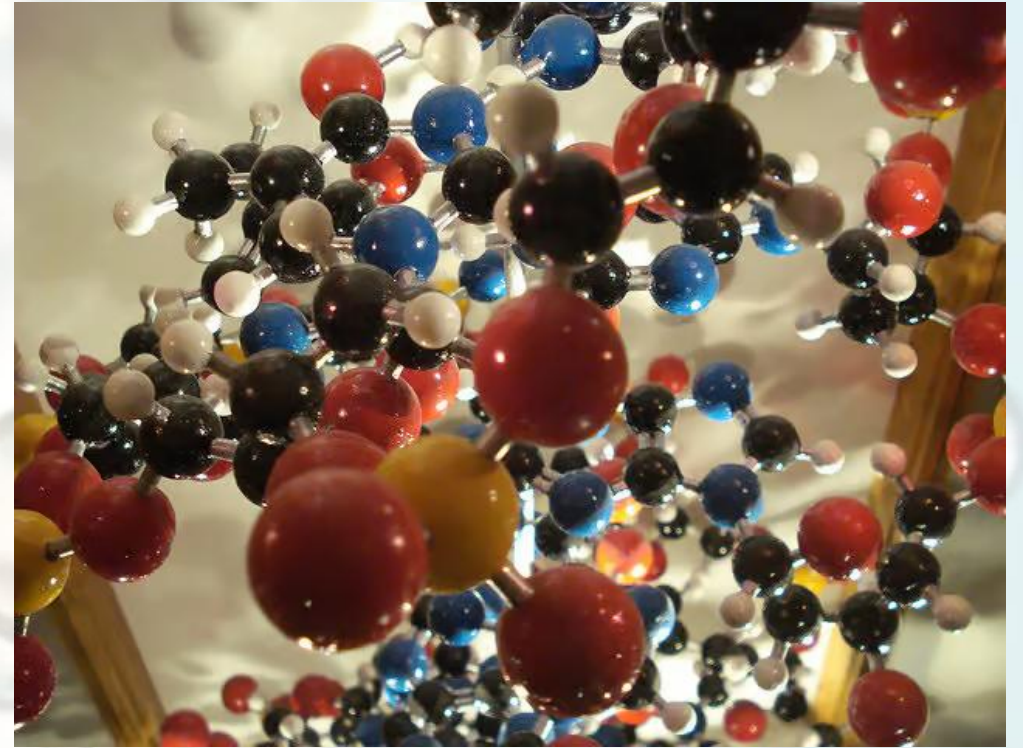
Brique du vivant , lipide membranaire



Pourquoi le carbone ?

Permet un **grand nombre de combinaisons**, d'élaborer de **grosses molécules**, très ramifiées que l'on appelle les **macromolécules qui constitue le vivant** :

- Les **lipides** qui forment la **membrane cellulaire**
- L'**ADN** support de l'**information génétique** et l'**ARN** impliqué dans la synthèse des protéines et qui intervient dans le transfert de l'information génétique
- Les **glucides** ou **polysaccharides**, réservoirs d'énergie ou constituants de la matrice cellulaire
- Les **protéines**, constituées de **20 acides aminés (aa)** remplissent toutes les **fonctions indispensables à la survie de la cellule**, comme
 - la **catalyse des réactions métaboliques**
 - la **lecture ou synthèse de l'ADN**
 - le **maintien de l'architecture** de la cellule



Représentation d'une **molécule complexe d'ADN**.
Les billes **blanches** figurent les atomes d'**hydrogène**, les **noires**, les atomes de **carbone**, les **rouges**, les atomes d'**oxygène**, les **bleues**, les atomes d'**azote** et les **jaunes**, les atomes de **phosphore**.

Pourquoi l'eau ? Ses particularités

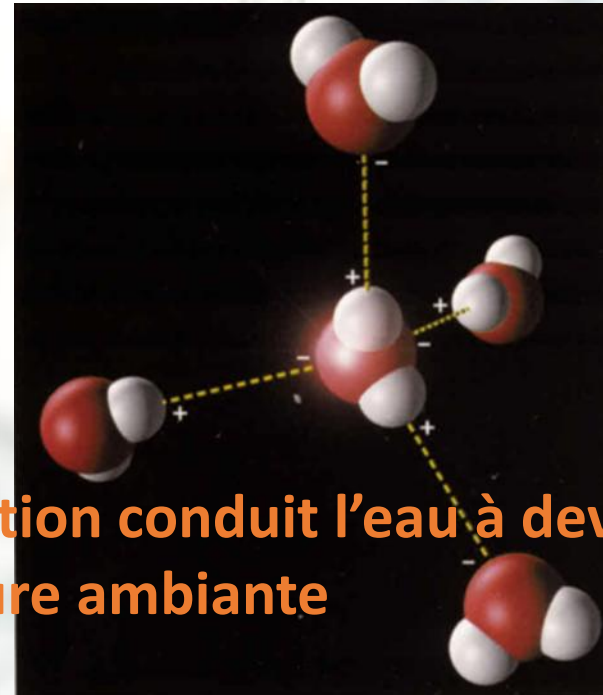
➤ Solvant universel

Solubilise des molécules, petites, complexes, des ions, **tout ce qui constitue le vivant** : sels minéraux, glucides, acides aminés, protéines, ADN

Joue un rôle dans le fonctionnement et le métabolisme de la cellule

➤ L'eau devrait être gazeuse, liquide à -80°C et solide à -100°C

Or dans les **conditions atmosphériques et de température sur terre**, elle est **solide à 0°C** et gazeuse à 100°C



Ceci est dû à la **liaison hydrogène**, interaction de type **faible** qui relie les molécules d'eau entre elles.

Cette interaction conduit l'eau à devenir liquide à pression et température ambiante

Pourquoi l'eau ? Ses particularités

➤ La glace flotte en surface

En général, un **corps solide est plus dense que liquide**

C'est le **contraire pour l'eau**

La **liaison hydrogène** pousse les molécules à s'organiser en un **réseau fixe peu dense, qui se fige**

La molécule est alors « pleine de vide », plus légère, et **elle flotte**

➤ Densité de l'eau douce est maximale à 4°C

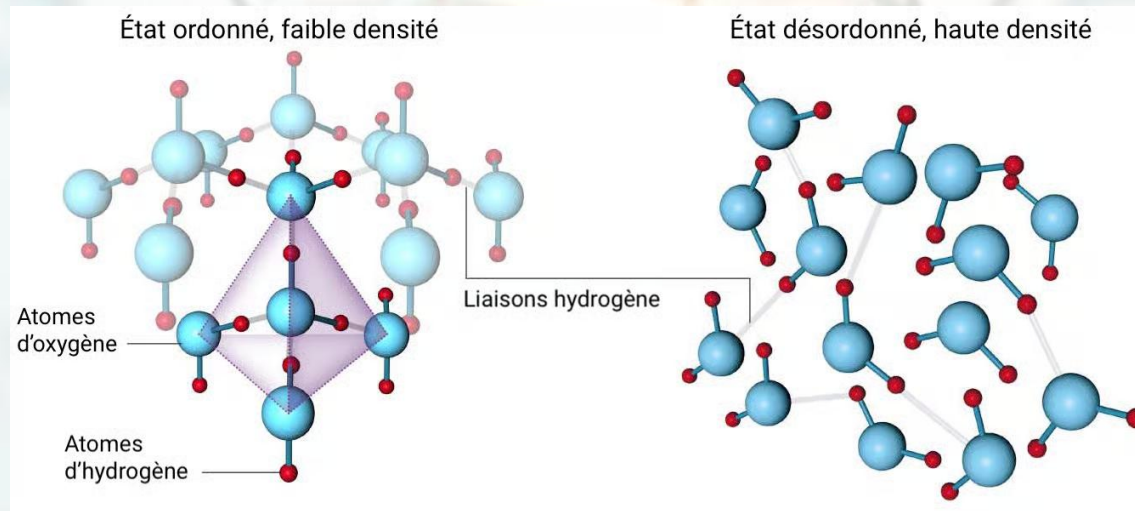
Donc l'eau plus dense, plus lourde est au fond des lacs où se réfugie la vie

Pourquoi l'eau ? Ses particularités

- L'eau liquide peut coexister sous deux formes de densité différentes, ce qui expliquerait ses étranges propriétés.

À faible densité, nombreuses **liaisons hydrogène** avec leurs voisines, ce qui les **tient à distance les unes des autres**

À haute densité, les **molécules « s'entassent »** les unes sur les autres et **peuvent donc se rapprocher**.



- Ses particularités font que l'eau liquide est indispensable à la vie

L'eau ? Ses particularités même dans l'espace

L'eau est une molécule omniprésente **dans notre univers.**

On la trouve dans les **queues des comètes**

Pourtant persiste une énigme de la chimie,

Celle de **l'eau liquide de surfusion**, ou **eau surfondue.**

Eau « super-froide », **qui ne gèle pas**, qui reste **liquide** même à des températures extrêmement basses.



Les scientifiques ont découvert, que la structure de **l'eau surfondue** est une **combinaison de deux liquides en un** : elle est en réalité composée de **deux états liquides différents**, **l'un à haute densité et l'autre, à faible densité.**

Soupe primitive et premières briques du vivant

Il y a **4,56 milliards d'années**, la **Terre** se forme progressivement dans une vaste soupe de **poussières** et de **gaz**, de même que les autres astres du systèmes solaires

- Au fil des **collisions** entre particules, la **matière s'accumule et se condense par la force de gravité.**
- **Bombardée de corps célestes**, de **rayons ultraviolets**, la Terre n'est encore qu'une énorme **boule de roche en fusion**, sans océan à sa surface, sans oxygène dans son atmosphère
- **Refroidissement progressif, condensation** de la vapeur d'eau, et l'eau passe à l'état liquide, formant les premiers océans, la soupe primitive
 - **C'est le BERCEAU DE LA VIE avec les briques du vivant, 800 millions d'années après la formation de la Terre**

Vie primitive près des sources hydrothermales

Au fond des océans où s'ouvre le plancher océanique où se séparent les plaques tectoniques : **les cheminées hydrothermales** tapissées de **sulfure de fer** rejettent en continu des **gaz** :

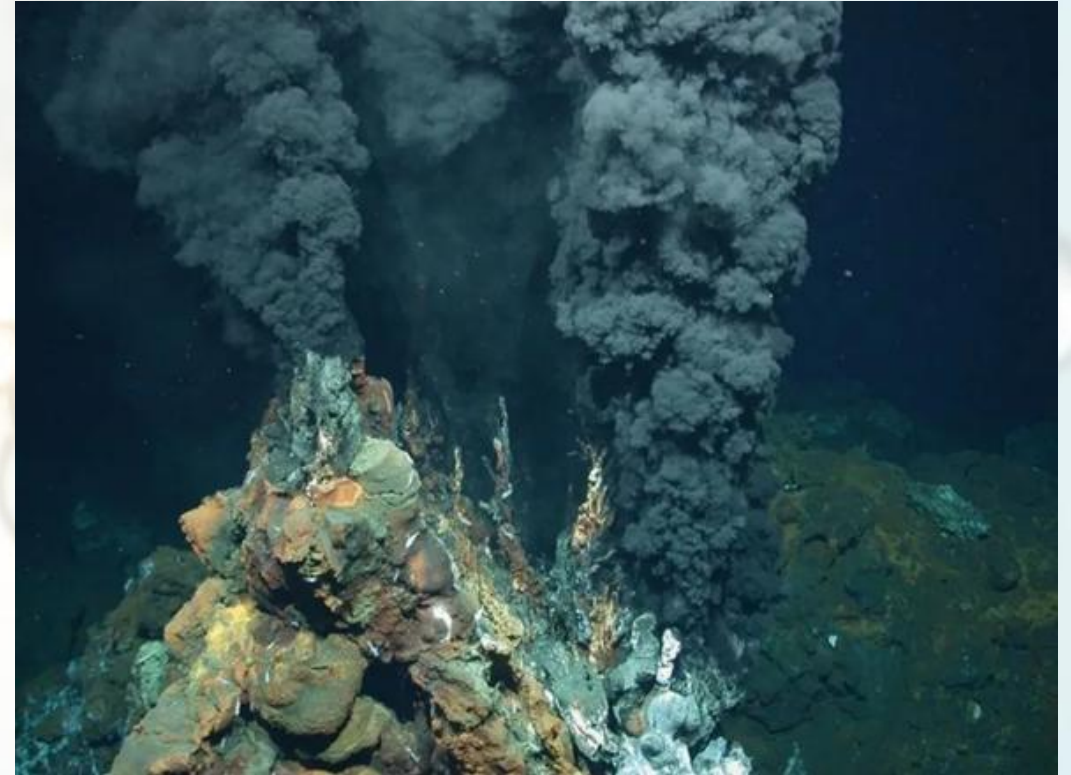
Hydrogène **H₂**, hydrogène sulfuré **H₂S**, monoxyde de carbone **CO**, ammoniac **NH₃** et ions métalliques, **fer, zinc, cuivre, lithium...**

MAIS pas d'oxygène, pas de lumière

Ces émanations sortant des entrailles de la Terre, sont à haute température 350°C, haute pression et l'obscurité est totale, **pas d'UV, donc pas de destruction des molécules.**

Au contact de l'eau froide, **précipitations des sulfures métalliques, formation d'agréats, poussières noires qui s'empilent et érigent des cheminées**

Fumeur noir, dorsale médio atlantique à -3 000 mètres



➤ Cette vie primitive est basée sur l'énergie chimique de l'hydrogène sulfuré H₂S

Théorie des surfaces minérales

Entre -3,8 et -3,4 milliards d'années, au fond des océans, premières briques de la vie

➤ Théorie des Surfaces minérales, pour expliquer les origines de la vie. Günter Wächtershäuser

Les **métaux**, **sulfure de fer FeS₂** ou le **nickel**, auraient servi de catalyseurs pour les **réactions chimiques**, permettant de former les **premières molécules**, dans les **cavités microscopiques de la roche**, dans un milieu semi-fermé, favorable à la rencontre entre molécules.

Hypothèse confortée par la découverte de **nombreuses enzymes actuelles** qui comportent, **fer, nickel et soufre**

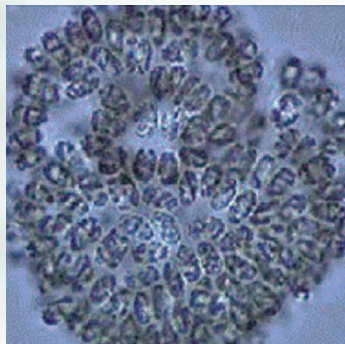
Près des sources hydrothermales sous-marines, tous les ingrédients auraient été réunis : **des molécules précurseurs de l'ADN** s'y seraient retrouvées **encapsulées dans une enveloppe de lipides** avec l'équipement nécessaire à leur **subsistance**

Les plus vieilles traces d'activité biologique, les stromatolithes

3,5 milliards d'années

les stromatolithes, (du grec *-stroma*, tapis et *-lithos*, pierre) sont des **fossiles minéralisés** découverts en **Australie**, également en **Afrique**.

Structure sédimentaire créées par **l'activité biologique** de **micro-organismes** type **cyanobactéries** appelées aussi **algues bleues**.



Stromatolithes dans la baie Bay en **Australie**.



Fossile de stromatolithe
Roches feuilletées, dépôt **calcaire** (carbonates) et tapis de **bactéries filamenteuses**.



Plus anciennes traces de vie, les cyanobactéries

Les **stromatolithes anciens** résultent probablement aussi de l'activité de **cyanobactéries**.

Les Cyanobactéries sont des micro-organismes **procaryotes photosynthétiques**, qui utilise la lumière comme source d'énergie.

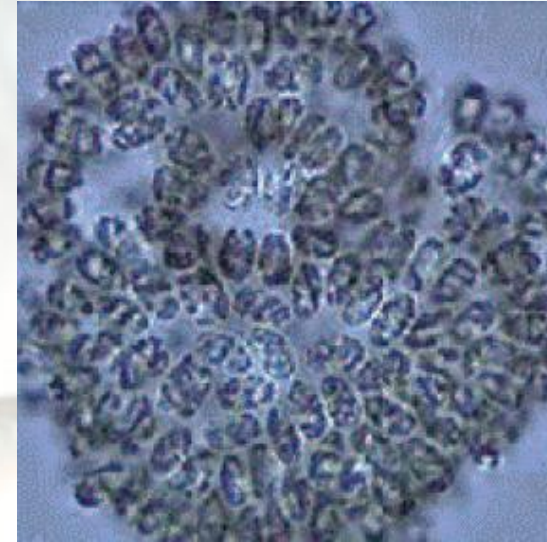
Ces **Cyanophytes ou Cyanophycées**, cyan (bleu) et phycées (algues), car elles possèdent un pigment bleu).

Résistent aux rayons ultra-violet, donc pas de destruction.

Elles commencent à modifier l'environnement de la Terre de manière irréversible.

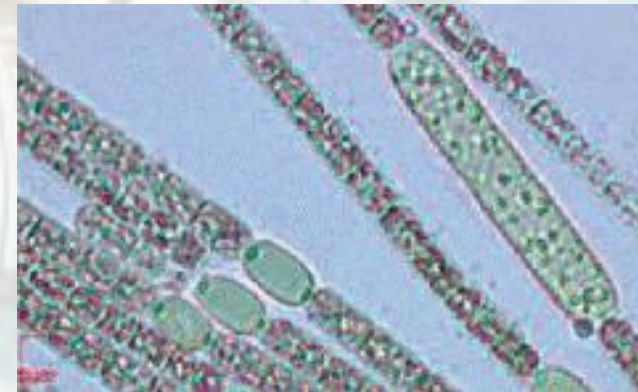
Elles réduisent le CO₂ atmosphérique en nutriments et oxygène atmosphérique, mais leur font aussi passer vers les carbonates de calcium CaCO₃ *

*composant essentiel des édifices stromatolithiques (qui représentent encore actuellement 4% de la croûte terrestre).



Cyanobactéries unicellulaires coloniales du genre *Woronichina*

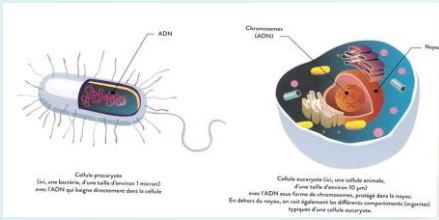
Auteur: Luc Brient



Cyanobactérie organisée en trichomes, genre *Aphanizomenon*

Il y a 2,4 milliards d'années, la Grande Oxydation

- Déjà 1 milliard d'années que les cyanobactéries, véritables usines **photosynthétiques**, dégradent les molécules de **CO₂**, conservent le **carbone C** et rejetent le dioxygène O₂ dans leur environnement.
- Le fer présent dans les océans capture ce gaz et réagit avec lui pour former des minéraux. Lorsque le fer s'épuise, le **CO₂ se répand** dans l'atmosphère.
- **Cette crise écologique change le visage de la Terre à jamais**
- **Extinction** d'innombrables espèces
- **Glaciation** 300 millions d'années. **O₂** réagit avec le **méthane CH₄** présent dans l'atmosphère
- Cette **grande oxydation** entraîne la formation de la **couche d'ozone** - un bouclier atmosphérique nécessaire contre les radiations venues de l'espace.
- **Le vivant s'adapte, de nouvelles espèces de bactéries et d'archées** - autre forme de **vie unicellulaire** -, à présent dépendantes de l'oxygène dites aérobies se mettent à prospérer.



Pour résumer

Moins de 100 Ma après son refroidissement, la terre héberge les premiers êtres vivants. Mais aucun fossile retrouvé, époques reculées, érosion, tectonique des plaques, volcanisme...

-3,80 Ga plus anciennes traces de vie repérées au Groenland, site Akilila, dans les roches métamorphiques, **inclusions carbonées**, cristaux **d'apatite** témoignent d'un **enrichissement en 12C**

-3,5 Ga, apparition des **MONERES**, organismes **monocellulaires dépourvus d'enveloppe** et formés d'une petite masse de **protoplasme** homogène sans noyau. Les fossiles viennent après, ce sont des **BACTERIES**, en **Australie occidentale**. On les appelle **PROCARYOTES**

Entre **-3 Ga et -1,6 Ga**, les fossiles deviennent abondants : **monères, bactéries et autres cellules** sphériques ou filamenteuses. En **Ontario** et au **Zimbabwe**

-2,4 Grande Oxydation. Puis **-2,1 à -1,5 Ga** apparition des premiers **EUCARYOTES**

Procaryote (latin pro, « *avant* », et du grec karyon, « *noyau* »)
Eucaryote (grec eu, « *bien* » et karyon, « *noyau* »)

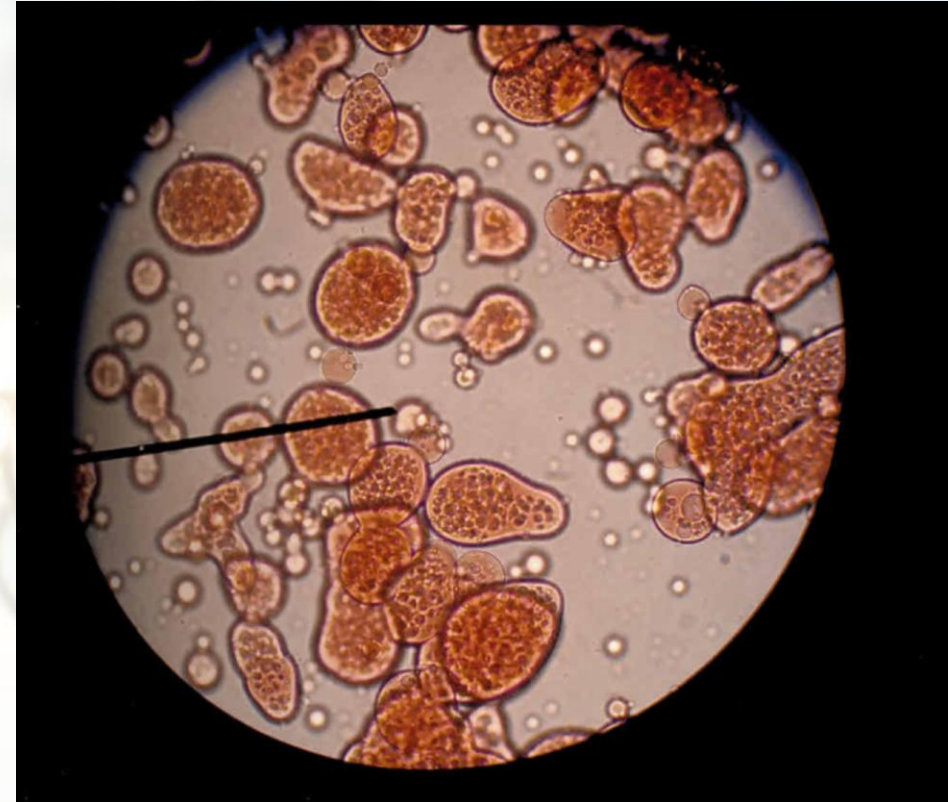
1 Ga = 1 giga année représente 1 milliard d'années

Les cellules primitives, les monères

Oparin parle de Coacervats.

Gouttelette microscopique, sans membrane, faite d'agrégats moléculaires, sorte de gélatine, où se dissolvent des macromolécules biologiques

Première étape vers les protocellules qui possèdent une membrane



Observation au microscope

Coacervat fabriqué au laboratoire de chimie au Québec

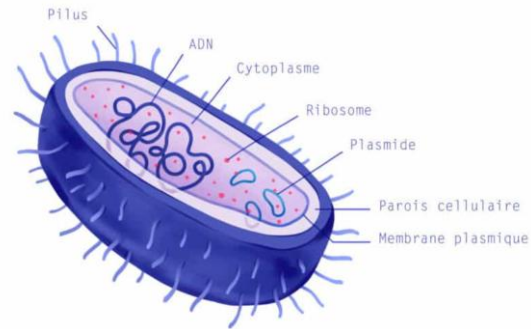
Cellule procaryote, la bactérie

La **membrane** sépare le milieu intracellulaire ou cytoplasme du milieu extracellulaire, fine pellicule de 7 à 8 nm

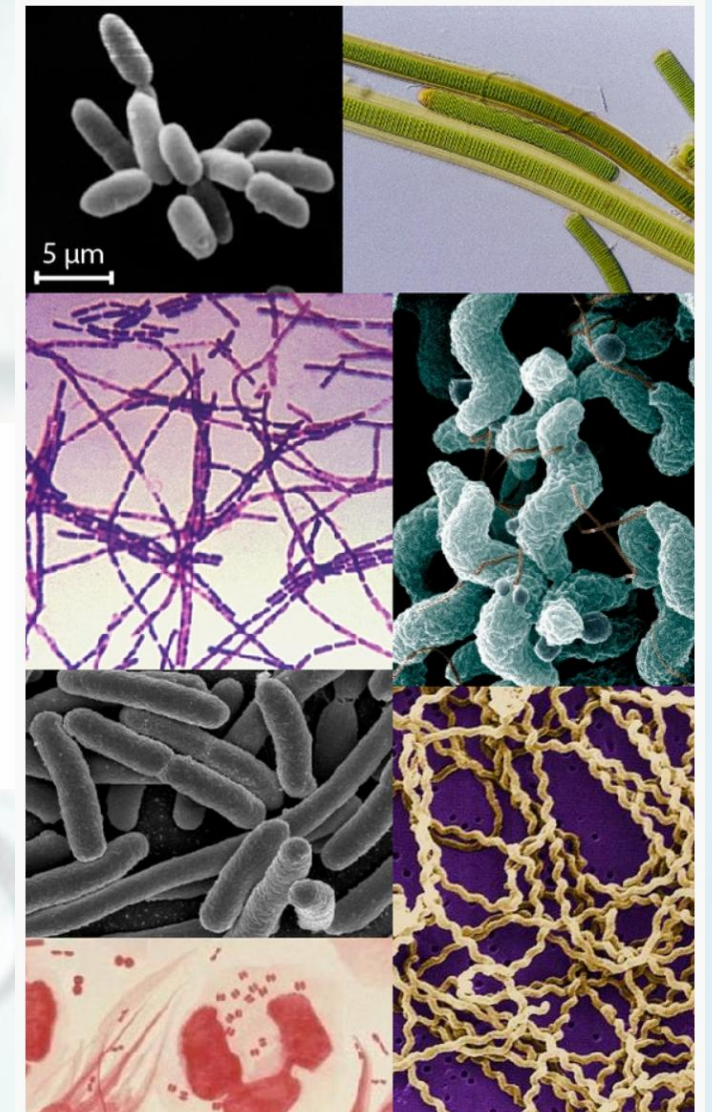
Ici **pas de noyau**, mais un **chromosome** unique **l'ADN** qui **contient l'information génétique**

Ribosomes, une machine moléculaire très complexe et dynamique qui **intervient dans la formation des protéines via l'ARN**

Plasmide est une petite molécule d'**ADN** **circulaire** distincte de l'ADN chromosomique, possédant la capacité unique de **se répliquer seule**.



1 nanomètre ou 1nm = 10^{-6} mm ou 10^{-3} μ m
1 micromètre ou 1 μ m = 10^{-3} mm = 0,001 mm



Différents types de procaryotes.

Cellule procaryote, « les archées »

les Archées micro-organismes unicellulaires, sans noyau
0,1 à 15 μm .

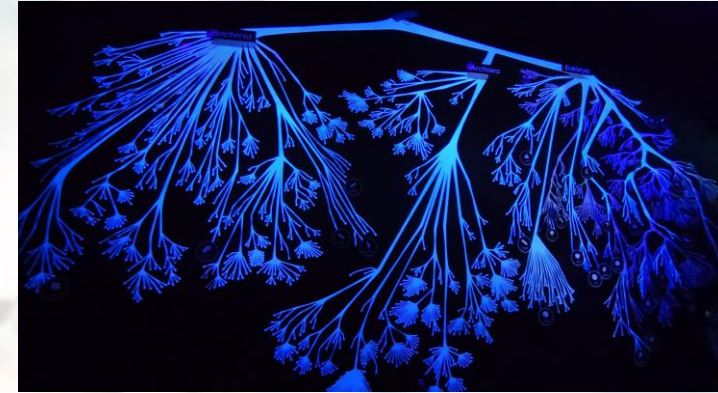
Caractéristiques **biochimiques**, **métaboliques** et **moléculaires** sont différentes des autres procaryotes, les bactéries. Montré par des analyses génétiques et phylogénétiques.

Micro-organismes anaérobies extrêmophiles, adaptés aux conditions de **température** ($>80^{\circ}\text{C}$), de **salinité** ou de **pression**, incompatibles avec la vie.

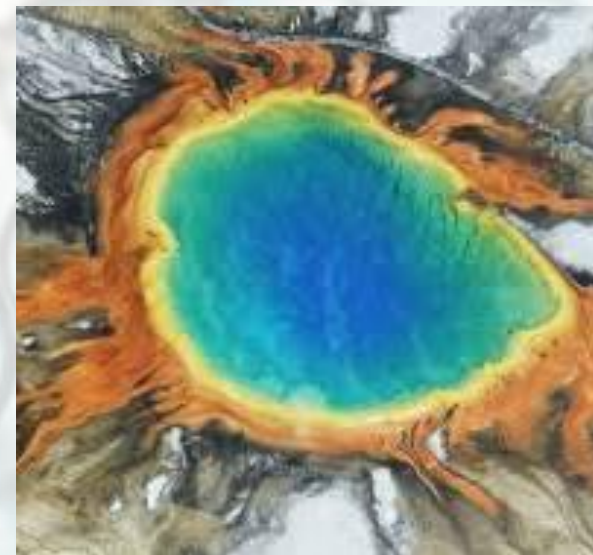
1977, le Dr Carl Woese Université de l'Illinois, propose une **division du monde vivant en 3 domaines** :

- les bactéries, les archées et les eucaryotes.
- En 2015, Lien de parenté avec les eucaryotes

Un micromètre (μm) égale un millième de mm.



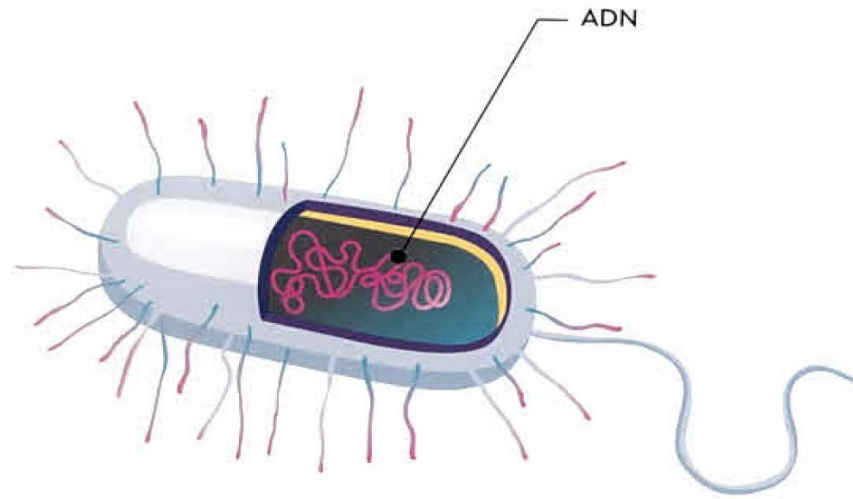
Photographie prise au musée Micropia Artis à Amsterdam (projection).
Crédit : Maud Dahlem, Muséum de Toulouse.



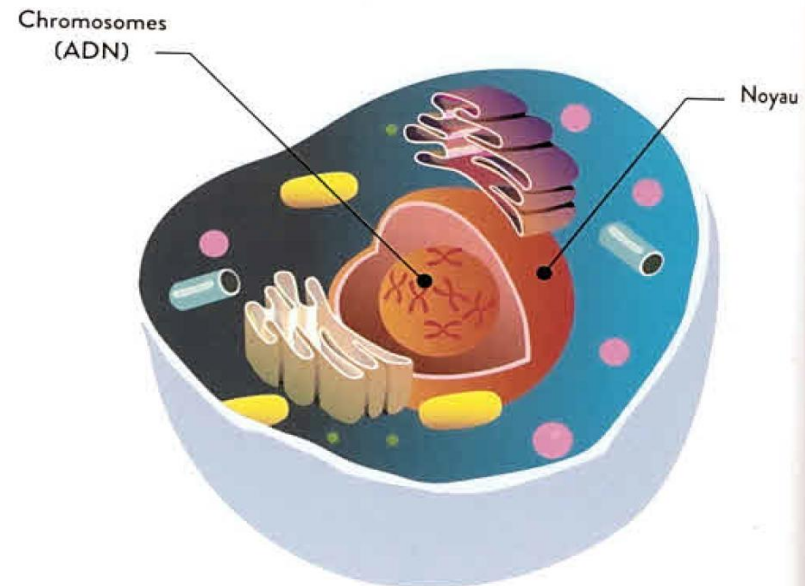
Yellowstone, Grand Prismatic Spring.
Température $> 70^{\circ}\text{C}$

Procaryotes et eucaryotes

- Les **procaryotes**, sans noyau, comprennent les **bactéries** et les **archées**
- Les **eucaryotes**, avec noyau, incluent aussi tous les organismes pluricellulaires.

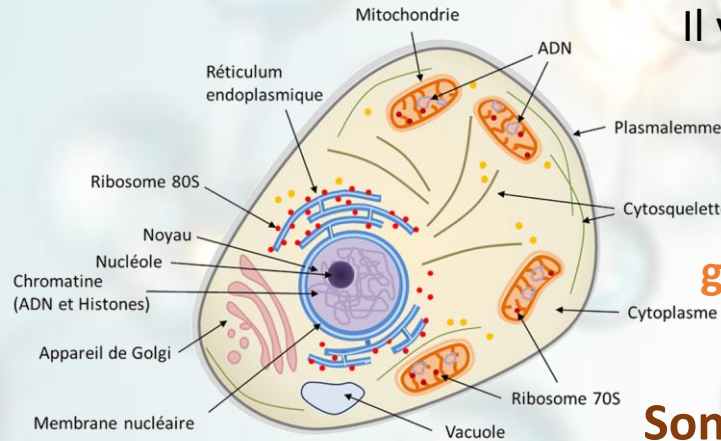


Cellule procaryote
(ici, une bactérie, d'une taille d'environ 1 micron)
avec l'ADN qui baigne directement dans la cellule



Cellule eucaryote (ici, une cellule animale,
d'une taille d'environ 10 μm)
avec l'ADN sous forme de chromosomes, protégé dans le noyau.
En dehors du noyau, on voit également les différents compartiments (organites)
typiques d'une cellule eucaryote.

De 2,1 à 1,5 milliard d'années, les eucaryotes



Il y a environ 1,5 milliards d'années après l'apparition sur Terre des premiers organismes procaryotes -archées et bactéries- apparaissent les eucaryotes

Une nouvelle page se tourne dans l'histoire du vivant.

Ces cellules sont dotées d'un **noyau protecteur contenant leur matériel génétique.**

Sont-elles issues d'archées ou plutôt de bactéries ?

Difficile à dire, mais l'implication d'un **processus biologique** particulier, l'endosymbiose, ne laisse aucun doute. Celui-ci permet à une cellule **d'assimiler un corps étranger** en son sein.

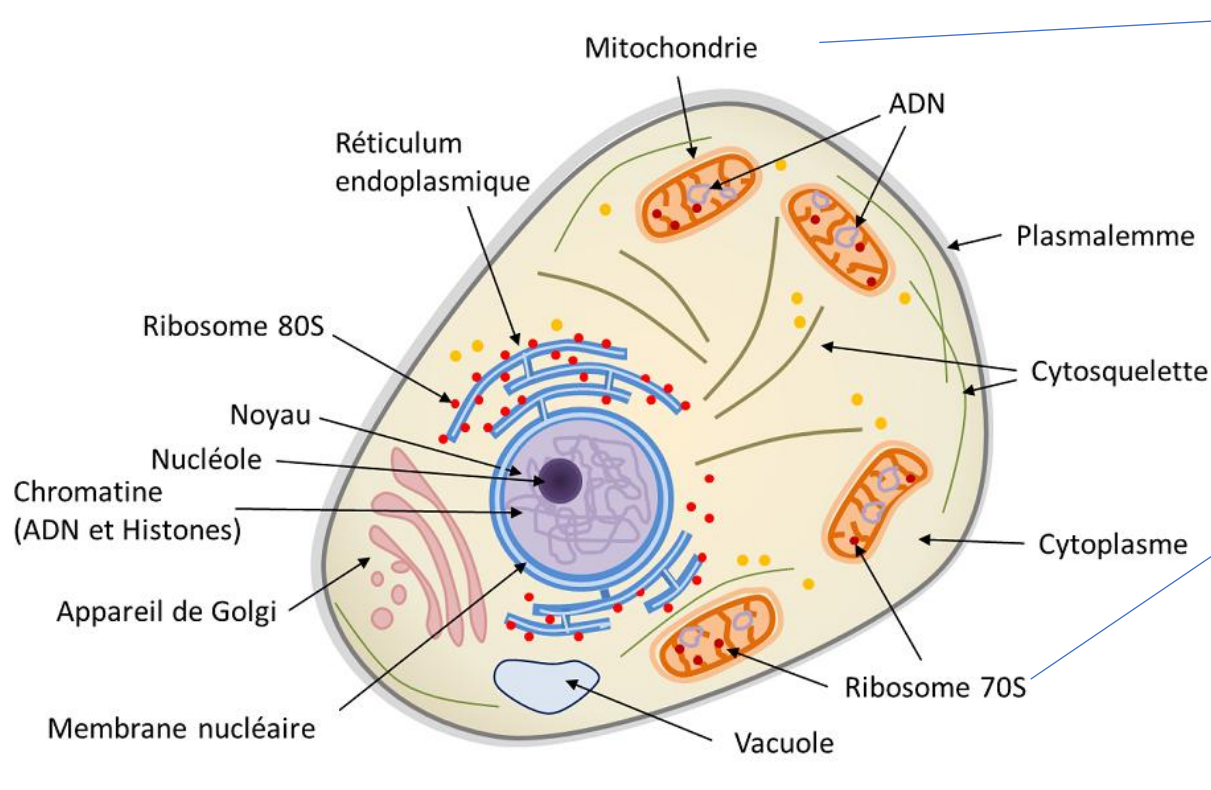
On appelle ces corps assimilés les organites, et ils jouent dans la cellule un ou **plusieurs rôles précis**.

Exemple, les **mitochondries** pour la **respiration cellulaire** résulteraient ainsi de l'**assimilation d'une bactérie par un eucaryote**

Une révolution en appelant une autre, cette nouvelle forme de cellule s'accompagne d'une façon inédite de se répliquer : **la reproduction sexuée**.

Ce mélange des gènes qui en découle produit de nouvelles combinaisons, c'est un véritable avantage évolutif face à un environnement en perpétuel changement.

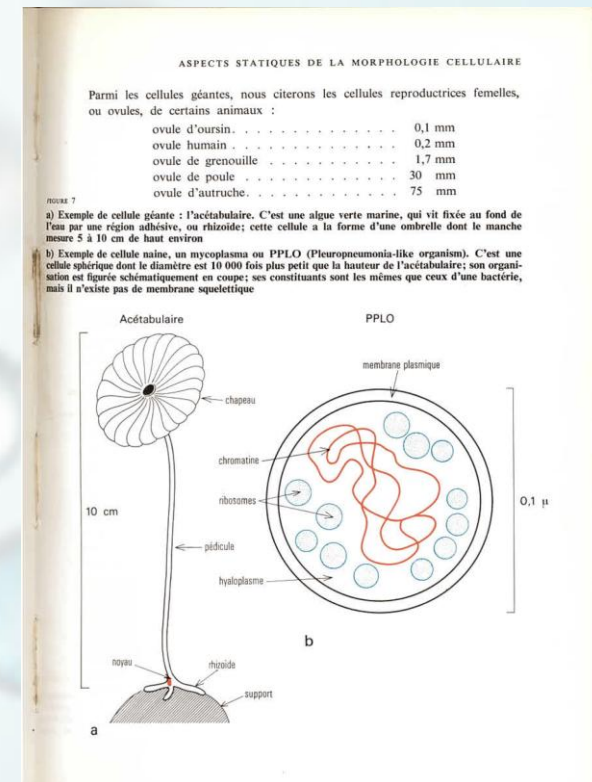
Cellule eucaryote



La **mitochondrie**, siège de la respiration

Le **réticulum endoplasmique** est le compartiment de la cellule où se déroule la **fabrication des protéines et des lipides**.

Le **ribosome**, composant des cellules, très complexe, qui **synthétise les protéines**. Il utilise l'**information portée par l'ADN via l'ARN**. **70S** présent dans cellule procaryote, et **80S** dans cellule eucaryote.





LUCA, l'étrange ancêtre commun...

En 1977, **Carl Woese**, biophysicien et microbiologiste américain révolutionne la biologie évolutive. Par la découverte du « **troisième domaine du vivant** ».

LUCA, pour Last Universal Common Ancestor.
LUCA aurait été présent il y a **4,2 milliards d'années**.

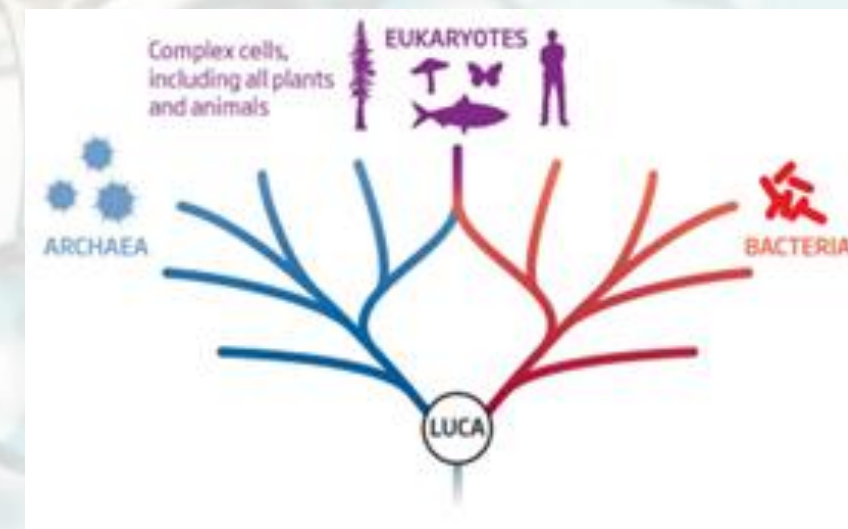
Organisme anaérobie, chimiotrophe, probablement **extrémophile**.
Capable d'utiliser les molécules inorganiques pour les transformer en **molécules organiques**.

LUCA vivait autour des **cheminées hydrothermales**. Mais il semble également posséder un **gène anti-UV**, ce qui signifierait qu'il vivait **près de la surface dans les mares chaudes**.

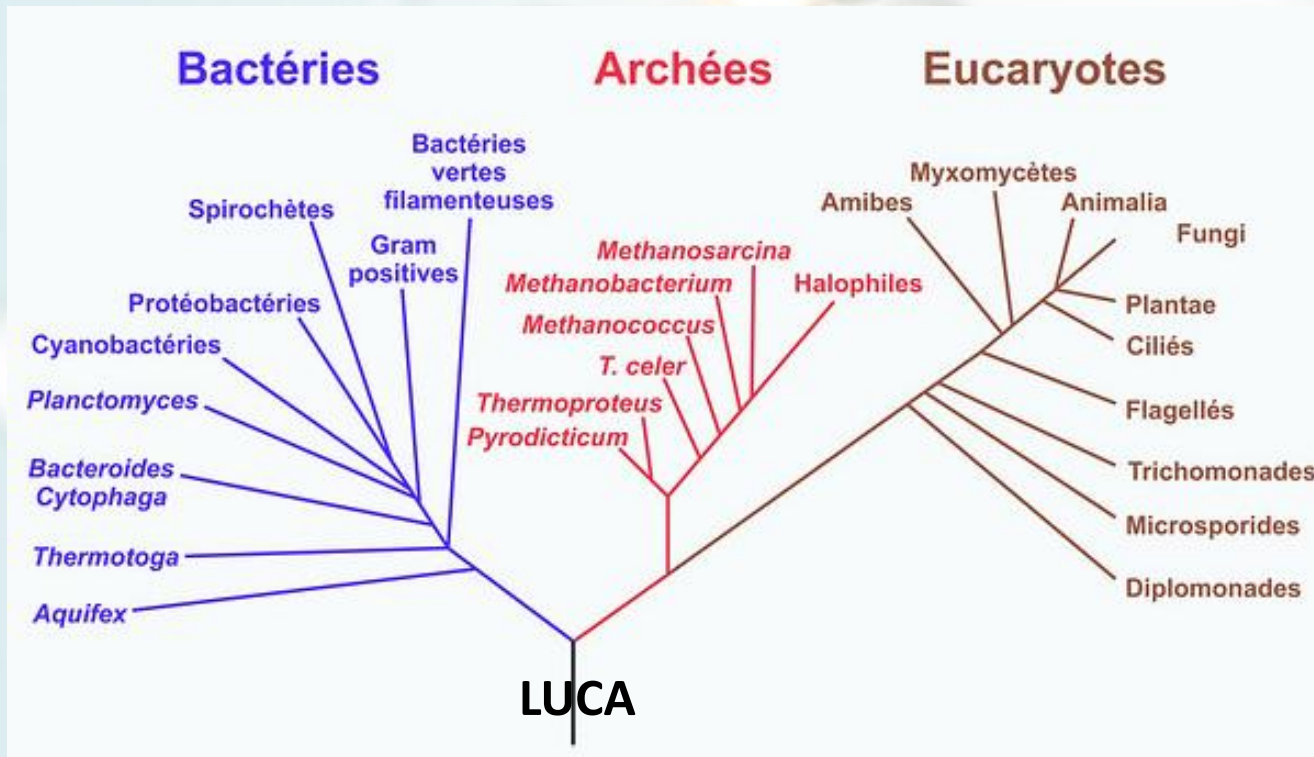
LUCA avait une étonnante complexité, **proche de celle des procaryotes actuels**.

Les scientifiques ont comparé les caractéristiques des trois domaines, **ADN, ARN, Protéines**.

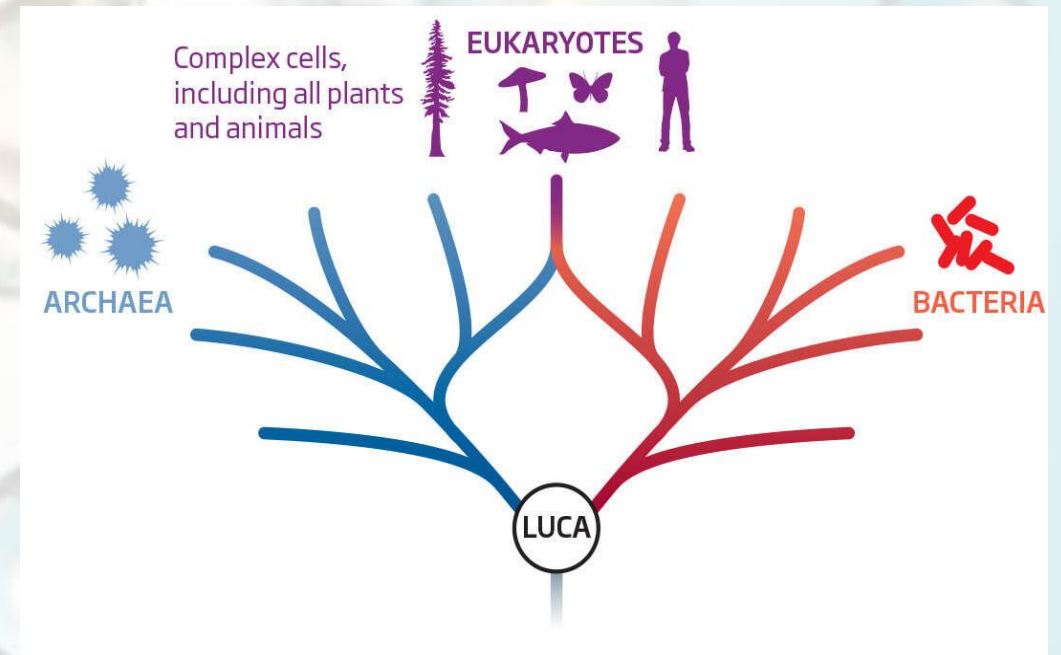
LUCA serait à l'**origine de la séparation entre les bactéries, les archées et les eucaryotes**.



Arbre phylogénique de la Vie



La **phylogénie** ou phylogénèse, du grec ancien φῦλον / phûlon, « tribu, famille, clan » et γένεσις / génesis, « genèse »[1], est l'**étude des liens de parenté** (relations phylogénétiques ou phylétiques) **entre les êtres vivants et ceux qui ont disparu**.



Arbre phylogénétique hypothétique de tous les organismes vivants.

Proposé par **Carl Woese**. Source : NASA Astrobiology Institute

Conclusions et questions ?

Comment la **chimie** est-elle devenue ce **processus vivant** que nous connaissons aujourd'hui ?

Monde à ARN qui aurait précédé l'ADN, **monde à Protéines** ? On envisage un monde à « **ARN-peptides** » combinaison des 2 hypothèses

Point de bascule entre **chimie organique** et **organisme autonome** ?

Passage de l'inerte au vivant ?

Et notre **Terre** ? Son attraction, sa taille, sa présence d'eau, joue-t-elle un rôle ?

Évolution de la cellule ?

Darwin disait « **toutes les espèces vivantes sont en perpétuelle transformation et subissent au fil du temps et des générations des modifications morphologiques comme génétiques** »

Sources

L'univers et la vie de Véronique Bréchet et Michel Marcelin

<https://academie-sbla-lyon.fr>

JOYARD Jacques, Directeur de recherche honoraire au CNRS, Laboratoire de Physiologie cellulaire et végétale, Université Grenoble Alpes

Nature Ecology & Evolution.

1. *Les Archées, micro-organismes du troisième domaine du vivant*, ISTE Editions 2024, Clouet-d'Orval, Franzetti & Oger
2. *Nature*. 2015 May 14;521(7551):173-9.
3. D'après Eme & Ettema, *Nature, News & Views* 2018

