

Du Big Bang à la Vie

Une approche scientifique de l'origine de la Vie

Depuis quand la Vie existe-t-elle ?

Quelle est la plus petite unité de vie ?

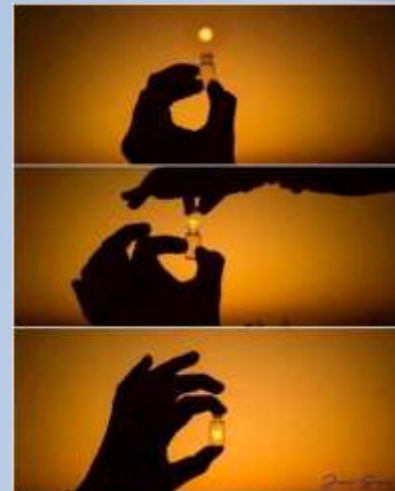
Qu'elles sont les plus anciennes preuves de vie ? Où ?



Quelles sont les formes limites du vivant ? Vie versus non-Vie

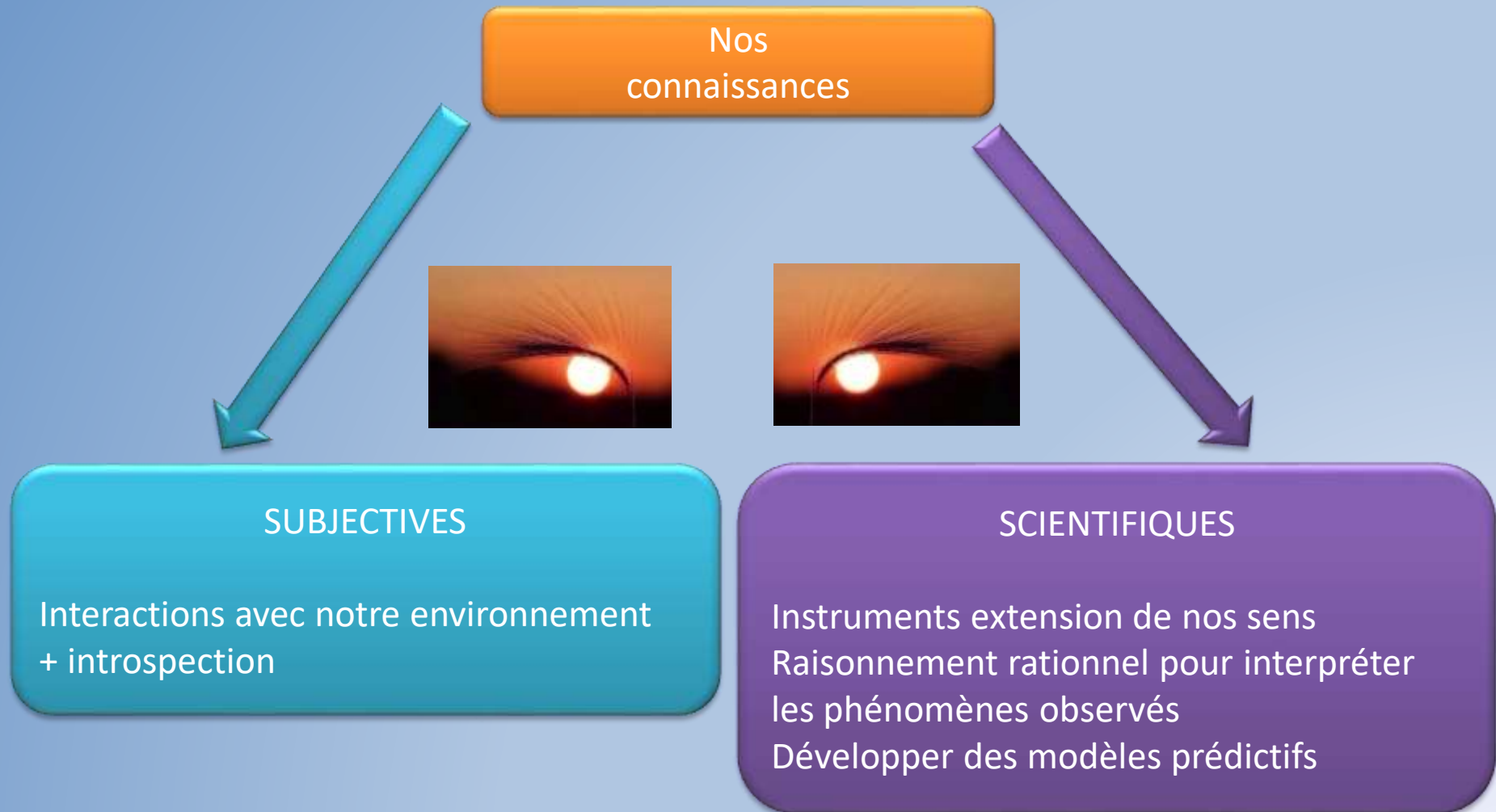
Comment est-elle apparue ?

..... ?



Du Big Bang à la Vie

Une approche scientifique de l'origine de la Vie



Du Big Bang à la Vie

Une approche scientifique de l'origine de la Vie

La question de l'origine de la vie est une question qui touche la corde sensible, les entrailles de l'Homme, elle s'adresse directement à son émotivité et à sa subjectivité.

En conséquences :

Ce qu'on ne traitera pas :

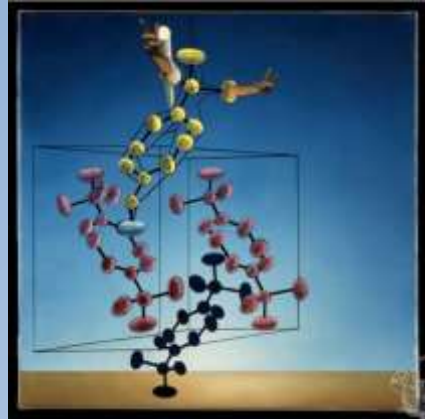
- Visions religieuses, métaphysiques, les mythes, les croyances, ...

Ce qu'on traitera s'appuiera sur :

- 1 - Ce qui est observé**
- 2 - Ce que l'on a découvert**
- 3 - Des mécanismes supposés et contributifs**

Du Big Bang à la Vie

Une approche scientifique de l'origine de la Vie



The Divine Power of
DNA
S.Dali 1975

Les grands évènements qui jalonnent la formation de la Terre sont patiemment reconstitués par les scientifiques.

Une approche holistique:

Sciences de la Vie

Sciences de la Terre

Sciences physiques : Astrophysique

Astrophysiciens, (astro/bio/cosmo/géo) chimistes, (géo/climato) logues, océanographes,.....
phylogénéticiens, biologistes moléculaires, exobiologistes,....

La structuration de la Vie apparaît complexe et ponctuée d'évènements destructeurs.
On s'interroge : la Vie est-elle apparue plusieurs fois sur Terre ?

Sommaire

A – Du Vivant à l'Atome



- 1 – La Vie : définitions
- 2 – Le Panorama des formes de vies
- 3 – La structuration / composition chimique / biologique des organismes vivants

B – Du Big Bang au Vivant



- 4 – L'origine de la matière dans l'Univers
- 5 - L'origine de la matière sur Terre
- 6 – Les premières traces de la Vie

C - Des mécanismes supposés et contributifs

- 7 – Des molécules prébiotiques à la Vie
- 8 – Apparition des premiers organismes vivants, histoire, mécanisme



D - Sommes nous seuls dans l'Univers ? Les programmes de recherches de la Vie dans l'Univers

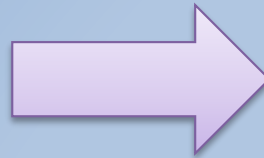
E - Quelques lectures pour aller plus loin

F - Des sites internet

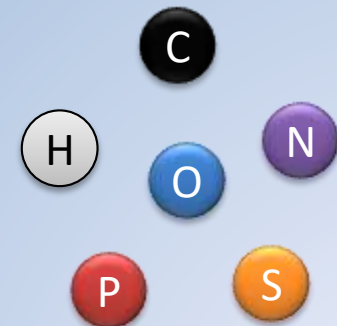
G – Communications / Cours / Consortium

H - Remerciements

A – Du Vivant à l'Atome



Phosphate
Sucre
Bases



A1 - Mais comment définir la Vie, le vivant ?

Un renoncement ?



12 déc. 2019 Exobiologie : Apparition de la Vie
<https://www.sab-astro.fr/forumsab-astro/viewtopic.php?f=28&t=11941>

« Plus de 200 définitions du vivant et tout le monde n'est pas d'accord ! » Marie Christine Maurel – La méthode scientifique

Vie : c'est un état. On l'oppose à Inerte.

Wikipédia : *La **vie** est un phénomène naturel observé à ce jour uniquement sur Terre. La vie se manifeste à travers des structures matérielles appelées organismes vivants, ou êtres vivants, reconnaissables par la grande complexité de leur structure interne et leur activité autonome.*



Vivant (Carl Sagan) : *un système chimique autoentretenu capable d'évolution Darwinienne*

Vivant : « *Un système capable de se reproduire de façon similaire mais pas à l'identique et n'ayant pas les mêmes caractéristiques. Il forme une population subissant les contraintes du milieu imposant une évolution* » François Guyot prof MNHN.

Critères de caractérisation:

Reproduction (matériel génétique, sélection) / compartimentation, encapsulation / métabolisme / autoorganisation / interaction avec l'extérieur (coopération)/.....

(Histoire de l'origine de la Vie vue par les scientifiques au travers des siècles)

A2 – Le panorama des formes de Vie

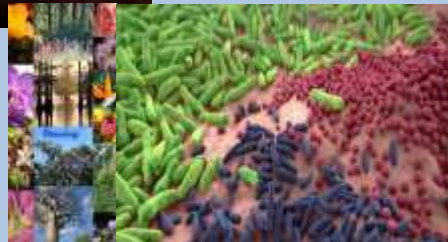
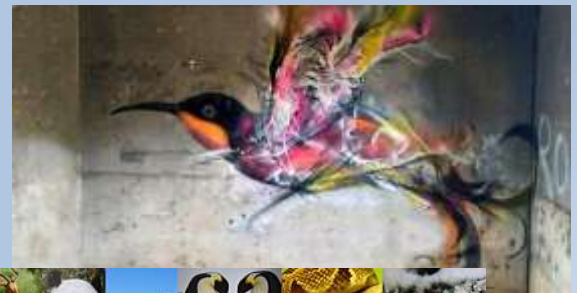
Est-ce qu'on connaît toute le vivant?



« On estime de 1 à 3% les espèces actuellement connues » (source : Xénobiologie – Prof Marie Christine Maurel UMR 7205 - Odile Jacob)

« On pense qu'elles représentent 1/1000 des organismes vivants ayant existé sur Terre depuis son origine. »





jjwawrzyniak 06/2020

A2 – Le panorama des formes de Vie

Ses besoins

Lumière

Température

Conditions physiques

Pression

Très bon solvant, transporte ainsi des sels et molécules dissouts et oriente les composés hydrophobes/philes

Eau

Oxygène

Eléments chimiques

Source de Carbone, fer,....

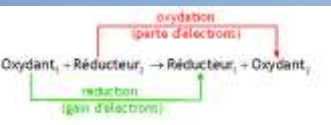
Oxydoréduction

Anabolisme

Processus Biochimiques

Catabolisme

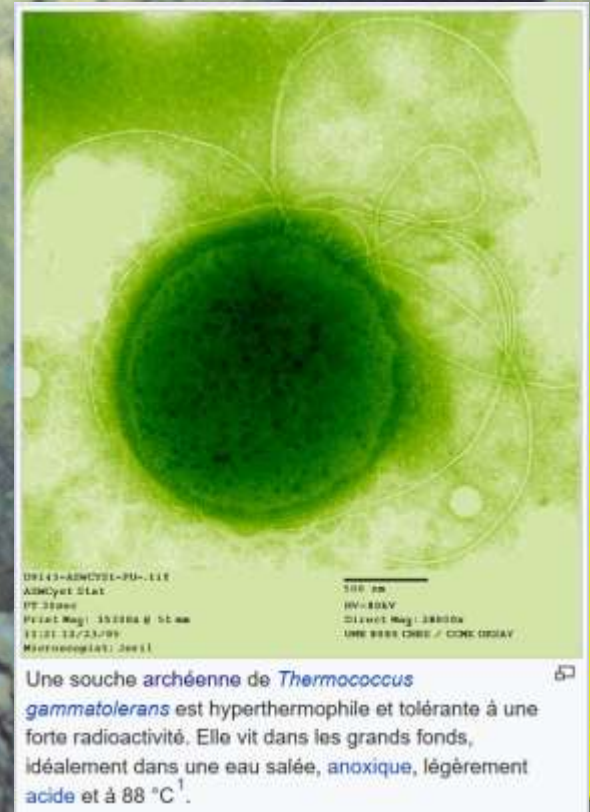
Ensemble des réactions chimiques de synthèses / dégradations moléculaires de l'organisme.



Sur les dorsales océaniques, près des « Fumeurs Noirs », se développe un vie à base de chimiosynthèse, sans oxygène ni lumière, mais en présence de gaz dissous (H_2S , CH_4 , CO , CO_2 , H_2) et de métaux (Si, Mn, Fe, Zn)

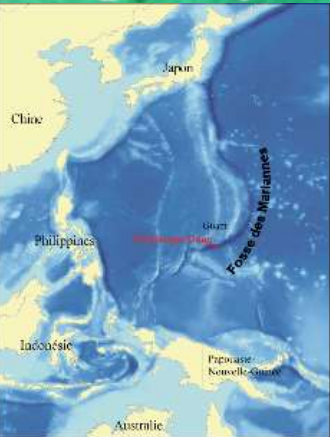


Vers tubicoles, mollusques, poissons ...



Les abysses : la vie sous pression

La vie se développe jusqu'au fond des océans, sous des pressions extrêmes. En 1960, le suisse Jacques Piccard plonge à l'aide du bathyscaphe *Trieste* dans la *Fosse Challenger*, jusqu'à -10 916 m. Il peut y observer des crevettes et un poisson, par 1 086 bars.





Tardigrade
 $-272 < T < +150^{\circ}\text{C}$
 6000atm
 Anhydre, RX, UV, vide spatial

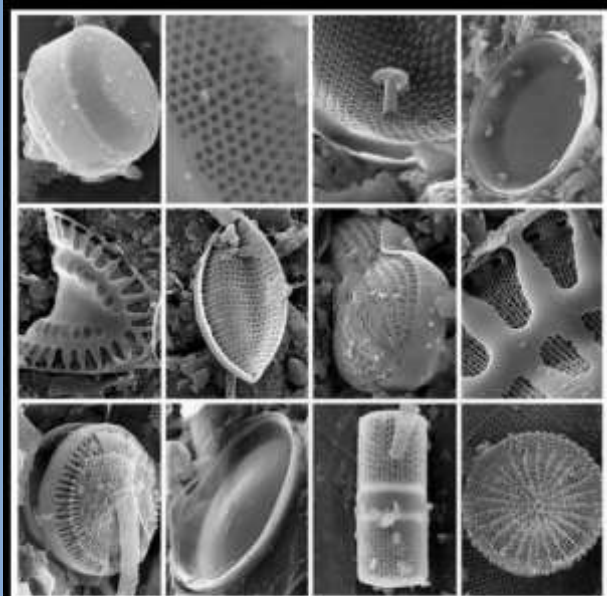
No oxygen



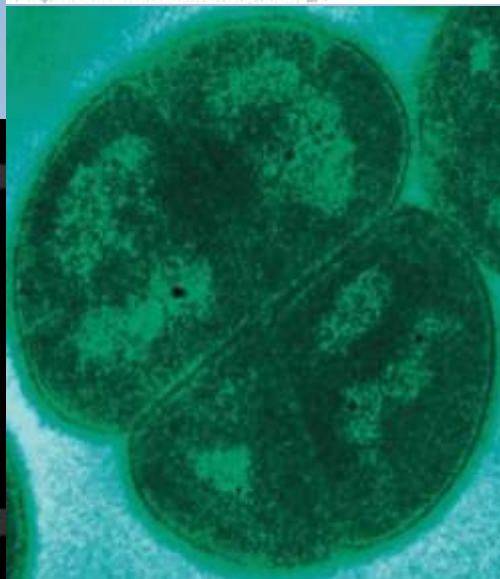
This newfound creature, a loriferan identified as an undescribed species of the genus *Spinoloricus*. The creature has specialized organelles so that it can survive without oxygen. Scale bar is 50 microns. (Image credit: Roberto Danovaro et al., BMC Biology.)



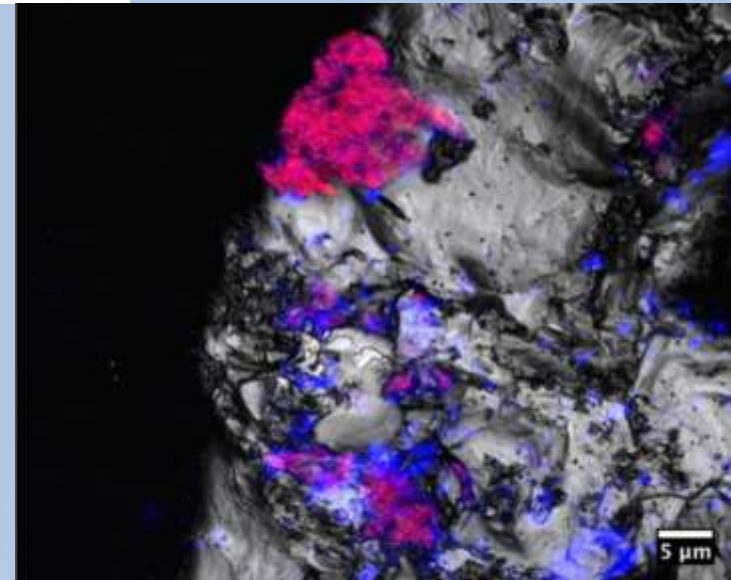
Eurotium Rubrum
 Mer morte
 $\text{NaCl} = 342\text{g/l}$



Les Diatomées sont des algues unicellulaires dont l'exosquelette est entièrement composé de silicium. Crédits : Anna Pišková



Deinococcus Radiodurans
 Résiste à 500x une dose mortelle (homme) de radiations
 Résiste au froid, chaleur, famine, acides, deshydratation,...



Cette étude est la première à confirmer que les cyanobactéries, ici visibles en rouge, parviennent à survivre dans les fissures et les pores des roches que l'on trouve sous terre, bien loin des rayons de lumière du Soleil.
 PHOTOGRAPHIE DE PHAS

A2 – Le panorama des formes de Vies

Des formes de vies extrêmement diversifiées

Les extrêmophiles

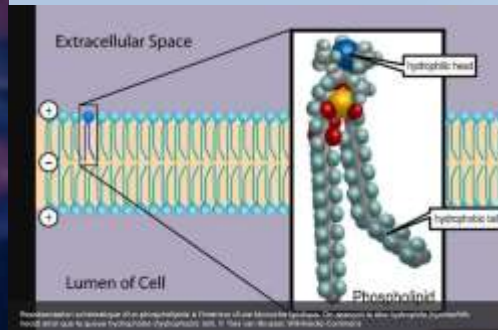
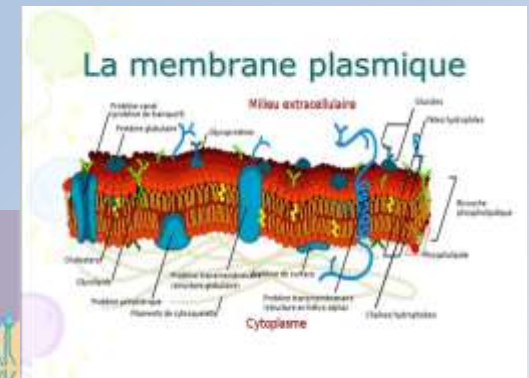
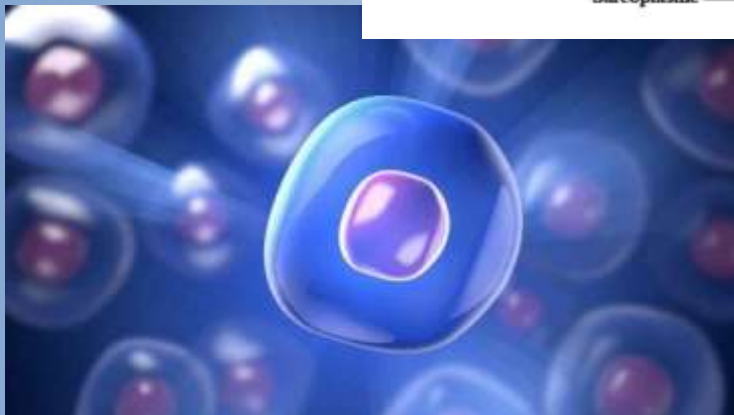
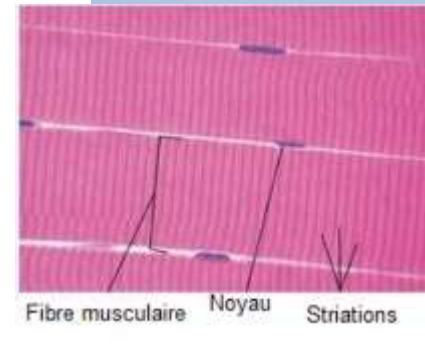
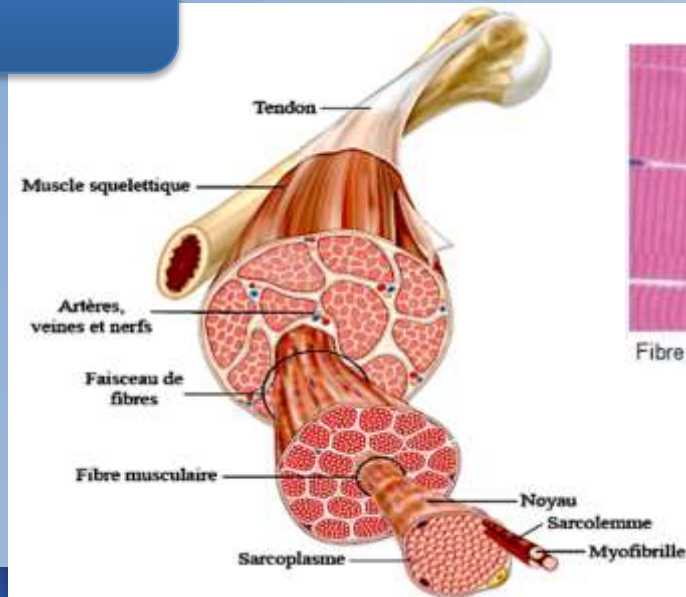
- **Acidophile** : organisme vivant dans des environnements acides (pH ~ 3).
- **Alcalophile** : organisme vivant dans des environnements basiques (pH ~ 9).
- **Halophile** : organisme vivant dans des milieux très salés.
- **Métalotolérant** : organisme tolérant de hautes concentrations en métal (cuivre, cadmium, arsenic, zinc).
- **Psychrophile** : organisme vivant dans des environnements froids.
- **Piézophile** : organisme vivant dans des environnements soumis à des pressions élevées (fonds océaniques profonds jusqu'à -11 000 mètres).
- **Radiorésistant** : organisme pouvant survivre à des radiations ionisantes élevées.
- **Thermophile** : organisme vivant dans des environnements chauds (~ 60° C).
- **Hyperthermophile** : organisme vivant dans des environnements très (de 90° C à plus de 100° C).
- **Xérophile** : organisme capable de résister à la dessiccation (ayant besoin de peu d'eau pour survivre).

Source Grand Prismatic, Parc Yellowstone, USA - Image : Jim Peaco / National Park Service

Le vivant sait s'adapter à des conditions extrêmes !

A3 – Classification, composition biologique, chimique des êtres vivants

Structuration cellulaire



La cellule fonde l'unité et la diversité du vivant (virus ?)

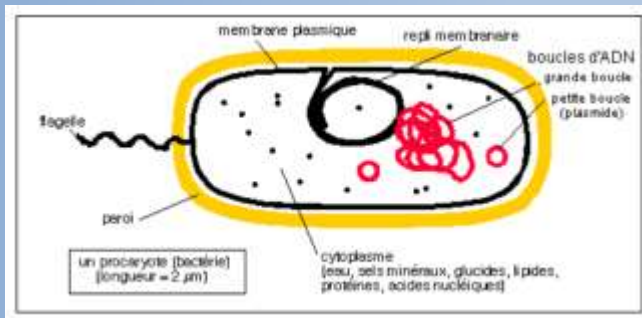
A3 – Classification, composition biologique, chimique des êtres vivants

Procaryotes

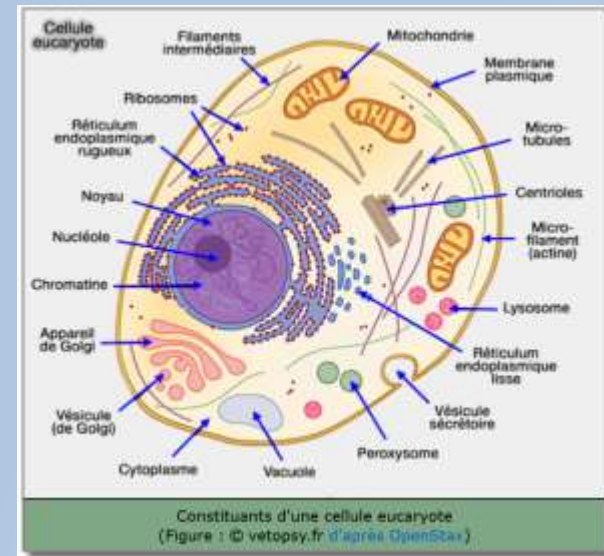


Bactéries

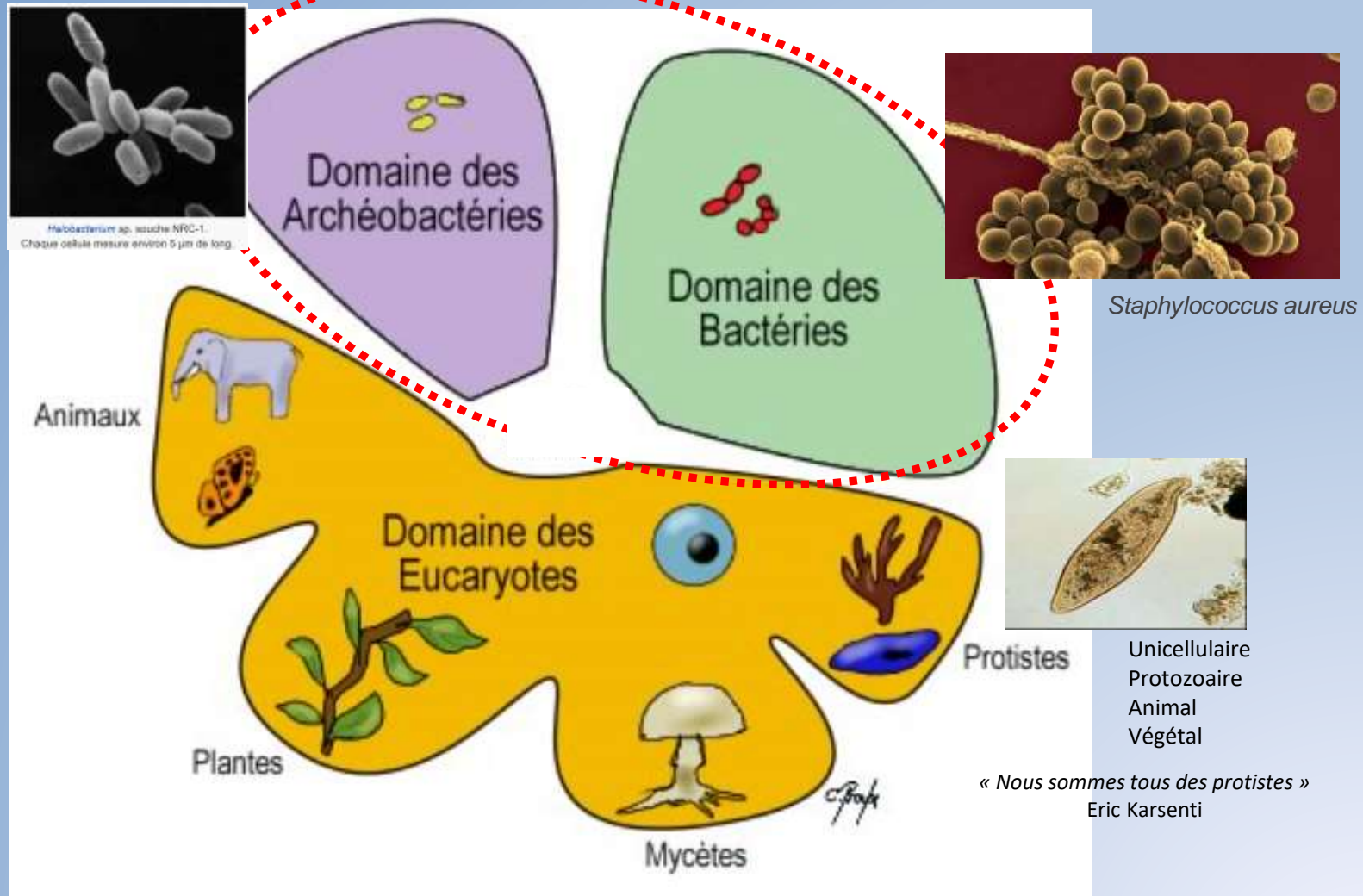
Archées



Eucaryotes



A3 – Classification, composition biologique, chimique des êtres vivants

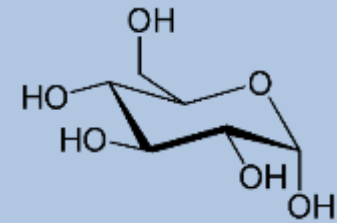


L'architecture des organismes vivants contemporains

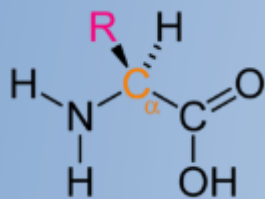
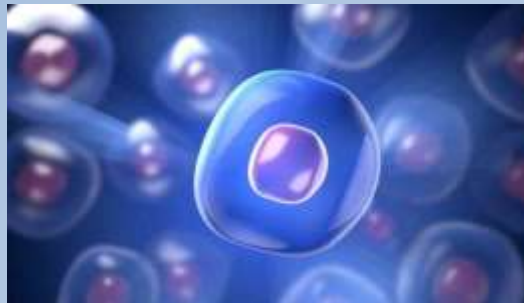
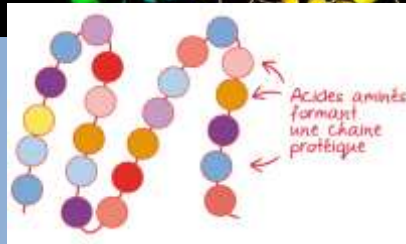
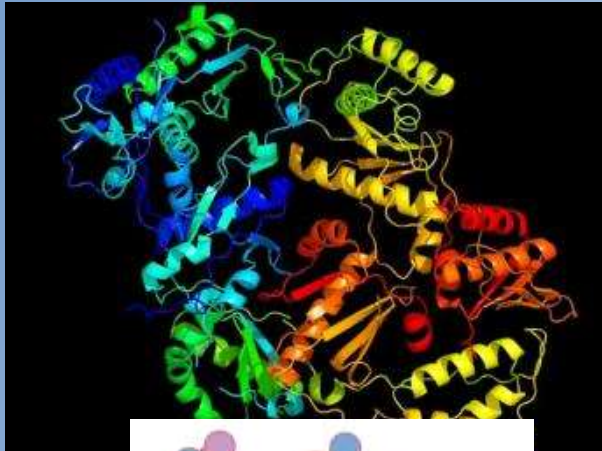
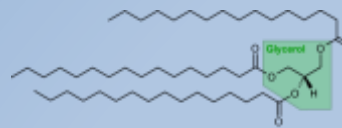
A3 – Classification, composition biologique, chimique des êtres vivants

Qu'y a-t-il de commun entre un virus, une bactérie, une plante, un éléphant (Jacques Monod) ?

Protéines, Lipides, Glucides,....



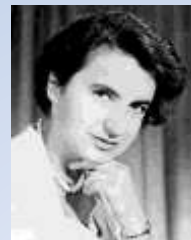
1953



20 Acides Aminés
Levogyre



1869, Friedrich Miescher, découvre « la nucléine »
Acide Désoxyribonucléique



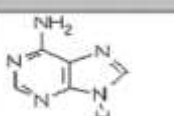
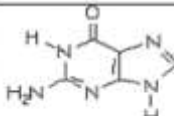
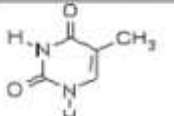
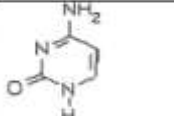
Rosalind Franklin

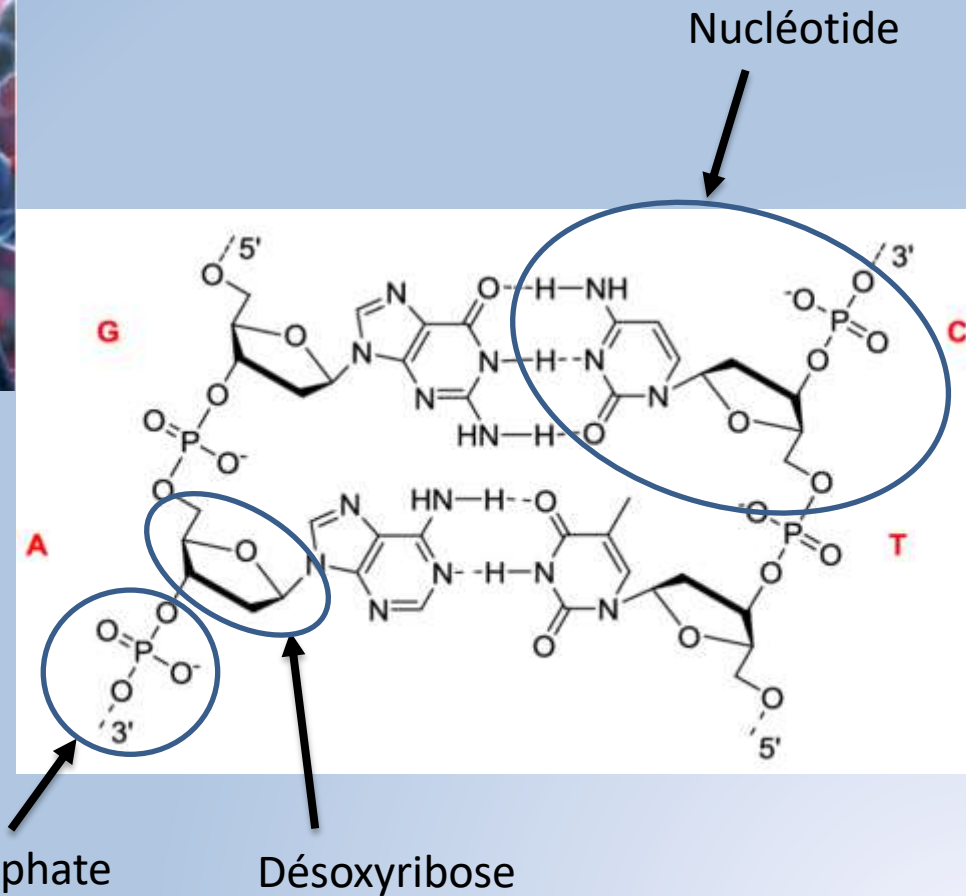
ADN

A3 – Classification, composition biologique, chimique des êtres vivants

Qu'y a-t-il de commun entre un virus, une bactérie, une plante, un éléphant (Jacques Monod) ?



BASE AZOTÉE	NOM, TYPE
	ADENINE (A) PURIQUE
	GUANINE (G) PURIQUE
	THYMINE (T) <u>PYRIMIDIQUE</u>
	CYTOSINE (C) <u>PYRIMIDIQUE</u>



composition biologique, chimique des êtres vivants

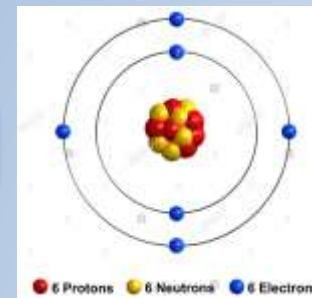


Protéines, Lipides, Glucides,...

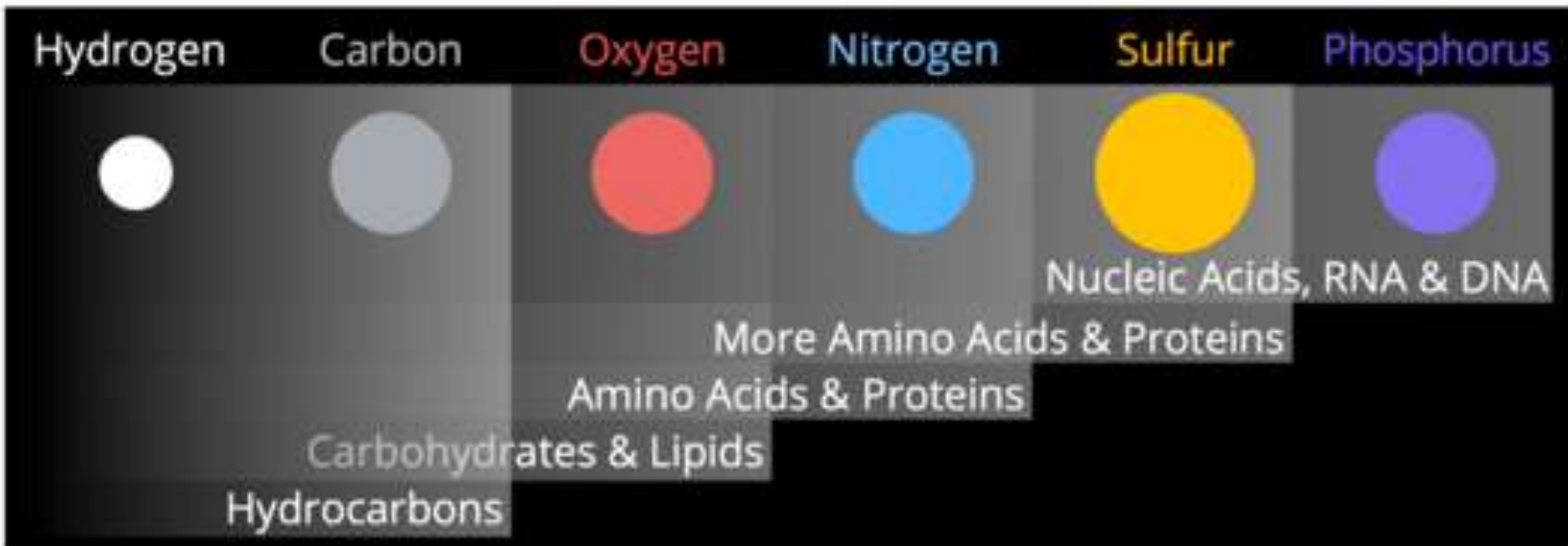
Sucres / 4 nature Bases azotées /
Phosphate
Eau

Atomes C, H, O, N, P, S,....

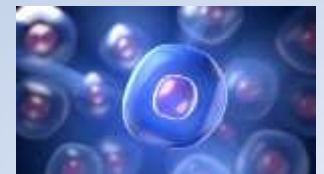
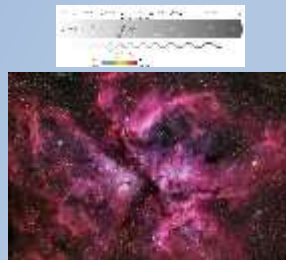
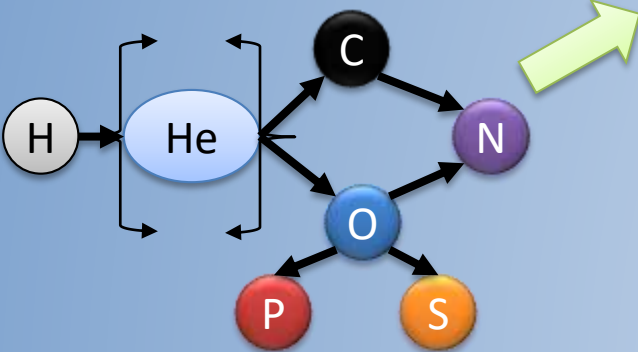
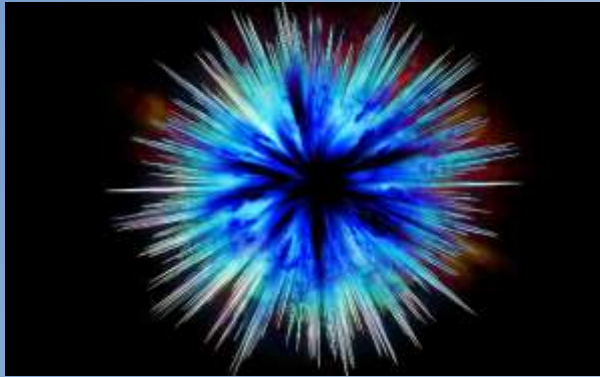
A periodic table of elements with color-coded groups. The groups are: Group 1 (red), Group 2 (light blue), Group 3-10 (yellow), Group 11 (green), Group 12 (dark green), Group 13 (light green), Group 14 (blue), Group 15 (dark blue), Group 16 (purple), Group 17 (pink), and Group 18 (grey). The element S (Sulfur) is highlighted in yellow.



A3 – Classification, composition biologique, chimique des êtres vivants

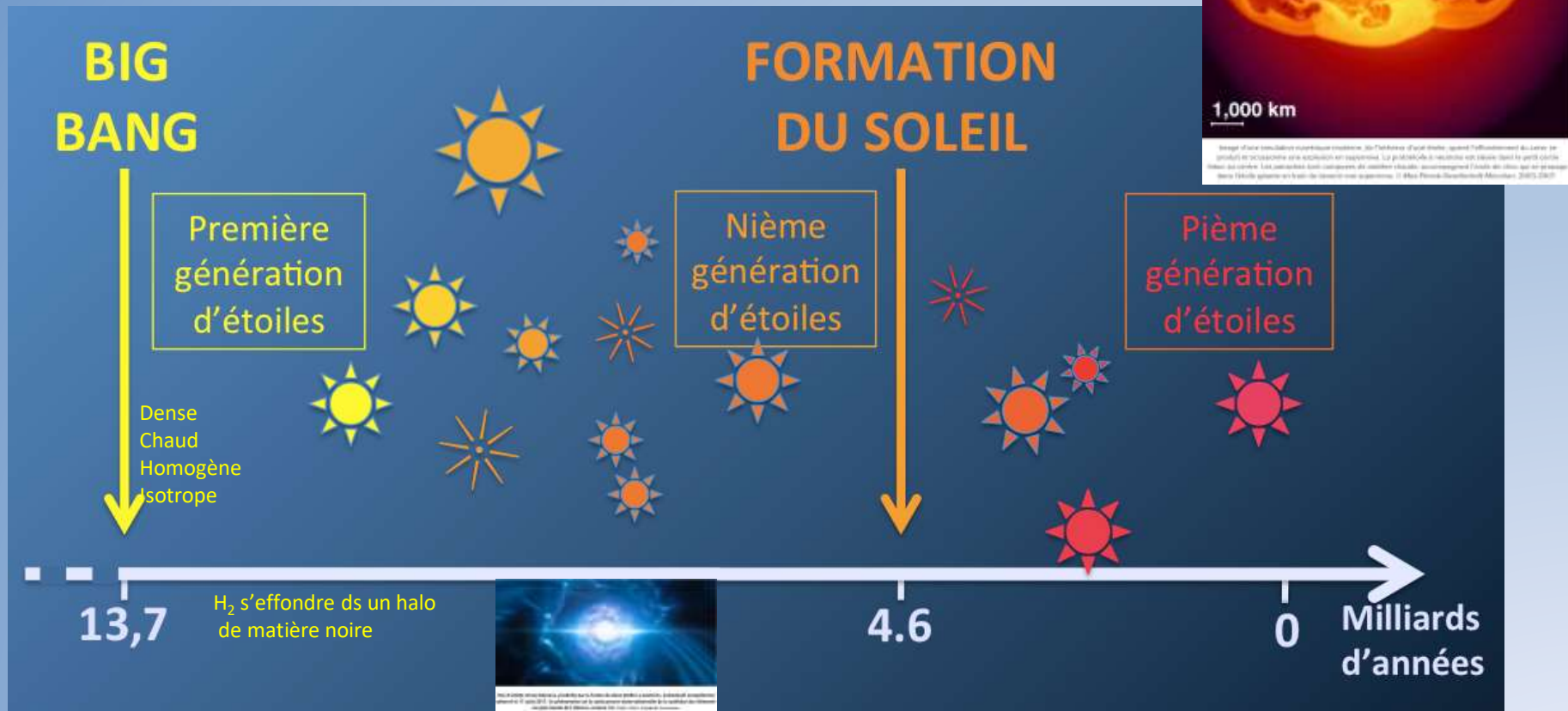


B – Du Big Bang au Vivant



B4 – L'origine de la matière dans l'Univers

Mécanisme de création de la matière



Nucléosynthèse : - **Primordiale**

- Stellaire (Fe)
- Explosive (étoile massive)
- Interstellaire (spallation = rayons cosmiques brisent les noyaux)

Big Bang et Etoiles => atomes

Milieu interstellaire, Terre => molécules

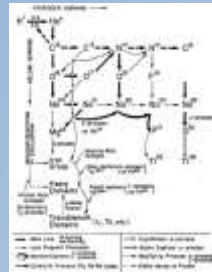
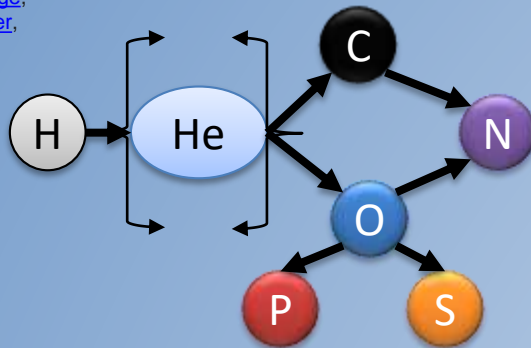
B4 – L'origine de la matière dans l'Univers

Formation des atomes

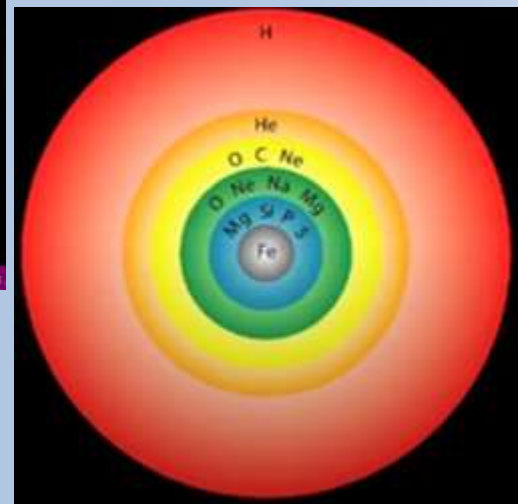
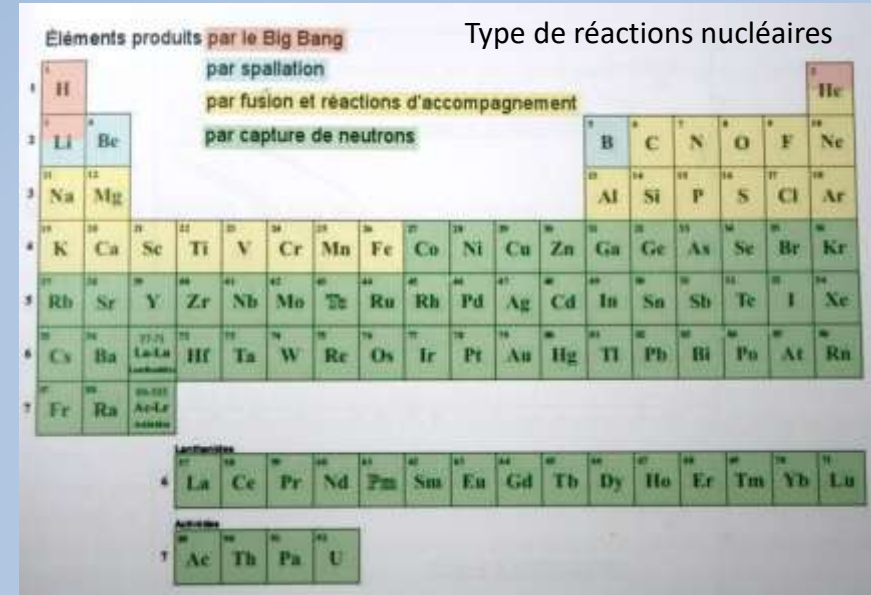
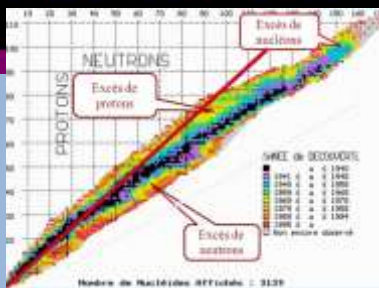
Tableau Périodique des éléments (incomplet)

B^2FH

Margaret Burbidge,
Geoffrey Burbidge,
William A. Fowler,
Fred Hoyle.

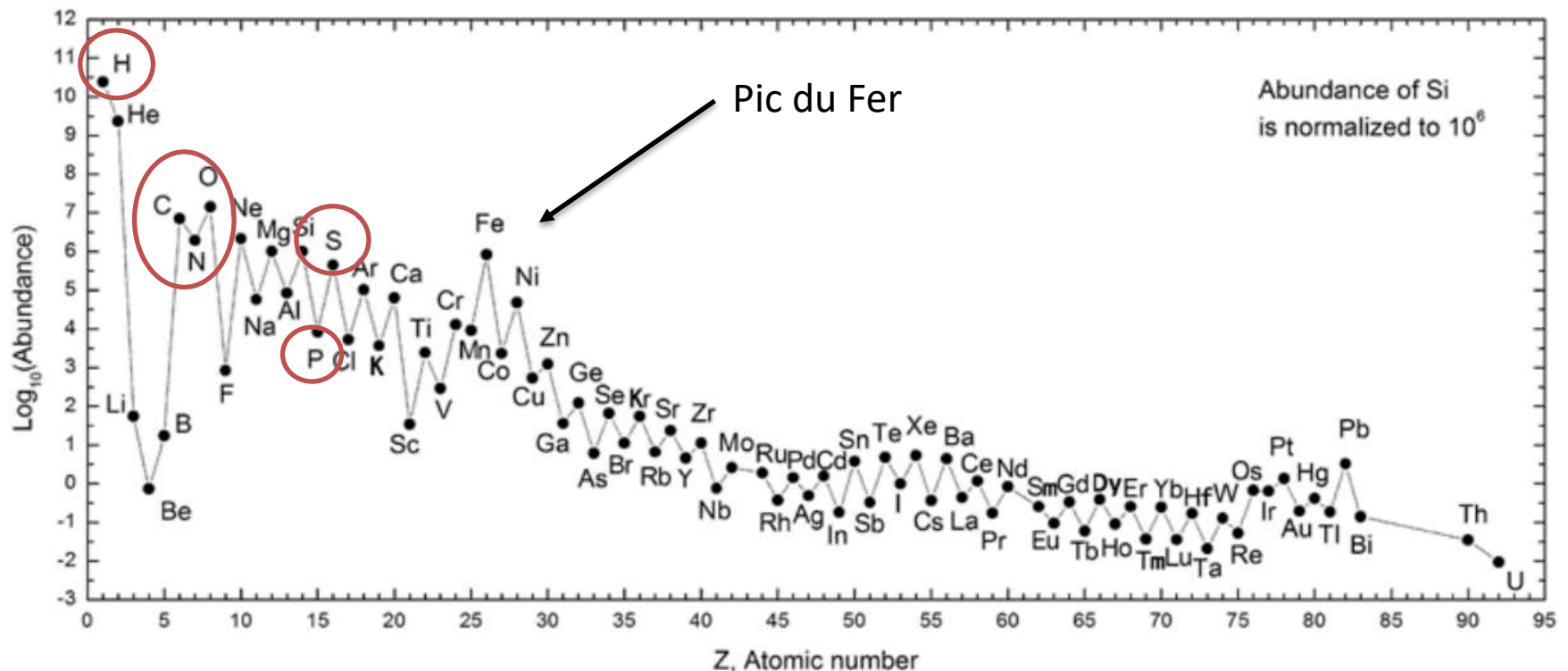


Evènements générateurs



B4 – L'origine de la matière dans l'Univers

Abondance dans la voie lactée

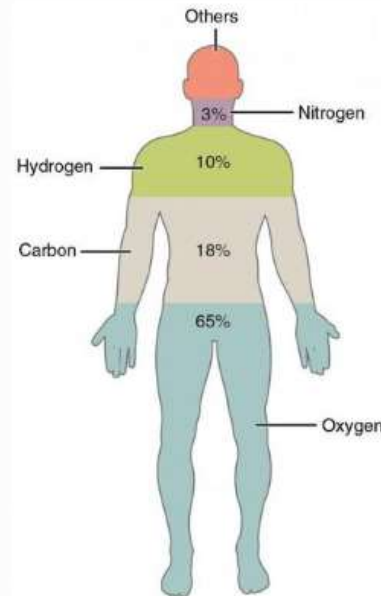


B4 – L'origine de la matière dans l'Univers

Abondance dans le corps humain



Vallée de la stabilité



Element	Symbol	Percentage in Body
Oxygen	O	65.0
Carbon	C	18.5
Hydrogen	H	9.5
Nitrogen	N	3.2
Calcium	Ca	1.5
Phosphorus	P	1.0
Potassium	K	0.4
Sulfur	S	0.3
Sodium	Na	0.2
Chlorine	Cl	0.2
Magnesium	Mg	0.1
Trace elements include boron (B), chromium (Cr), cobalt (Co), copper (Cu), fluorine (F), iodine (I), iron (Fe), manganese (Mn), molybdenum (Mo), selenium (Se), silicon (Si), tin (Sn), vanadium (V), and zinc (Zn).		less than 1.0

The elements in the human body. While, by mass, we are mostly Oxygen, Carbon, Hydrogen, and... [+] OPENSTAX COLLEGE, ANATOMY & PHYSIOLOGY, CONNEXIONS

WEB SITE

A standard periodic table of elements. Several elements are highlighted with blue boxes: Hydrogen (H) in the top left; Carbon (C), Nitrogen (N), and Oxygen (O) in the upper right; Phosphorus (P), Sulfur (S), and Chlorine (Cl) in the middle right; and Sodium (Na) in the lower left.

B4 – L'origine de la matière dans l'Univers

La formation de molécules

Milieu interstellaire : chimie abiotique

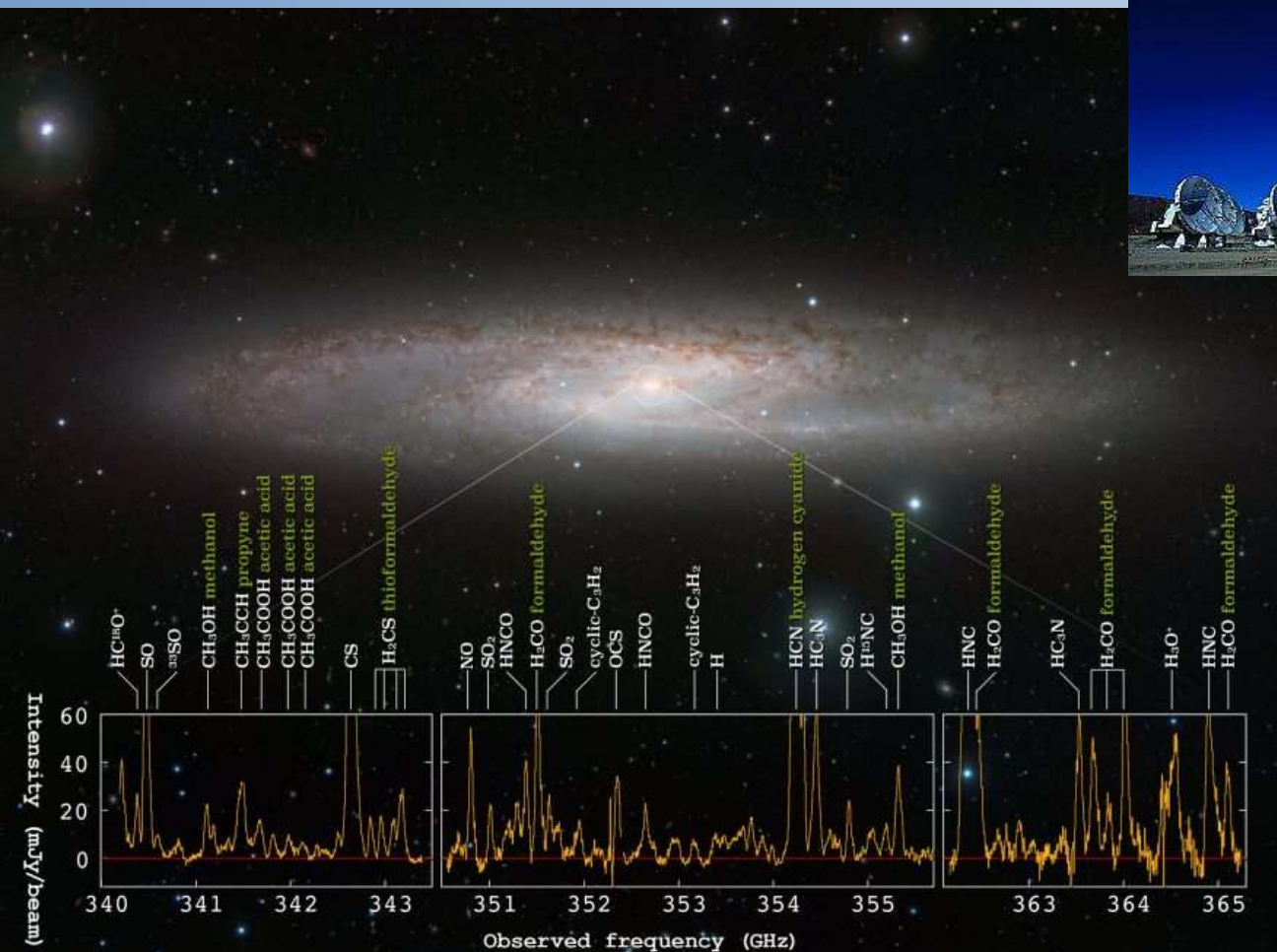
Molécules : H_2O , CO_2 , CH_4 , N_2 , H_2S , $\text{HCN} \Rightarrow + \text{N}_2 \Rightarrow \text{Adénine}$

Acides, alcools, sucres,.....



Radiotelescope Alma

Atacama Large millimeter/submillimeter Array

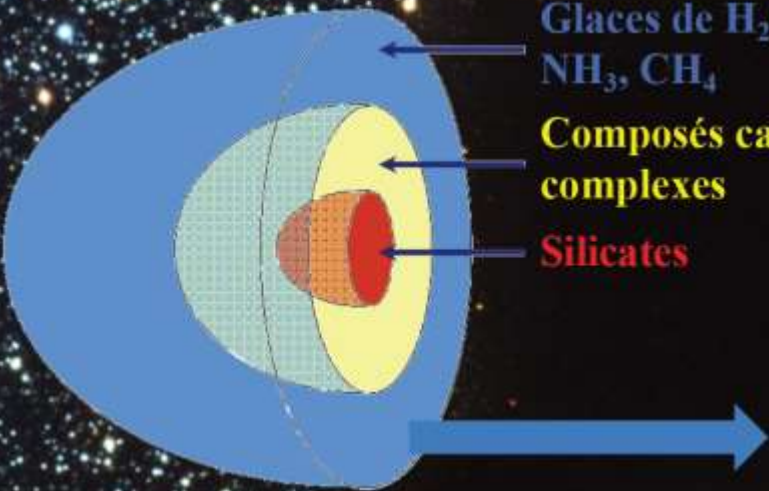


B4 – L'origine de la matière dans l'Univers

La formation de molécules

Chimie des grains interstellaires

La surface des minuscules grains de poussière interstellaire est le siège de réactions chimiques complexes.



The diagram illustrates a cross-section of an interstellar dust grain. It consists of three concentric layers: a central red core labeled 'Silicates', a middle yellow layer labeled 'Composés carbonnés complexes', and an outer blue layer labeled 'Glaces de H₂O, CO, NH₃, CH₄'. A blue arrow points from the grain towards the right, indicating the direction of chemical reactions. A white double-headed arrow below the grain indicates its size: 1 μm = 0.000 001 m.

Glaces de H₂O, CO, NH₃, CH₄

Composés carbonnés complexes

Silicates

1 μm = 0.000 001 m

Reactions:

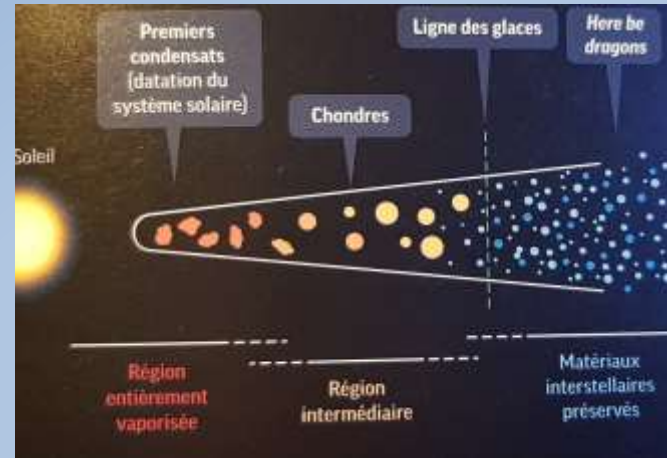
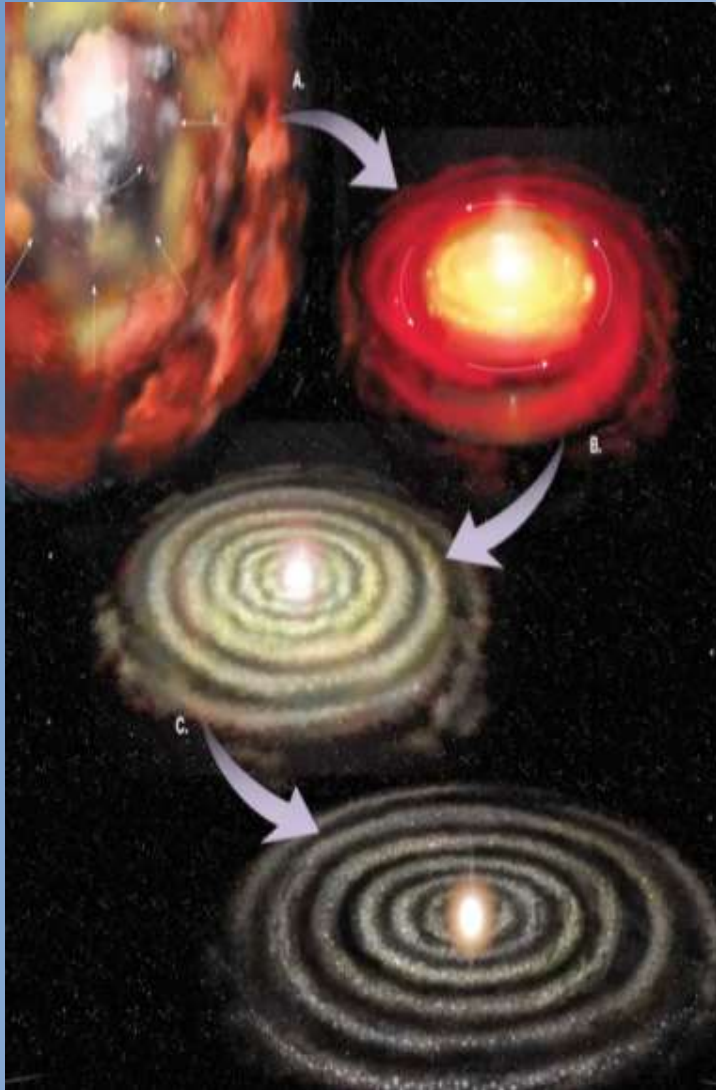
$$\begin{aligned} \text{H}_2 &\xrightarrow{h\nu} \text{H}_2^+ + \text{e}^- \\ \text{H}_2^+ + \text{H}_2 &\longrightarrow \text{H}_3^+ + \text{H} \\ \text{H}_3^+ + \text{C} &\longrightarrow \text{CH}_2^+ + \text{H} \\ \text{CH}_2^+ + \text{H}_2 &\longrightarrow \text{CH}_3^+ + \text{H} \\ \text{CH}_3^+ + \text{O} &\longrightarrow \text{HCO}^+ + \text{H}_2 \\ \text{HCO}^+ + \text{e}^- &\longrightarrow \text{CO} + \text{H} \end{aligned}$$

Nuage de poussières Barnard 68 – Image : VLT/ESO

B4 – L'origine de la matière dans l'Univers

Formation du Système solaire

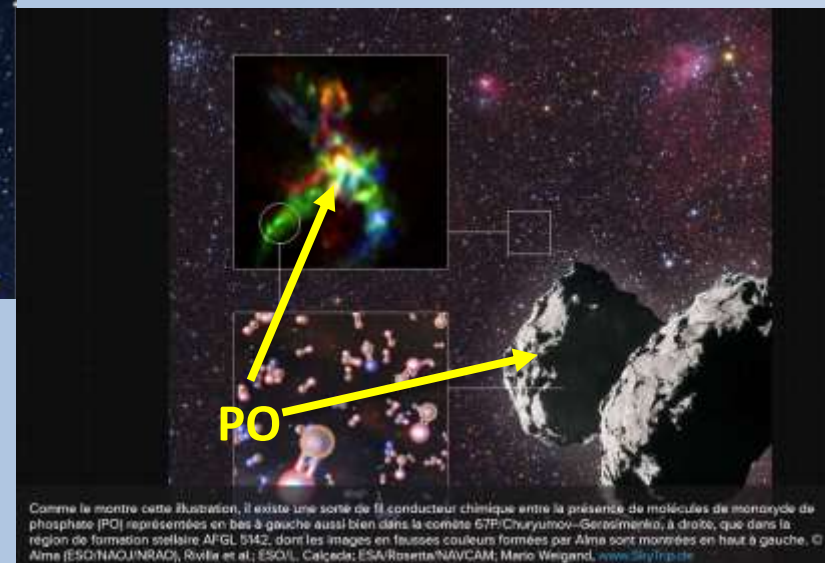
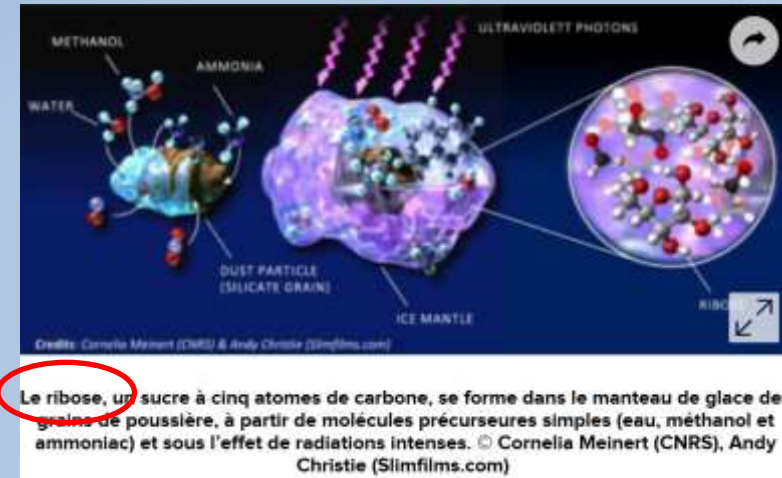
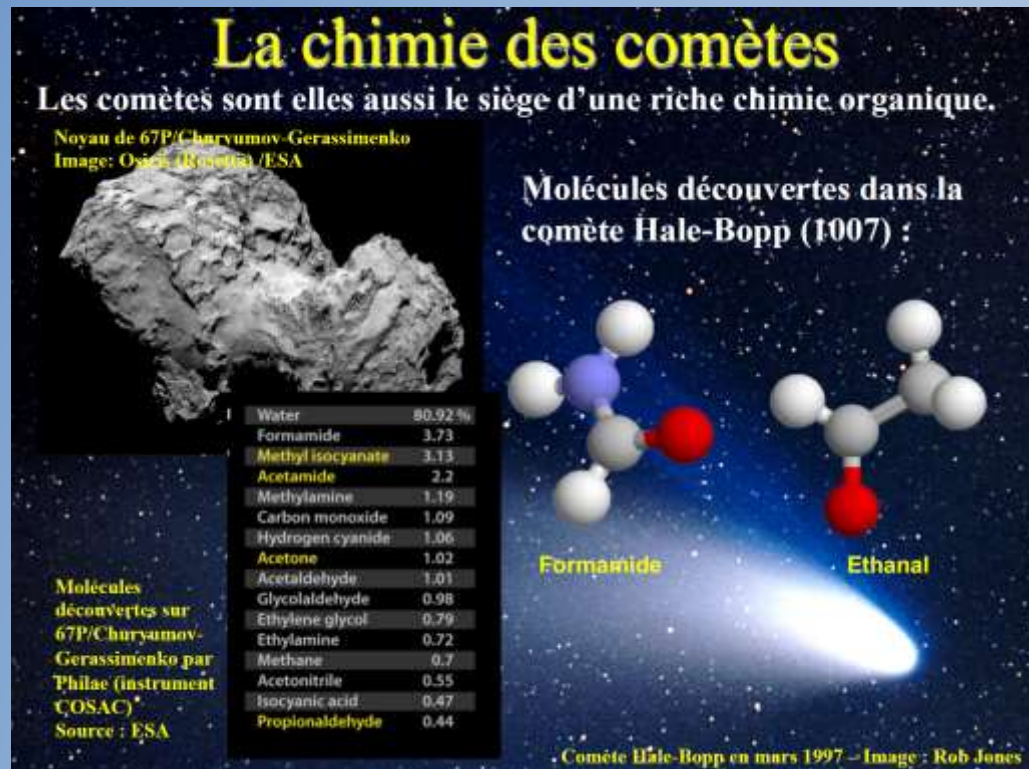
Supernova



Processus : Impacts hyper véloces / fusion / Métamorphisme / irradiation

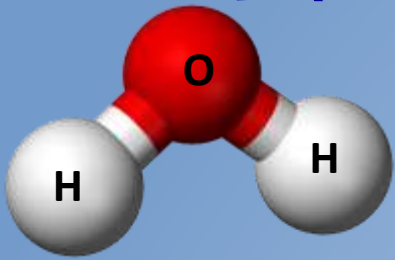
B4 – L'origine de la matière dans l'Univers

La formation de molécules



B4 – L'origine de la matière dans l'Univers

L'eau dans l'Univers



Son Hydrogène fait suite au Big Bang

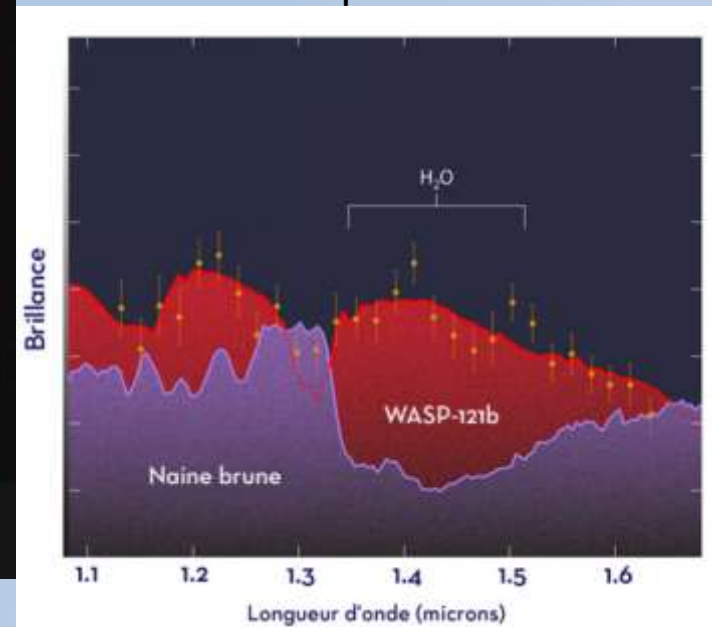
Son oxygène : transformation des étoile bleues en supernovae

Eau : partout dans l'univers à l'état vapeur : nuages moléculaires froids, atmosphères stellaires torrides et au voisinage des trous noirs!

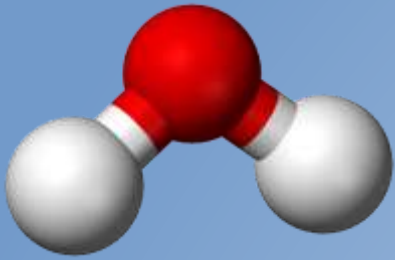


Exemple d'un « globule de Bok » photographié par Hubble au sein de la nébuleuse NGC 281. Selon une étude, un milliard d'années après le Big Bang, ce type de « poche » sombre de gaz et de poussières pouvait déjà contenir de la vapeur d'eau en grande quantité, même s'il y avait 1.000 fois moins d'oxygène qu'aujourd'hui. © Nasa, Esa, Hubble

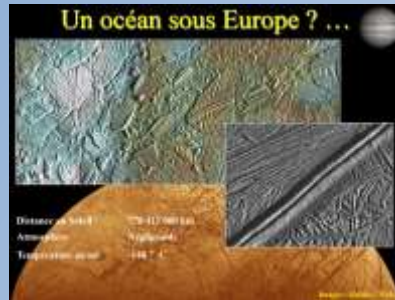
Exoplanète



B4a – L'eau dans le système Solaire



Mars, Europe, Ganymède, Callisto, Encelade et bien d'autres (voir le graphique de la Nasa). Il en existe aussi énormément au-delà de Neptune, au sein des comètes, des planètes naines comme Pluton, voire dans les astéroïdes.

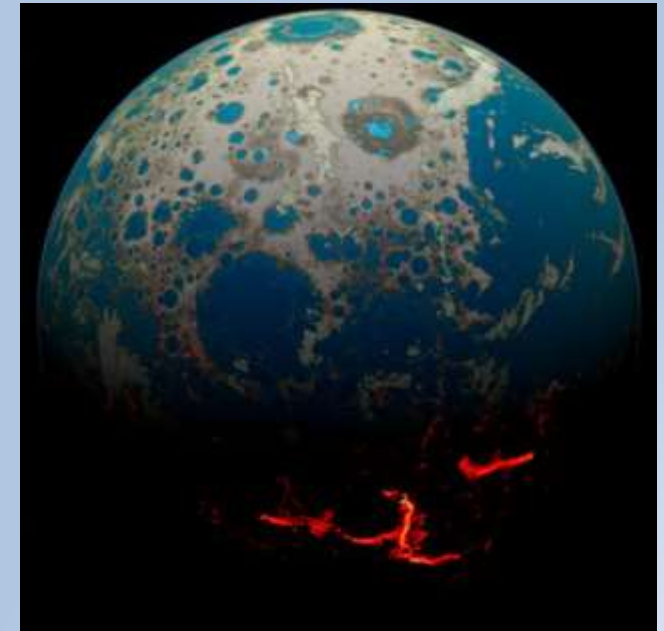
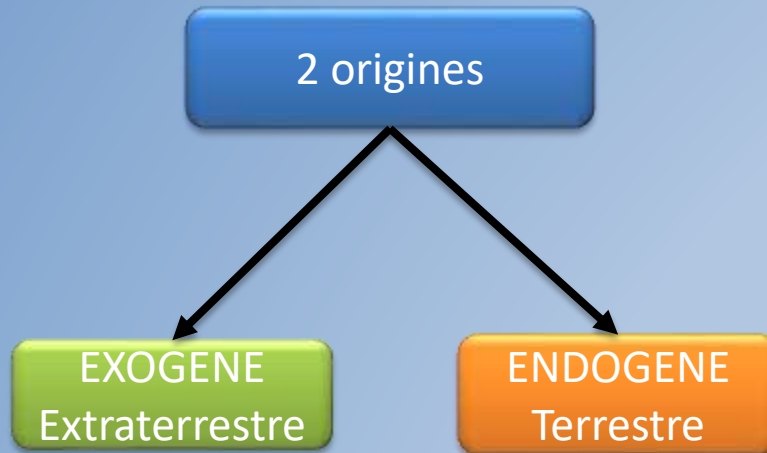


Il y a par bien moins d'eau dans tout le globe terrestre que dans Europe,
<https://twitter.com/hcottin/status/959326168154599424/photo/1>

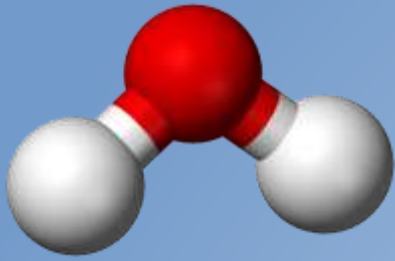


B5 – L'origine de la matière sur Terre

Mais toute la matière Terrestre n'est-elle pas extraterrestre ??



Chronologie de l'évolution de la Terre	
- 4.56 milliards d'années	Naissance du système solaire: des planétoïdes s'agrègent et forment la Terre 100 millions d'années plus tard
- 4.51 milliards d'années	Un astéroïde de la taille de Mars heurte la Terre, les débris qui se libèrent de cette collision s'agrègent et forment la Lune
entre - 4.51 et -4.48 milliards d'années	Un énorme apport d'eau arrive sur Terre et formera les océans
- 4.46 milliards d'années	La Terre atteint son volume final
entre - 4.4 et - 4.3 milliards d'années	L'eau coule sur Terre, les mécanismes climatiques se mettent en place
- 3.85 milliards d'années	Les continents et les océans sont formés



B5a – L'eau sur Terre



Correspond à 1 goutte d'eau sur une orange (Daniel Kunth, Astronome IAP - De la vie dans l'Univers – 2019)

Apparus 150 millions d'années après la formation de la Terre, les océans couvraient plus de 95% de sa surface.

1) Premier scénario de l'origine de l'eau sur Terre

Les molécules d'eau auraient été abritées des rayonnements solaires à l'intérieur des « poussières » du nuage originel, lors de la formation du Système solaire.

Lorsque les poussières se sont accrétées pour former des planétoïdes, l'eau est restée piégée à l'intérieur.

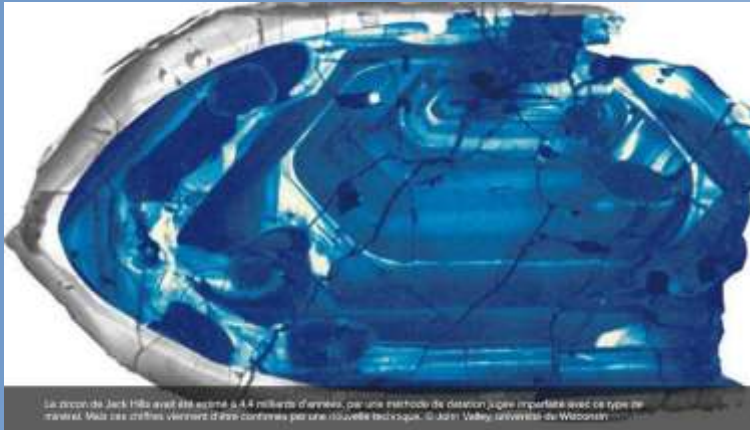
Puis, les planètes se sont contractées en grossissant, ce qui a éjecté l'eau vers l'extérieur, un peu à la manière d'une éponge gorgée d'eau qu'on presse.

Des gaz tels que le dioxyde de carbone étaient éjectés en parallèle, créant une atmosphère.

2) Deuxième scénario

L'autre scénario met en jeu les astéroïdes et les comètes : celles-ci viennent de régions très lointaines du Système solaire, qui sont précisément riches en eau. Or au début de l'Histoire du Système solaire, les impacts étaient très nombreux car un grand nombre de corps continuaient à virevolter au sein du disque protoplanétaire : cela a pu apporter une quantité non négligeable d'eau sur la Terre, en l'amenant depuis les confins du Système solaire



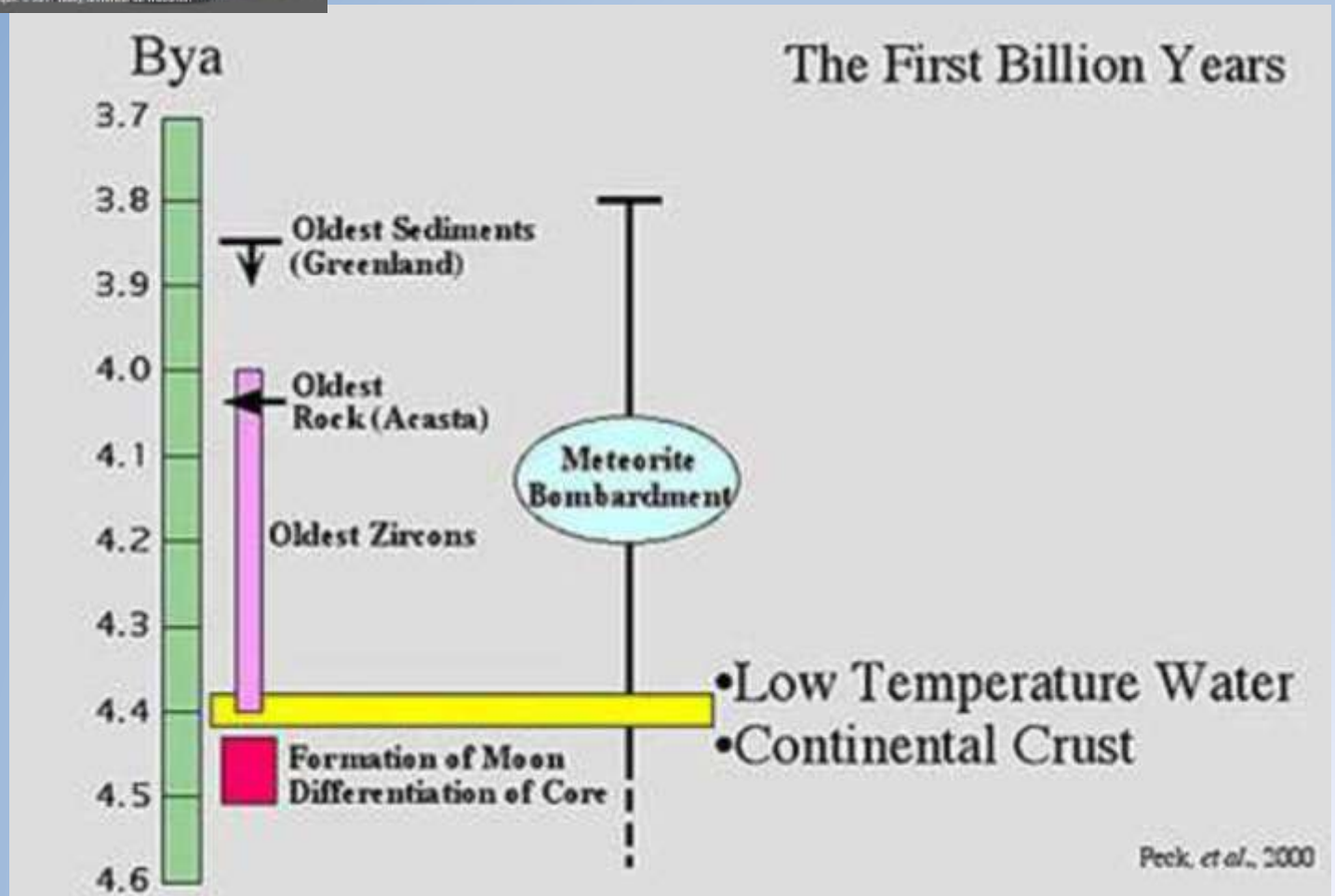


B5a – L'eau sur Terre

Cristallisation des 1^{er} roches

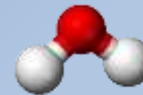
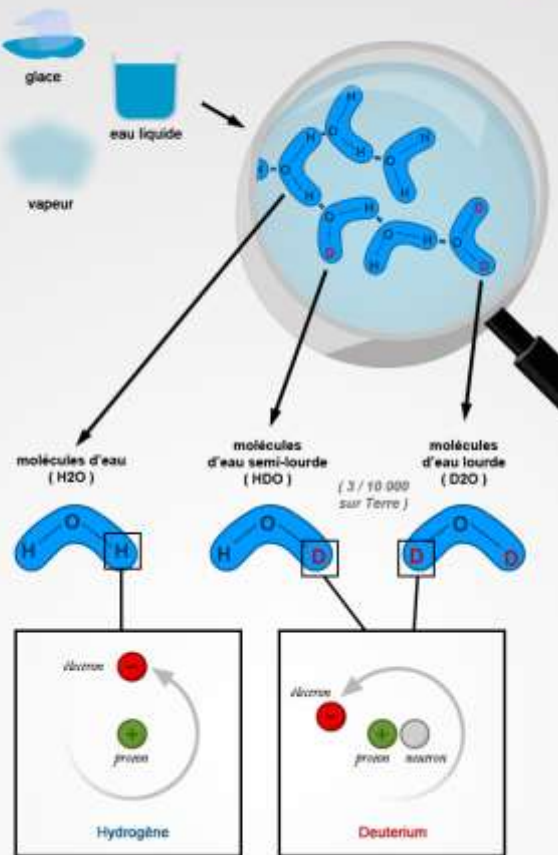
Le zircon est un silicate de zirconium : ZrSiO_4

Un rapport isotopique en $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ différent du manteau terrestre !!



B5a – L'eau exogène sur Terre

Des rebondissement dans les tentatives pour expliquer l'origine de l'eau des océans



<https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/comete-eau-terre-aurait-ete-apportee-cometes-finalement-56388/>

$$\text{rapport isotopique} = \frac{\text{quantité D}}{\text{quantité H}}$$



$1,55 \cdot 10^{-4}$



$5,3 \pm 0,7 \cdot 10^{-4}$

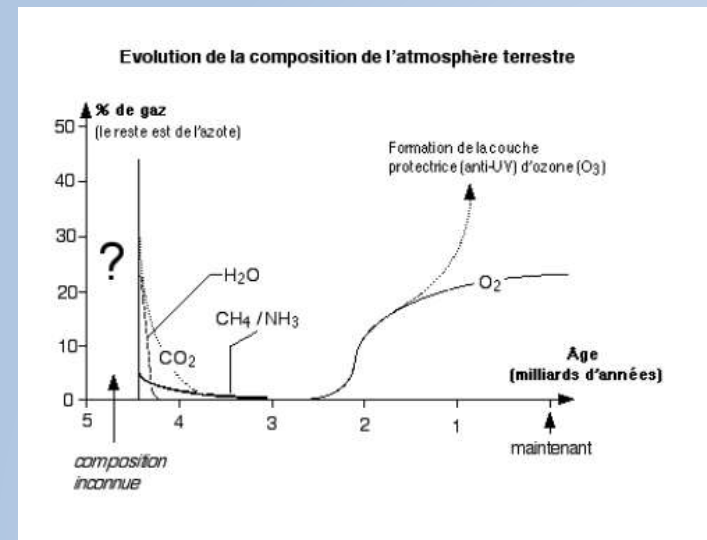
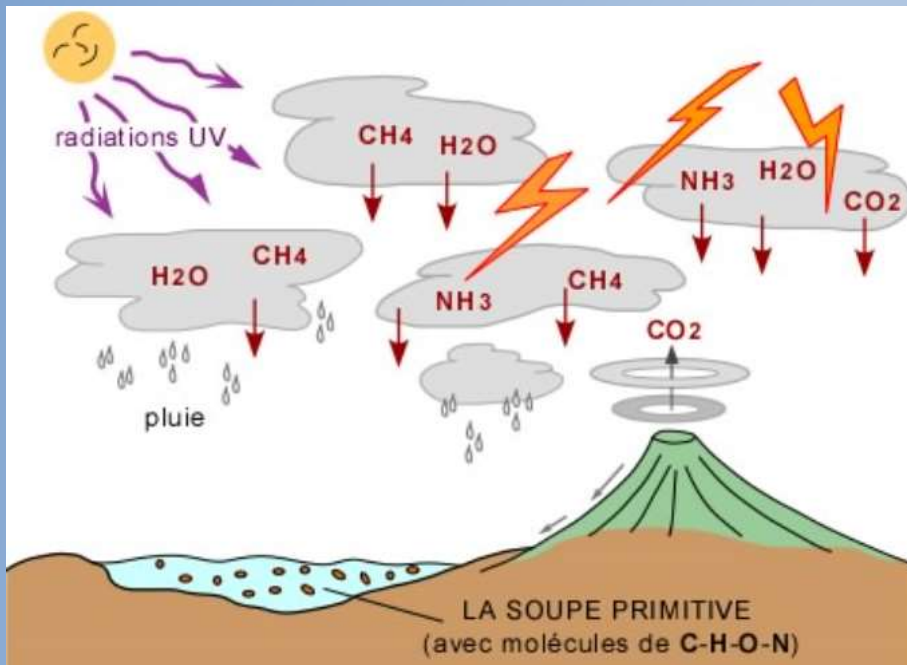
Mais un biais dans le dosage ?



B5 – L'origine des molécules organiques sur Terre

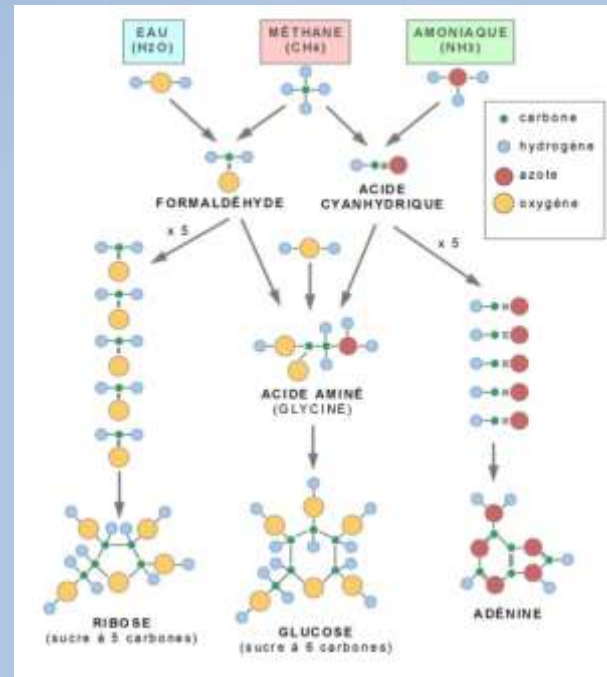
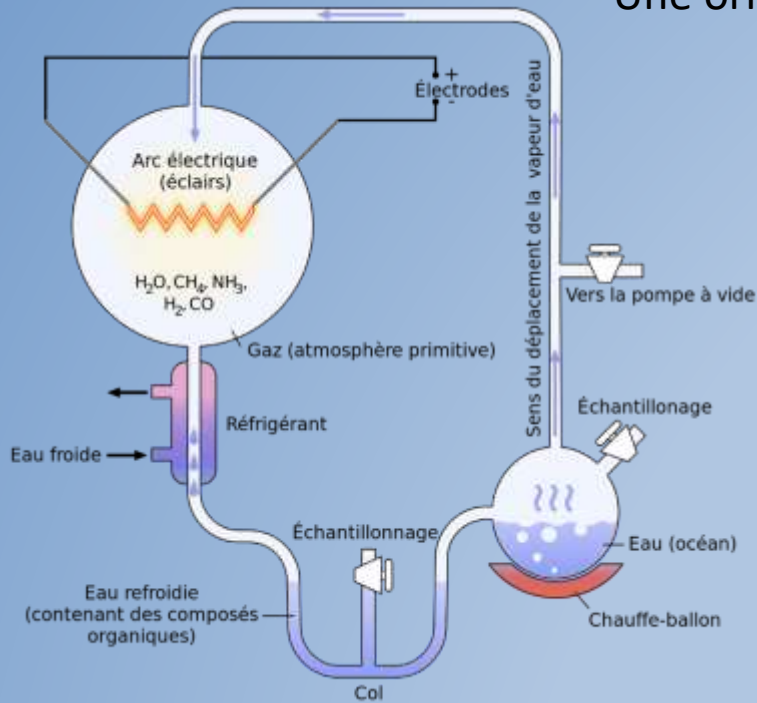
L'atmosphère aurait été formée par le seul dégazage du manteau de la terre, durant les premiers temps de sa formation. Les volcans auraient été beaucoup plus nombreux qu'aujourd'hui.

On a de bonnes raisons de croire que l'atmosphère des premiers temps de la Terre était composée principalement de vapeur d'eau (H_2O), de dioxyde de carbone (CO_2) et d'azote (N_2), avec des quantités mineures de méthane (CH_4), d'ammoniac (NH_3) et de dioxyde de soufre (SO_2),

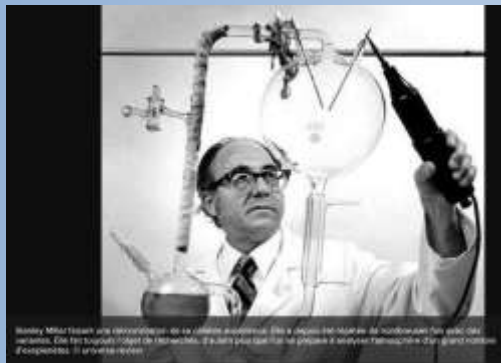


B5 – L'origine endogène des molécules prébiotiques sur Terre

Une origine Terrestre : la soupe primordiale



Miller 1953



Formaldéhyde donne des sucres dont le ribose en faible quantité mais instable.

Alexandre Oparine et John Haldane Miller et Hurey
En 2017 le mélange ionisée par les ondes de choc simulants des impacts d'astéroïdes à permis l'obtention des 4 bases de l'ARN, l'[uracile](#), la [cytosine](#), l'[adénine](#) et la [guanine](#).

<https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/chimie-exobiologie-experience-miller-produit-plus-bases-arn-grace-asteroides-52132/>

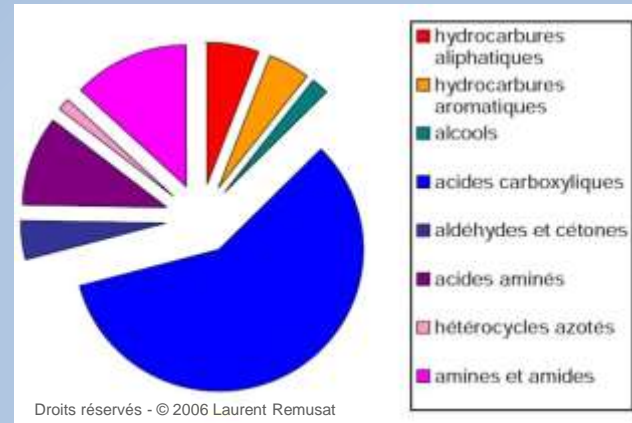
B5 – L'origine exogène des molécules prébiotiques sur Terre

Une origine extraterrestre : un apport par des météorites primitives – les chondrites carbonées



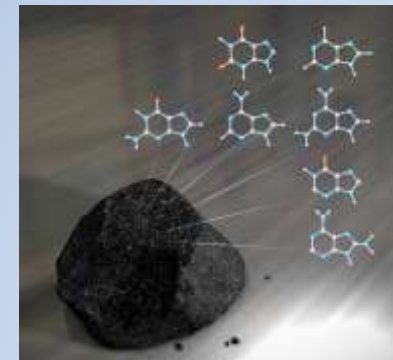
Météorite de Murchinson
tombée le [28 septembre 1969](#) Australie

Alanine L
Isovaline L
Glycine
Pseudoleucine
Acide glutamique



Composés	Concentration (ppm)
Acides aminés	17-82
Hydrocarbures aliphatiques	< 35
Hydrocarbures aromatiques	3 319
Fullérènes	>100
Acides carboxyliques	> 300
Acides hydrocarboxyliques	15
Purines et pyrimidines	1.3
Alcools	11
Acides sulfoniques	68
Acides phosphoniques	2

Adénine
Guanine



Orgueil 1864 Tarn et Garonne

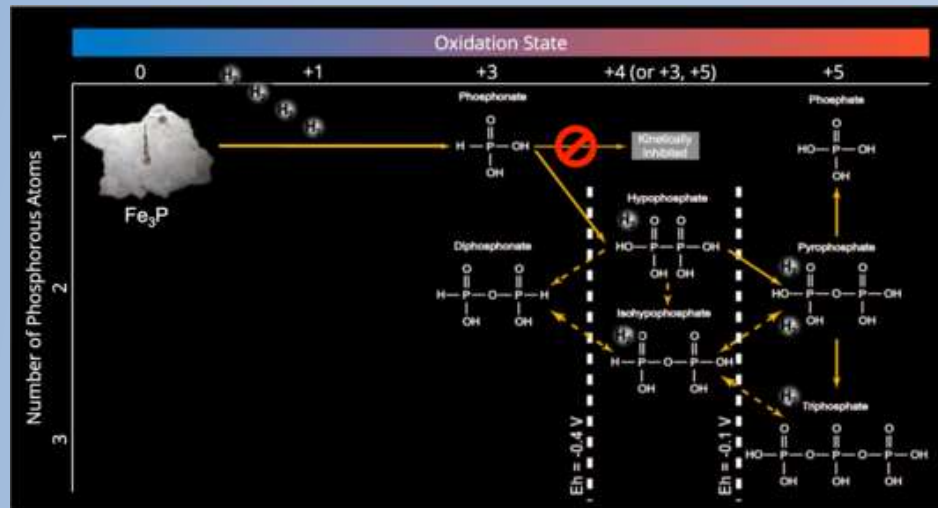
B5 – L'origine exogène des molécules prébiotiques sur Terre – Les dérivés Phosphorés

Météorites => minéral Schreibersite ($\text{Fe,Ni}_3\text{P}$)



This 15cm wide fragment of the Semychan meteorite found in Russia in 1967 is an iron-nickel pallasite. The long filament of dark grey material in the center is schreibersite. IMAGE CREDIT: UNIVERSITY OF SOUTH FLORIDA.

H_2O
 =====> Dérivés phosphorés dont P_2O_7 , intérêt biochimique



B6 – Les traces de la Vie et évolution des espèces

Les scientifiques savent aujourd'hui que la vie est apparue sur Terre de manière assez précoce.

-3,8 Milliards d'années



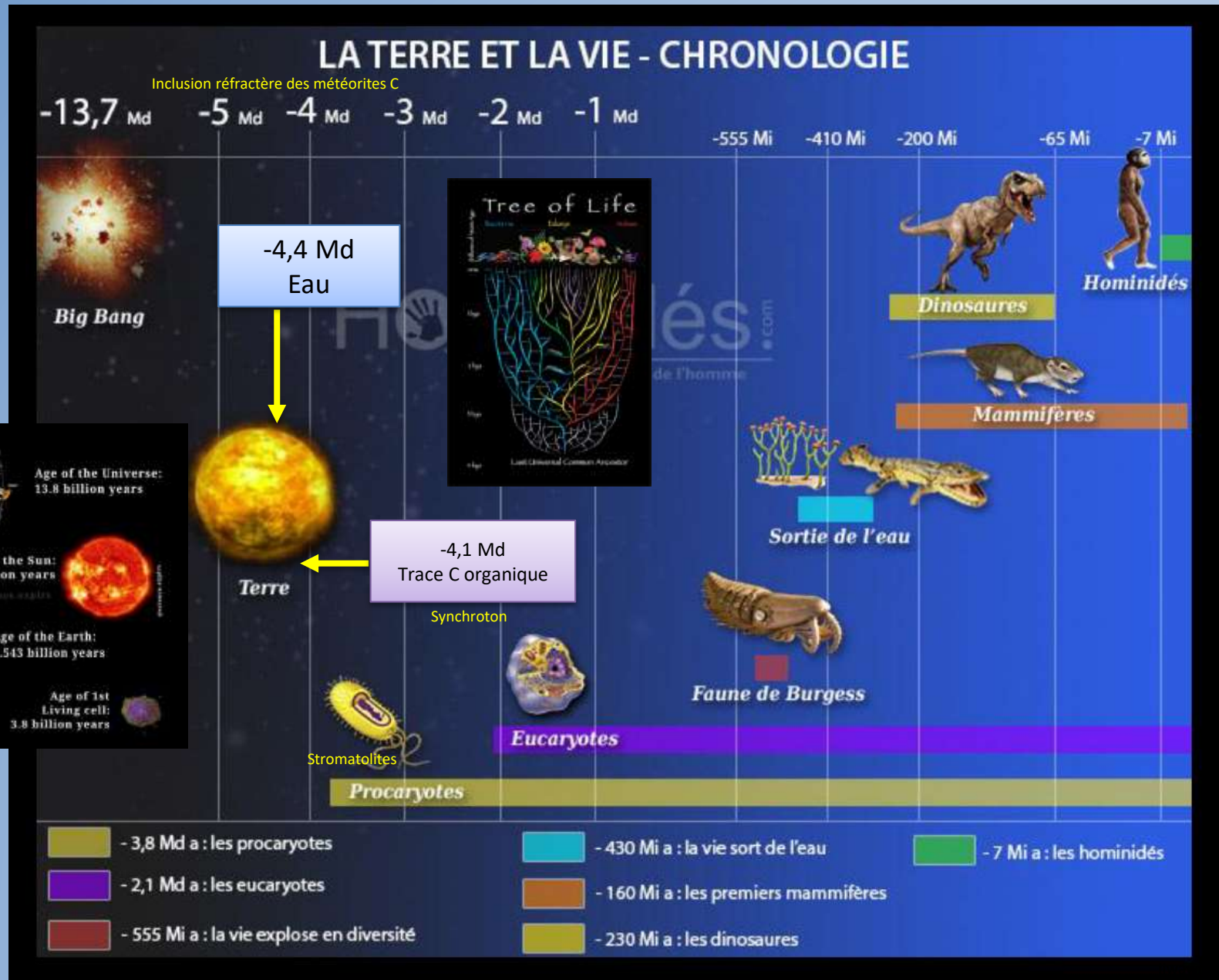
Ces stromatolites sont visibles sur les rives du lac Thetis, en Australie. Ils ont une croissance relativement lente, puisqu'elle est de 0,4 mm par an (mesure faite à Shark Bay, toujours en Australie). © Ruth Ellison, Flickr, cc by nc 2.0



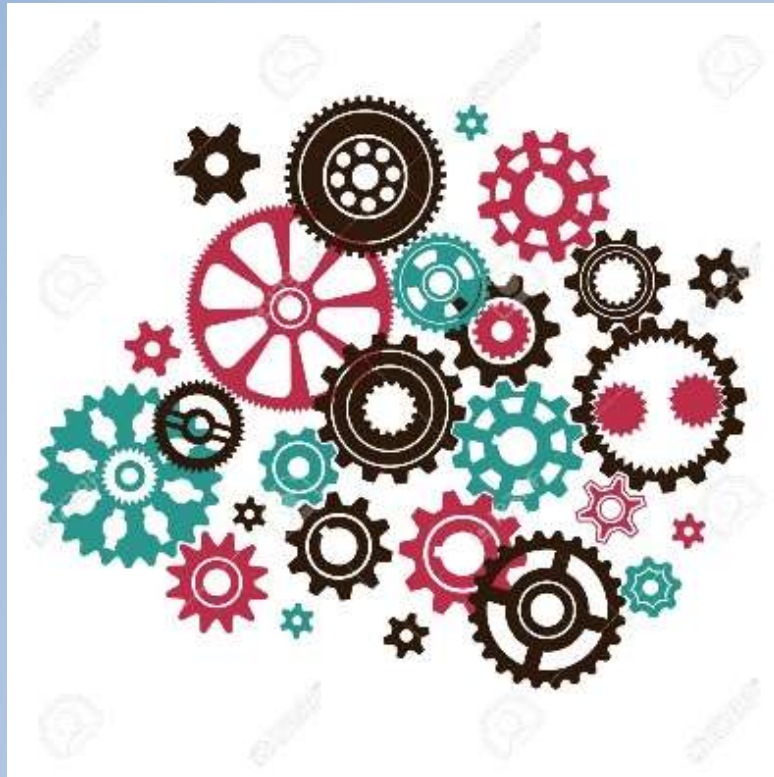
Stromatolites actuels à marée basse (Australie) : chaque couche de carbonate de calcium déposée lors de l'activité microbienne est visible au sommet du champignon



B6 – Les traces de la Vie et l'évolution des espèces



C – Des mécanismes supposés et contributifs



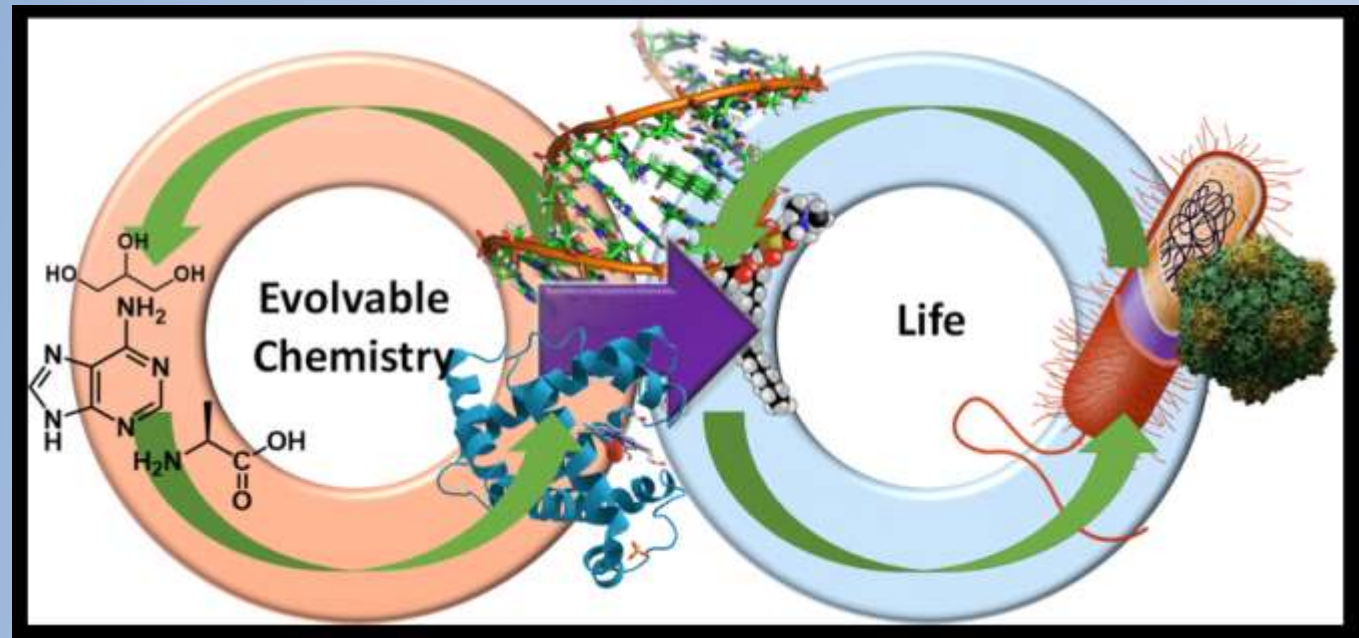
C – Des mécanismes supposés et contributifs

**“What we know is a drop,
what we don't know is an
ocean.”**

Isaac Newton (1643 – 1727)

Les conditions qui ont permis l'émergence de la vie restent encore énigmatiques et très discutées chez les scientifiques. Succession inimaginable d'évènements qui ont conduit à la Vie.

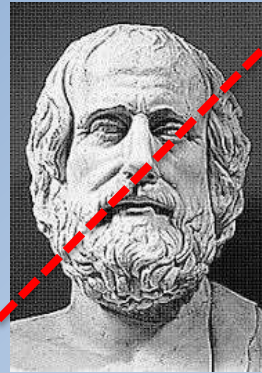
Passage de l'inerte au vivant => flux structurant



C – Des mécanismes supposés et contributifs



Miller-Urey
La soupe primordiale



Anaxagore 2500 ans
Lord Kelvin- Arhénius
La panspermie est « abandonnée »
Les germes ne résisteraient pas !



Métabolisme puis génétique



Feuillets d'argiles
Rassemblent et
orientent morphologiquement

<https://www.futura-sciences.com/sante/actualites/vie-apparition-vie-histoire-argile-mica-13819/>

Scénarii sur les origines de la Vie



Where Did Life First Form on Earth? Complex NASA Hydrothermal Reactor Provides New Evidence

SCIENCE • 10 OCTOBER 2013 • 1111



© NASA/JPL-Caltech. A "black smoker" hydrothermal vent, with white mineral structures and superheated water being emitted from the vent. Located in the East Pacific Rise, 3500 meters below the ocean surface. Credit: NASA/JPL-Caltech.

Niche
Catalyse métallique



ARN => ADN+Protéine

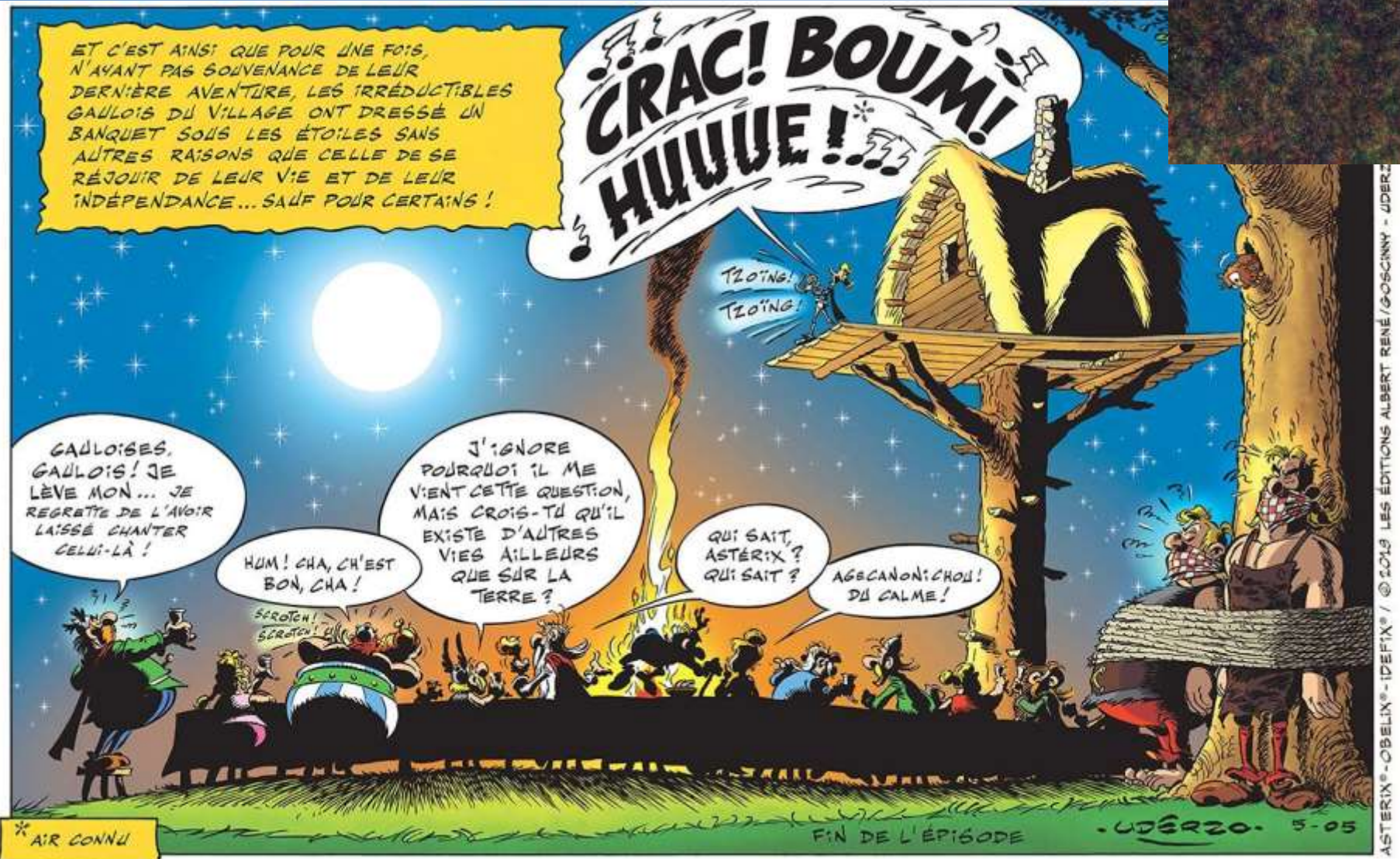
Protection UV et Impacts

<https://www.livescience.com/13363-7-theories-origin-life.html>

D – Sommes nous seuls dans l'Univers ?

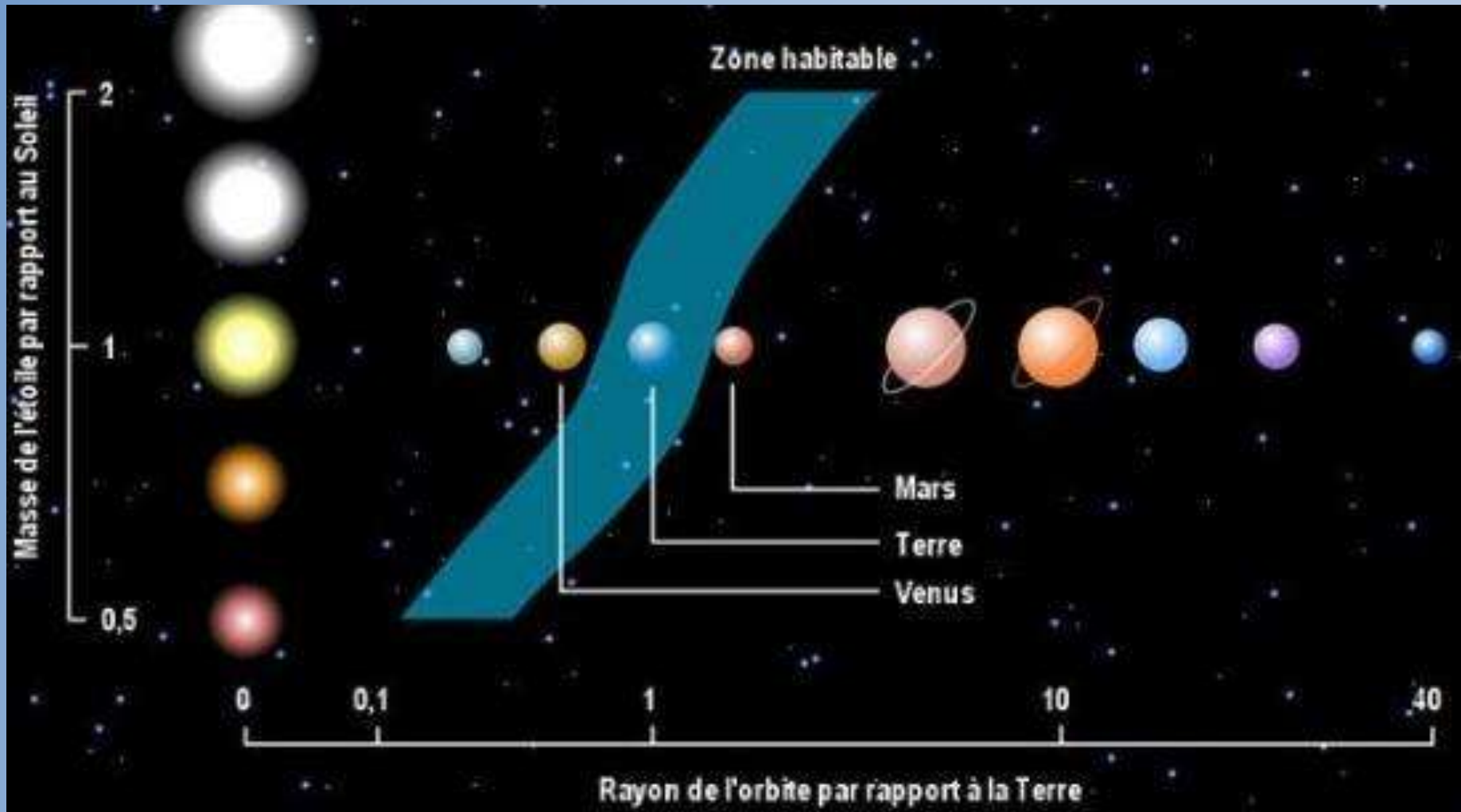
« Il y a un nombre infini de mondes semblables au nôtre et un nombre infini de mondes différents »

Lettre à Hérodoté – Epicure 342 JC



D – Sommes nous seuls dans l'Univers ?

Eau et habitabilité



D – Sommes nous seuls dans l'Univers ?

Des civilisations intelligentes ?

Cette équation a été suggérée par Frank Drake en 1961 afin de tenter d'estimer le nombre potentiel de civilisations extraterrestres dans notre galaxie avec lesquelles nous pourrions entrer en contact.



L'équation de Drake

Nombre de civilisations avec lesquelles nous pourrions entrer en contact

Durée de vie moyenne d'une civilisation

Fraction de planètes abritant une vie capable de communiquer

Fraction de planètes abritant une vie intelligente

$$N = R^* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L$$

Fraction de planètes abritant la vie

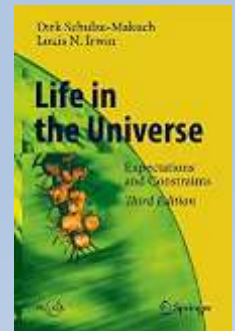
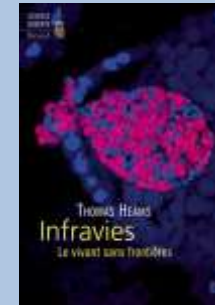
Nombre de planètes propices à la vie

Fraction d'étoiles possédant des planètes

Nombre d'étoiles en formation par an dans la Voie Lactée

cope / NASA

E - Quelques lectures / audios pour aller plus loin



Le nouveau roman de la Terre : Ciel&espace HS - avril/juin 2019

Les astéroïdes : Ciel&espace HS - avril/juin 2020

L'évolution. De l'apparition de la vie à l'homme du futur : Questions Sciences

Xénobiologie, vers d'autres vies : Marie Christine Maurel, Michel Cassé - Odile Jacob sciences

Les origines de la Vie : Marie Christine Maurel – Ed. Le Pommier

Infravies : Thomas Heams – Seuil

Life in the Universe : Dirk Schulze – Springer

Aux sources de la vie : Eric Karsenti - Flammarion

La faim du tigre : Barjavel

La méthode scientifique – France Culture

<https://www.franceculture.fr/emissions/la-methode-scientifique/combien-de-fois-la-vie-est-elle-apparue-sur-terre-0>

<https://www.franceculture.fr/emissions/la-methode-scientifique/eric-karsenti-dans-le-grand-bain-du-vivant>

<https://www.franceculture.fr/emissions/la-methode-scientifique/il-etait-une-fois-lespace-il-etait-une-fois-la-vie>

<https://www.franceculture.fr/emissions/la-methode-scientifique/eric-karsenti-dans-le-grand-bain-du-vivant>

LUCA Dernier ancêtre Commun Universel : <http://edu.mnhn.fr/mod/page/view.php?id=336>

F - Des sites internet



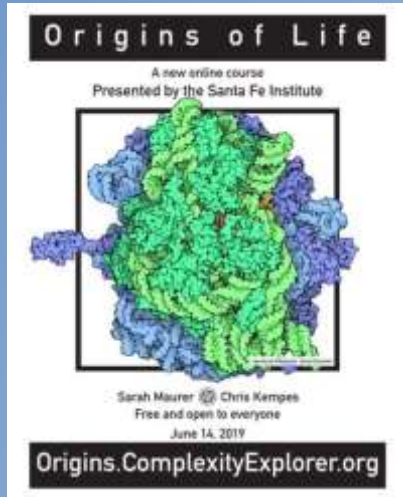
Société Française d'Exobiologie : <http://www.exobiologie.fr/exobiologie/l-exobiologie/enseignement/>

L'institut de Systématique, Evolution, Biodiversité : <http://isyeb.mnhn.fr/fr/annuaire/marie-christine-maurel-4778>

CNRS – Saga Sciences – les origines de la vie : <https://sagascience.com/origines/>



G - Communications/Cours/Consortium



NASA - Origins of Life: Free Online Course : <https://astrobiology.nasa.gov/news/origins-of-life-free-online-course/>

MNHN - A LA RECHERCHE DES PLUS ANCIENNES TRACES DU VIVANT SUR TERRE ET AILLEURS – <https://www.mnhn.fr/fr/visitez/agenda/conference/recherche-plus-anciennes-traces-vivant-terre-ailleurs>

MNHN - LABORIGINS : DES MÉTÉORITES AUX ORIGINES DE LA VIE - <https://www.mnhn.fr/fr/visitez/agenda/evenement/laborigins-meteorites-origines-vie>

De l'Univers moléculaire à l'origine de la Vie – François Lique Prof. Univ. Le Havre UMR 6294 CNRS

Sommes nous seuls dans l'Univers – Vincent Boudon – Dir. Recherches ICB UMR 6303 CNRS

New NASA consortium to study how life began

Posted by Paul Scott Anderson in EARTH | SPACE | February 26, 2019

How did life originate on Earth and, possibly, other worlds in space? A new NASA consortium has the goal of probing one of nature's most perplexing mysteries.

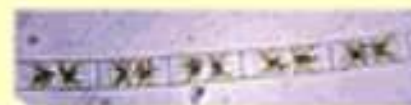
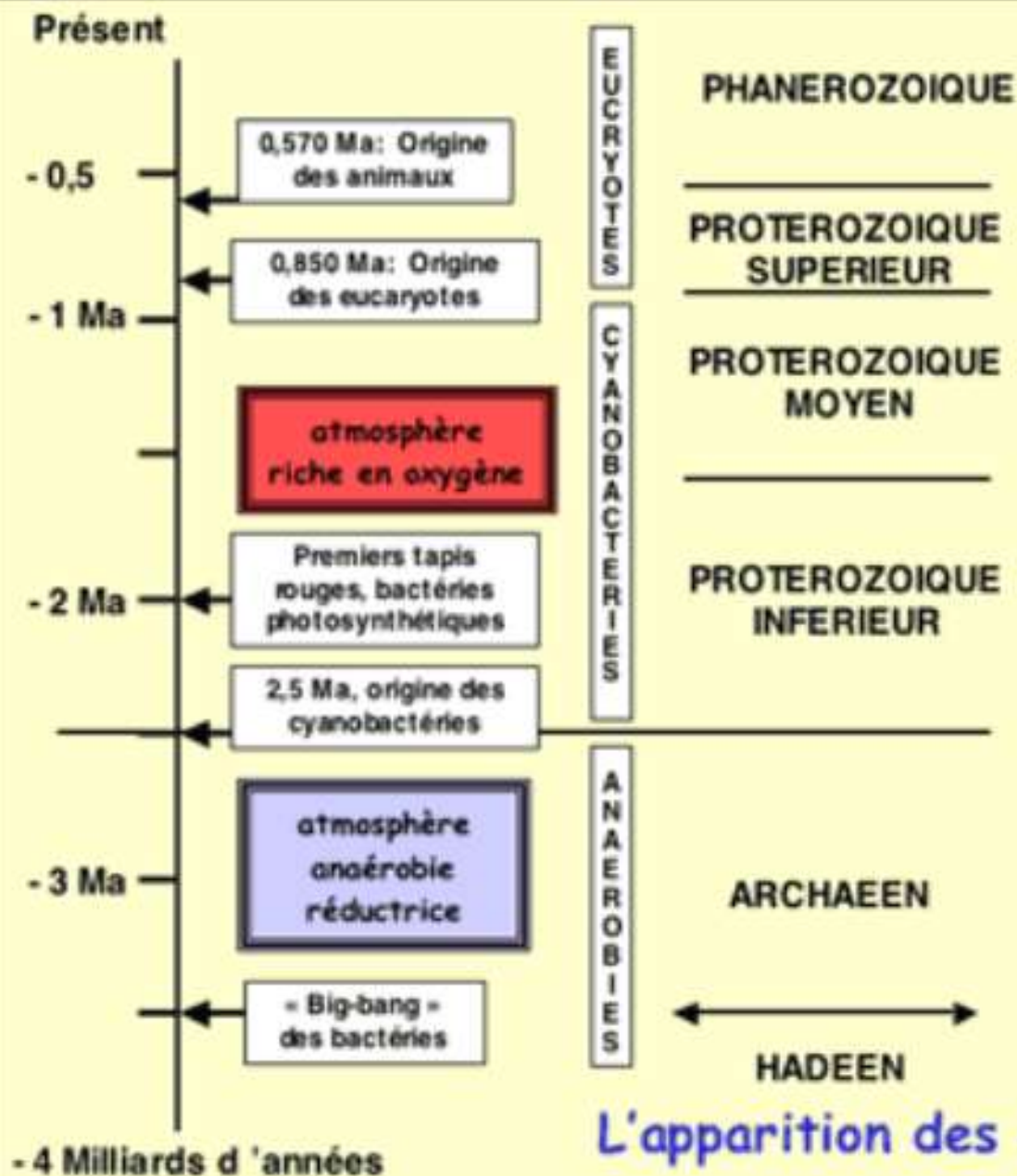


H - Remerciements



« Merci » à Alain, Jean-jacques, Philippe, Anne-Laure, Julien, Abderazak, pour vos conseils,
« Merci » aux auteurs des publications citées,
« Merci » à FuturaSciences, CEA, à Stelvision, l'Université de Lorraine pour les extraits et photos,
« Merci » à Vincent Boudon SAB pour des extraits de son exposé,
« Merci » à Google pour son aimable et active collaboration,
« Merci » à Astérix.





Noyau



Oxygène



L'apparition des organismes vivants