

Introduction à l'astrobiologie



Qu'est ce que la vie ?

Comment est-elle apparue sur la terre ?

Peut-elle se développer ailleurs ?

Pouvons nous communiquer avec des espèces intelligentes extra-terrestres ?

Credit photos : sélection du web- Pascal André – usage privé

- 1- La nature de la vie

Tentative de définition

Notion de cellule , ADN codage du vivant

- 2- la vie dans l'univers

Apparition de la vie sur terre

Zones habitables

- 3- Une forme de vie intelligente dans l'univers ?

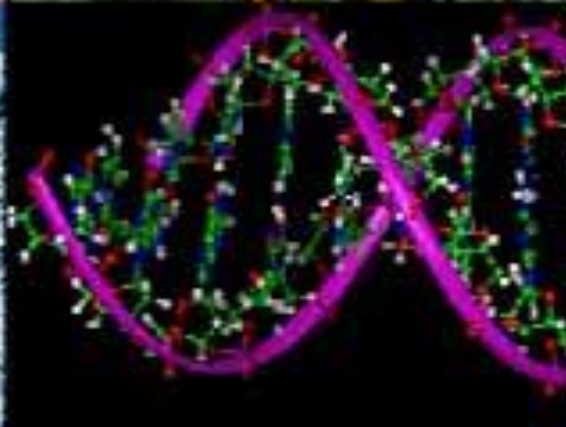
Partie 1 : la nature de la vie



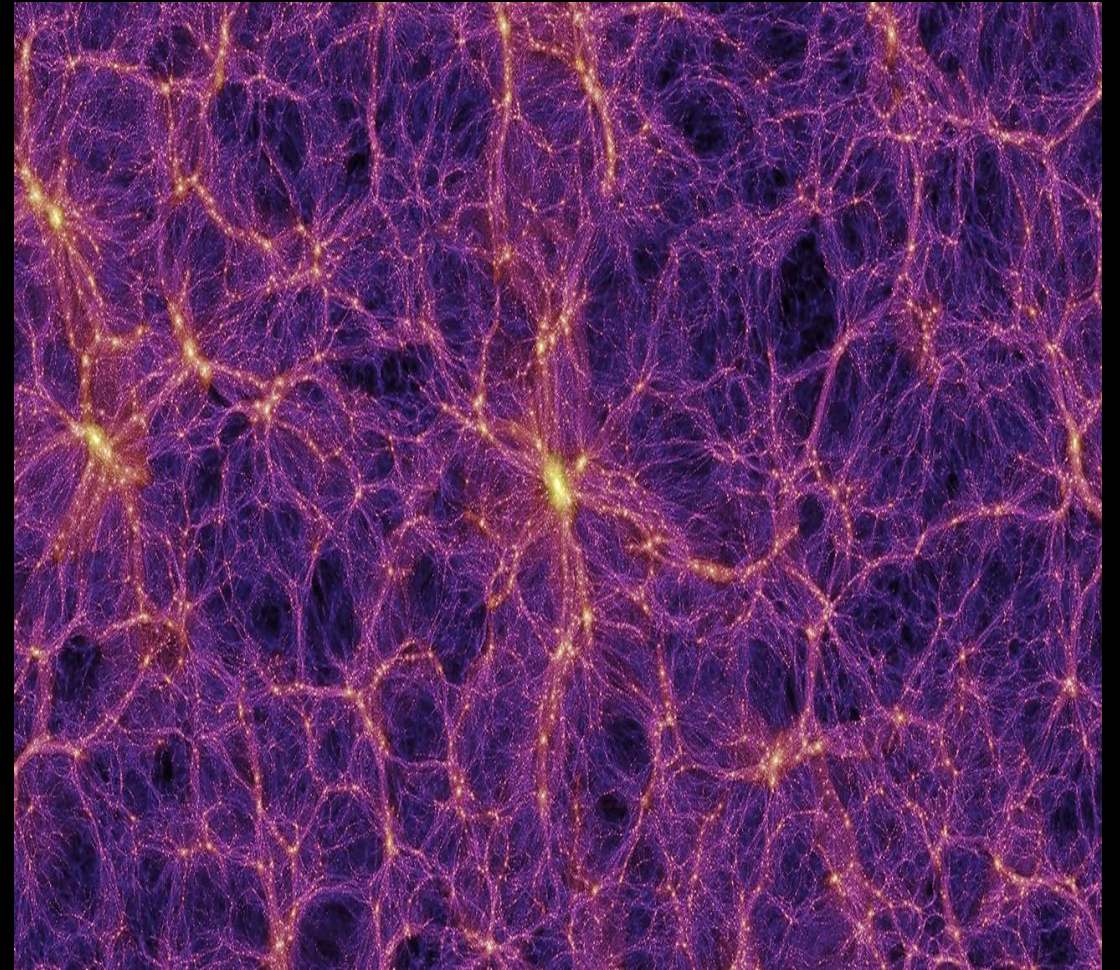
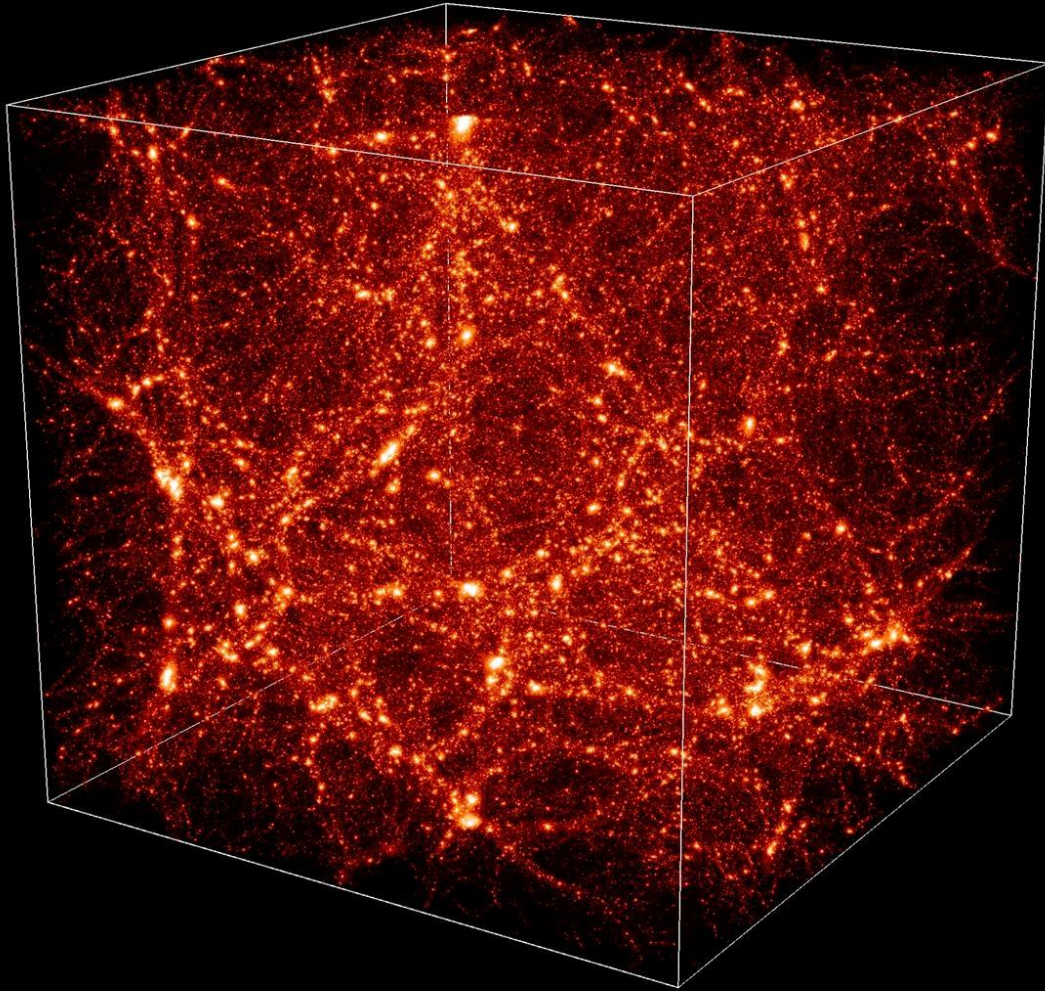
- Un organisme est dit vivant lorsqu'il échange de la matière avec son environnement en conservant son autonomie lorsqu'il se reproduit et évolue par sélection naturelle
- Mais cette définition est insuffisante ...

Les êtres vivants (unicellulaires ou pluricellulaires) partagent des caractéristiques communes

- Une membrane perméable qui le sépare du monde extérieur
- Du matériel génétique (autoréplication)
- Des protéines (structures, catalyseurs,)



L'univers est-il vivant ?

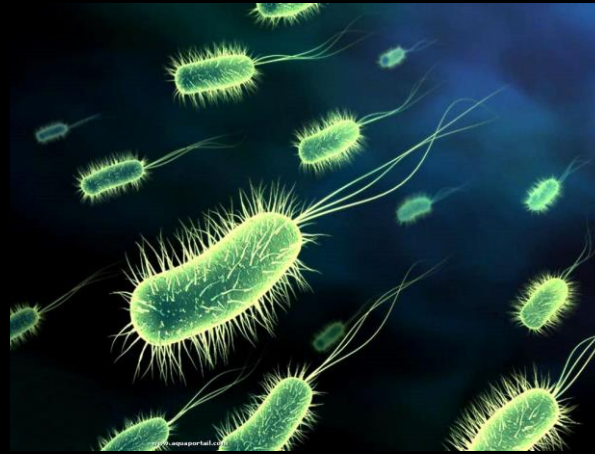


A gauche une modélisation de l'univers à droite image d'un réseau neuronal !

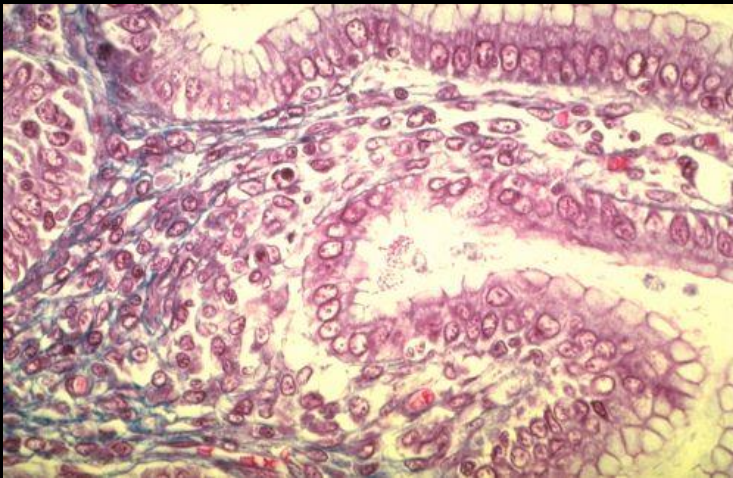
The background of the slide is a microscopic image of various cells, likely from a tissue sample. The cells are stained in shades of blue and yellow, showing different shapes and internal structures. Some cells are large and rounded, while others are smaller and more irregular. The overall appearance is that of a diverse population of living cells.

La Cellule fonde l'unité et la diversité du Vivant

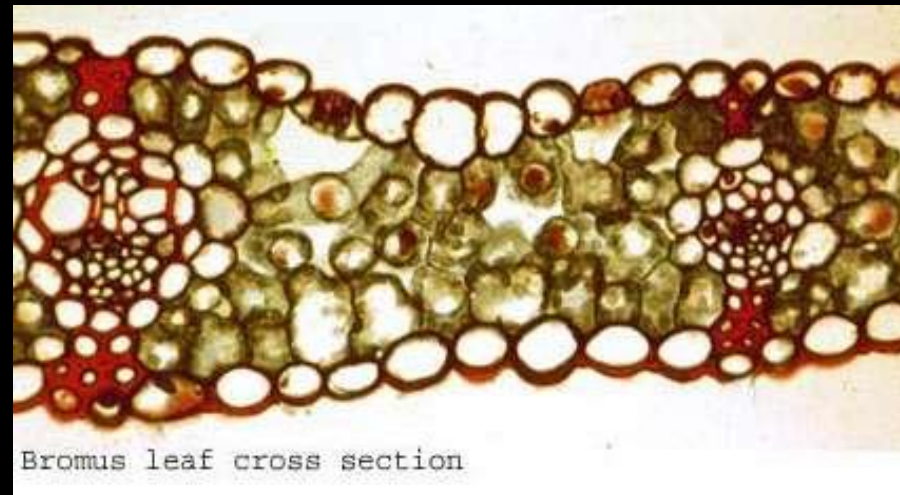
UNICELLULAIRES



PLURICELLULAIRES



Tissus animal



Tissus végétal

Cellule
Tissus
Organes spécialisés



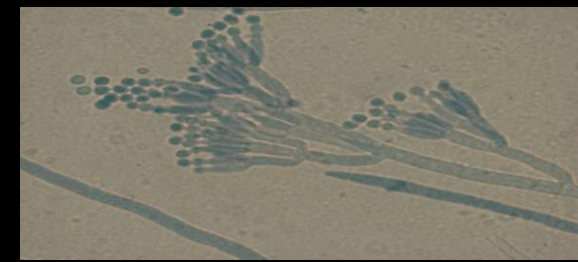
UNICELLULAIRES

ANIMAUX

VEGETAUX

CHAMPIGNONS

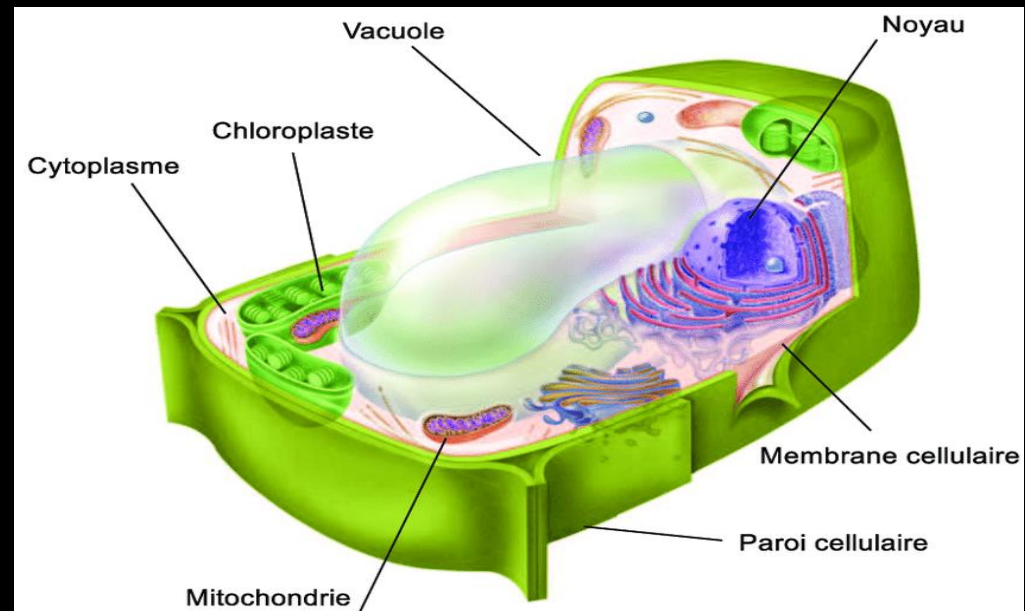
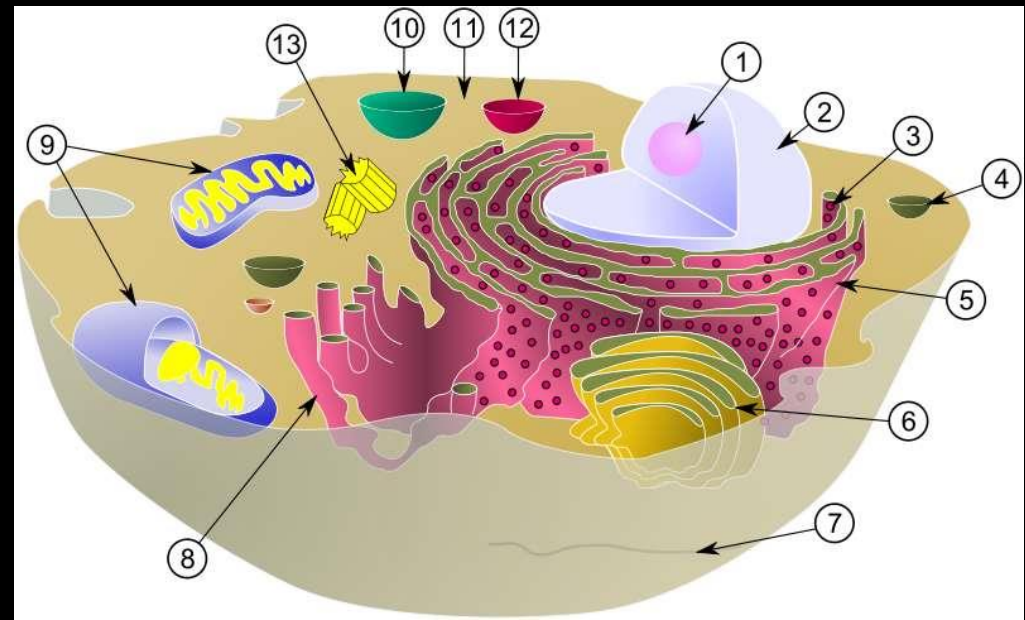
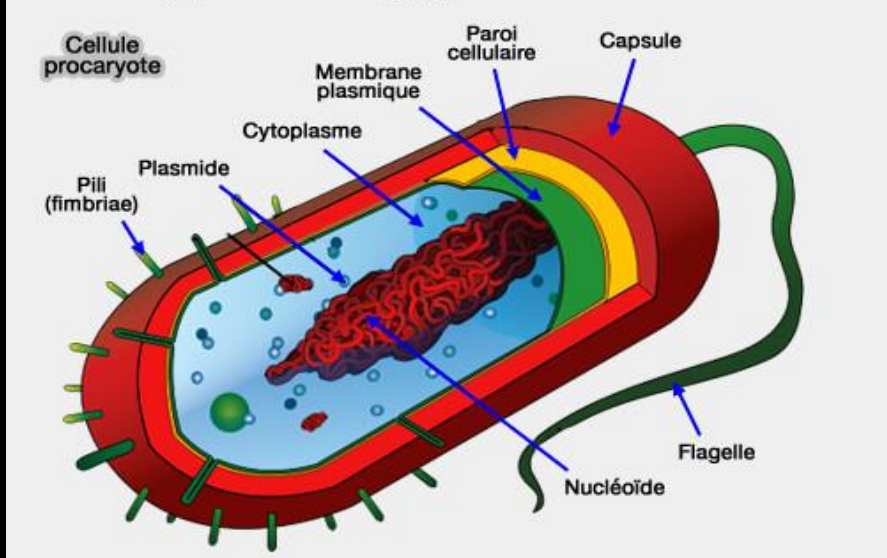
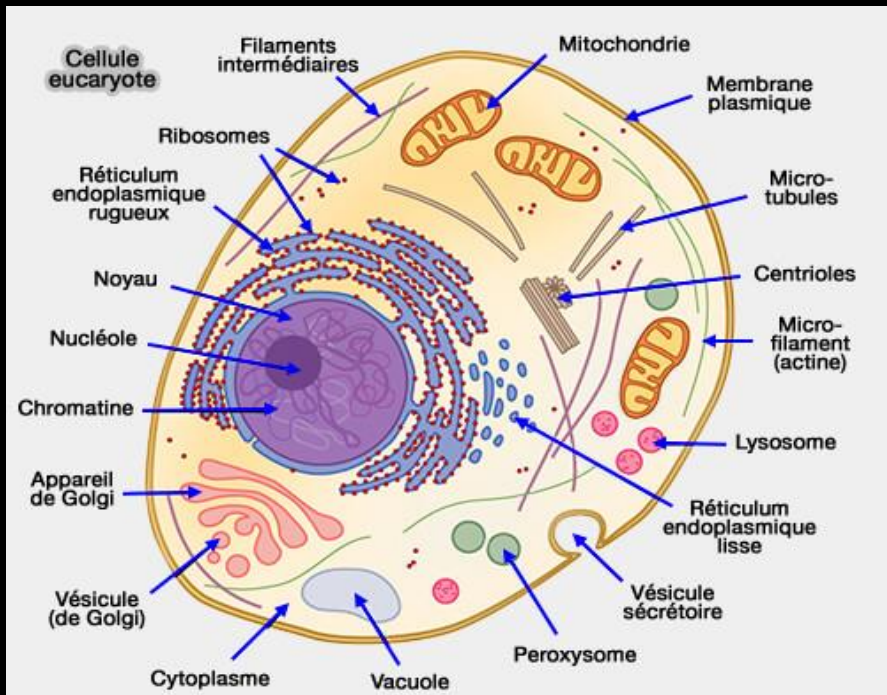
PLURICELLULAIRES



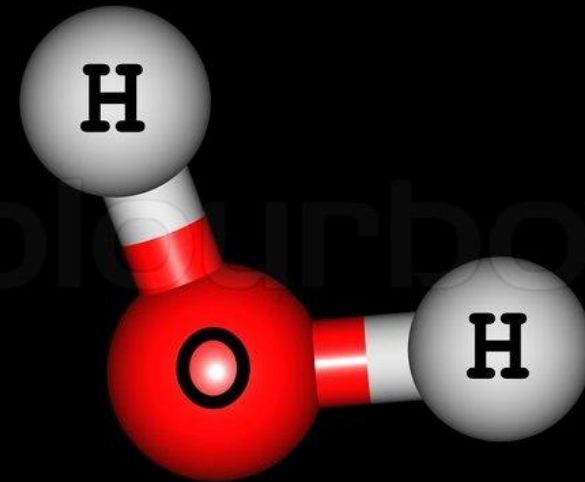
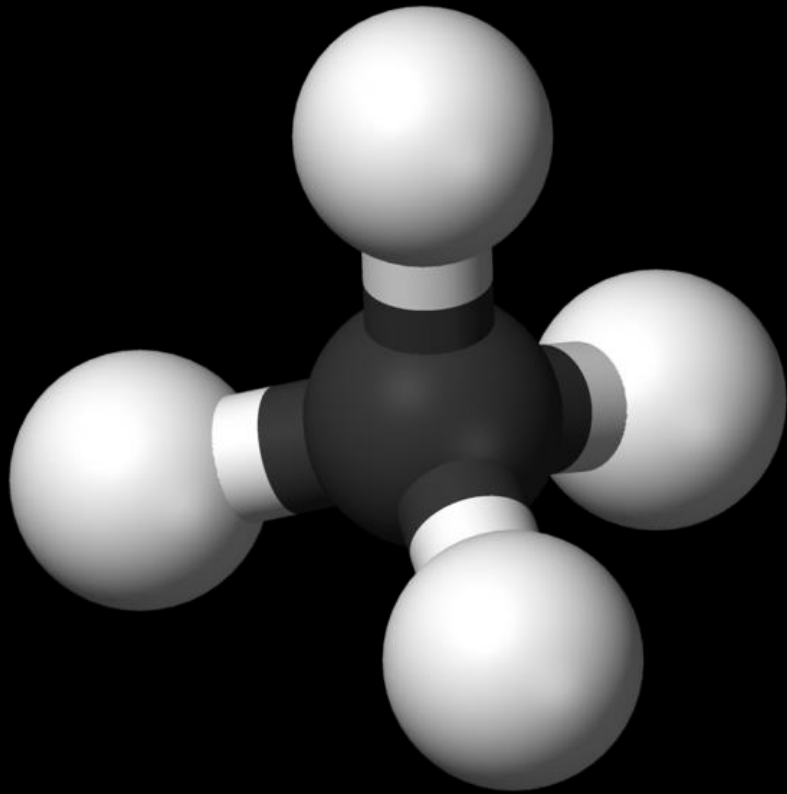
Micro



Macro

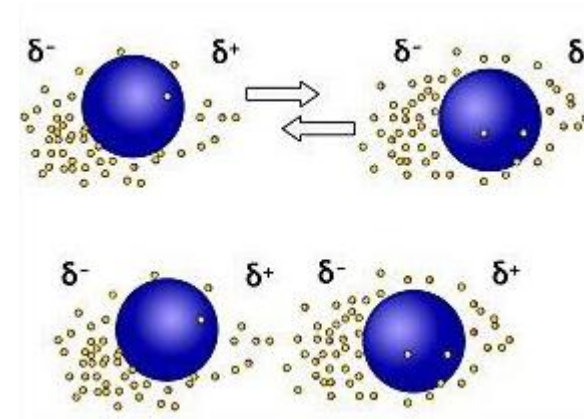
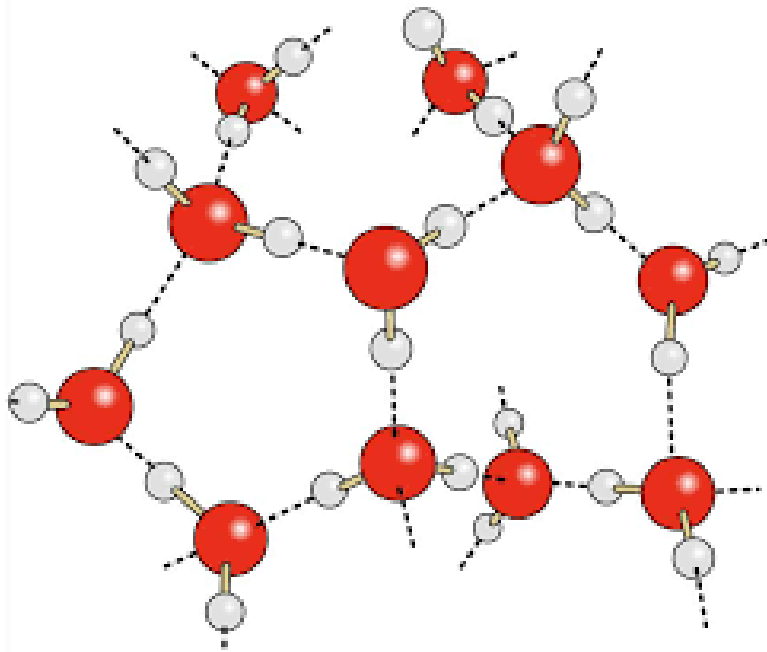


Du carbone et de l'eau



Il existe plus de 70 propriétés de l'eau (point de fusion, densité, capacité calorifique, etc.) qui, prises ensemble, diffèrent de celles de la plupart des liquides. Ces propriétés anormales de l'eau sont une condition préalable à la vie telle que nous la connaissons. Pourtant, personne ne comprend très bien leurs origines.

Notion de liaisons faibles ex Liaison Hydrogène de l'eau

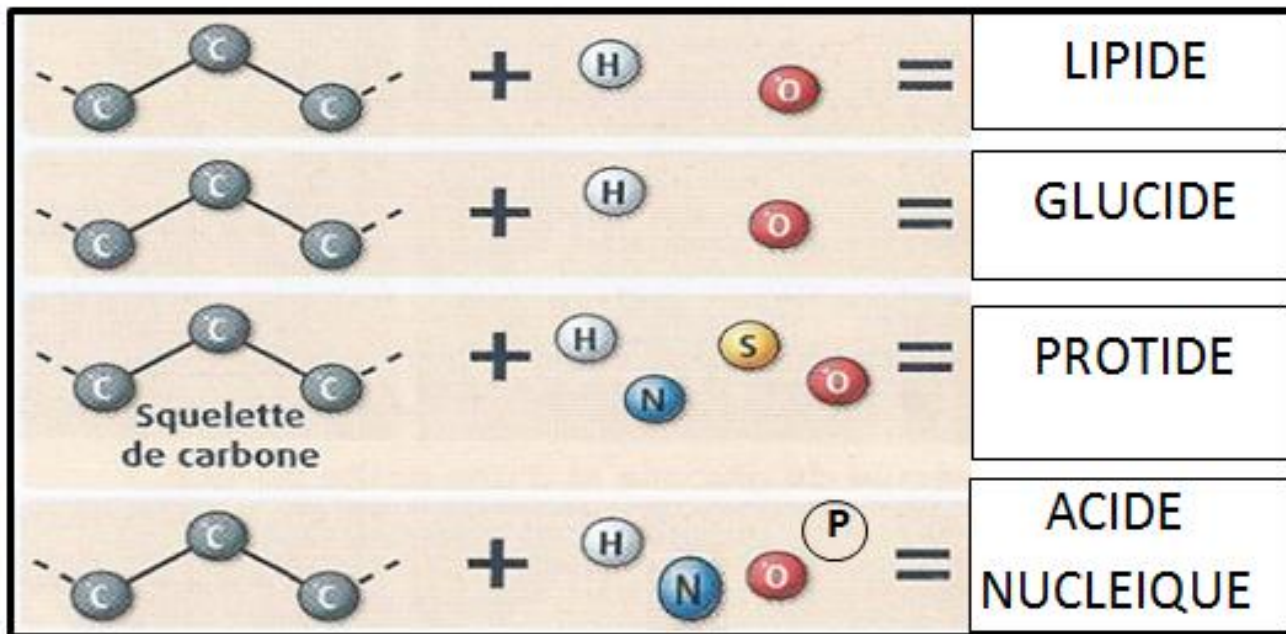
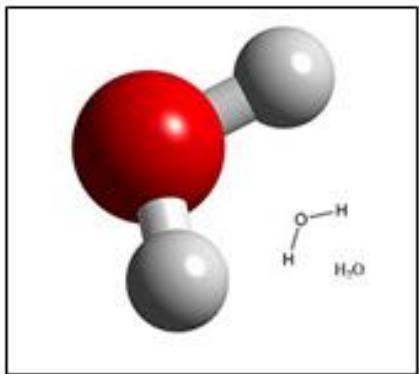


Liaisons de Van der Waals

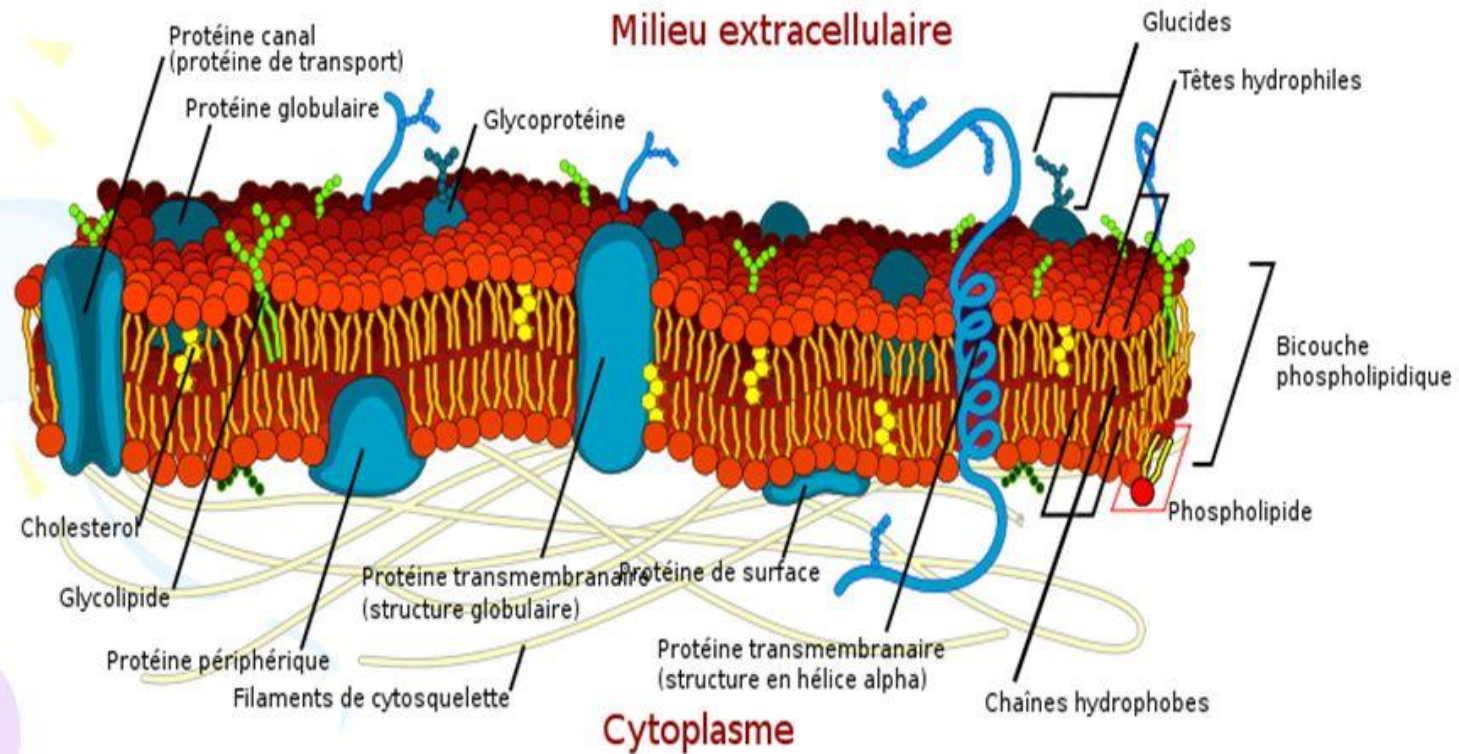
Interaction faible nuages électronique

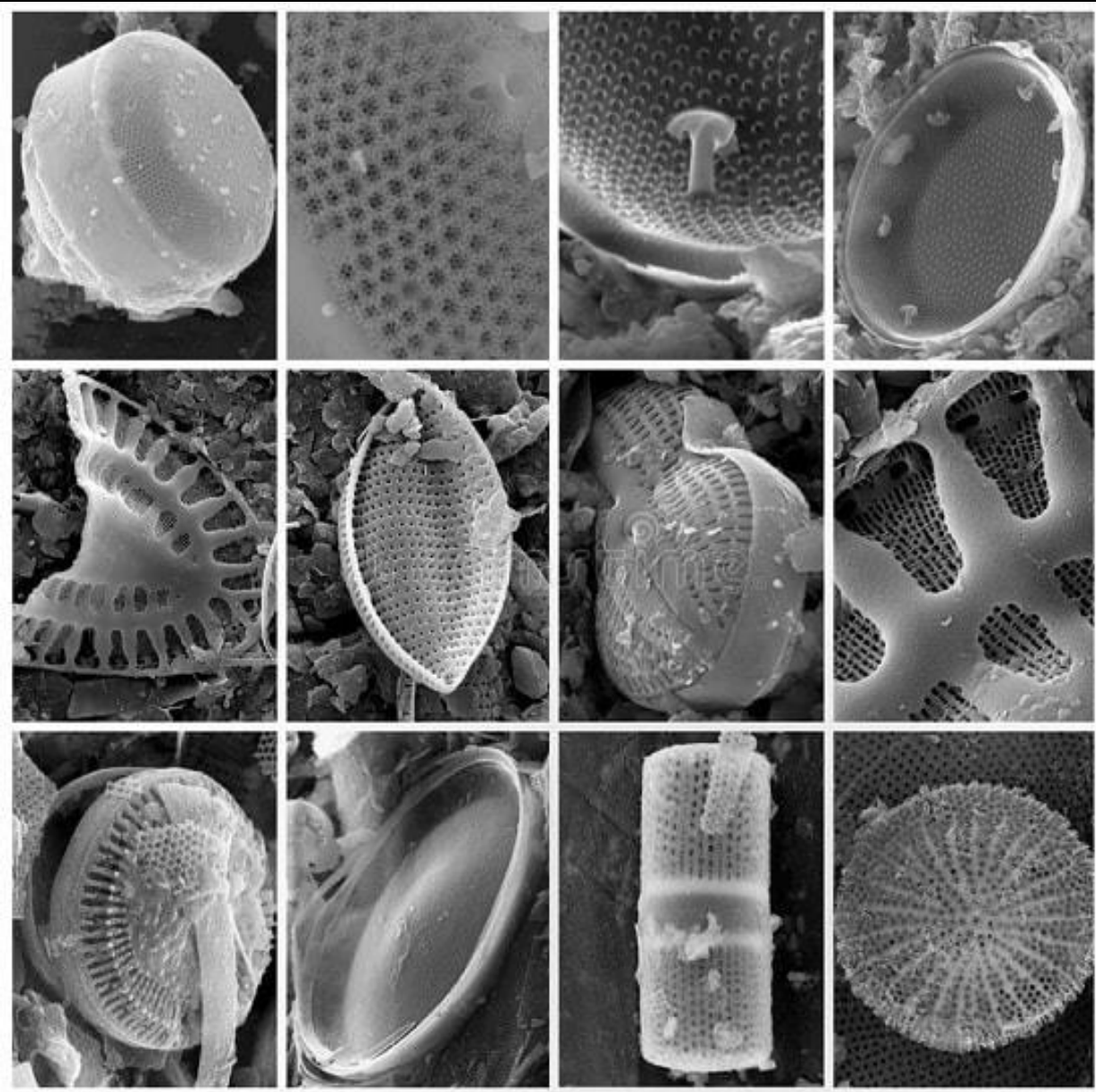
Liaison H cas particulier de V d W

Liaisons hydrophobes



La membrane plasmique





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

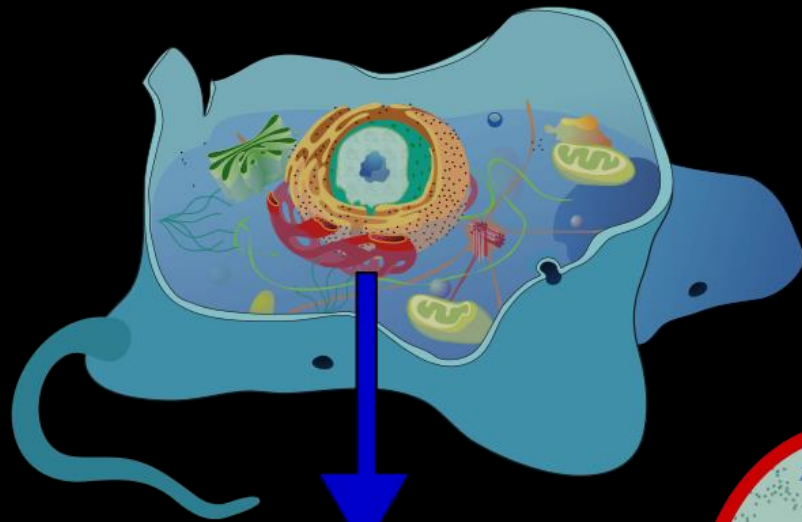
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>55.845 762.5 1.83 26 Fe Fer [Ar] 3d⁶ 4s²</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>13 B Bore</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>14 C Carbone</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>15 N Azote</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>16 O Oxygène</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>17 F Fluor</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>18 Ne Neon</p> </div> </div>																																																																																																							
1 H Hydrogène	2 He Hélium	3 Li Lithium	4 Be Béryllium	5 B Bore	6 C Carbone	7 N Azote	8 O Oxygène	9 F Fluor	10 Ne Neon	11 Na Sodium	12 Mg Magnésium	13 Al Aluminium	14 Si Silicium	15 P Phosphore	16 S Soufre	17 Cl Chlore	18 Ar Argon	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	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 Paladium	47 Ag Argent	48 Cd Cadmium	49 In Indium	50 Sn Étain	51 Sb Antimoine	52 Te Tellure	53 I Iode	54 Xe Xénon	55 Cs Césium	56 Ba Baryum	57 La Lanthane	58 Ce Cérite	59 Pr Praseodyme	60 Nd Néodyme	61 Pm Prométhée	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 Lutécium	72 Hf Hafnium	73 Ta Tungstène	74 W Wolfram	75 Re Rhenium	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 Astatine	86 Rn Radon	87 Fr Francium	88 Ra Radium	89 Lr Lutécium	103 Rf Rutherfordium	104 Db Dubnium	105 Sg Seaborgium	106 Bh Bohrium	107 Hs Hassium	108 Mt Meitnerium	109 Ds Darmstadtium	110 Rg Roentgenium	111 Cn Copernicium	112 Uut Ununbium	113 Fl Flerovium	114 Uup Ununpentium	115 Lv Livermorium	116 Uus Ununseptium	117 Uuo Ununoctium

Silicium proche du Carbone mais assemblages chimiques plus difficiles
 Eau = composé avec des propriétés exceptionnelles (résistance à la chaleur, polarité) > Met-OH ?
 Science fiction : vie basée sur des champs magnétiques, gaz ionisés ???
 Couple Carbone /Eau reste le mieux placé

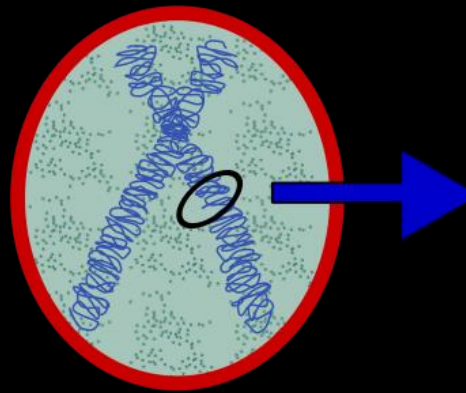
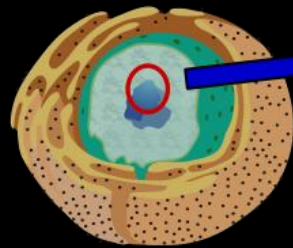
L'ADN recueil des recettes chimiques du vivant



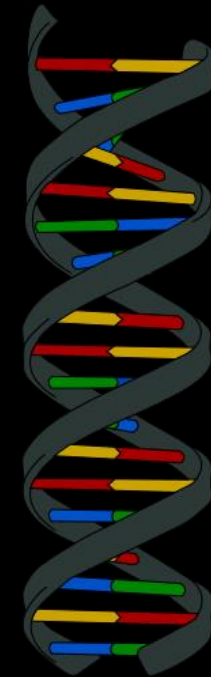
Cellule



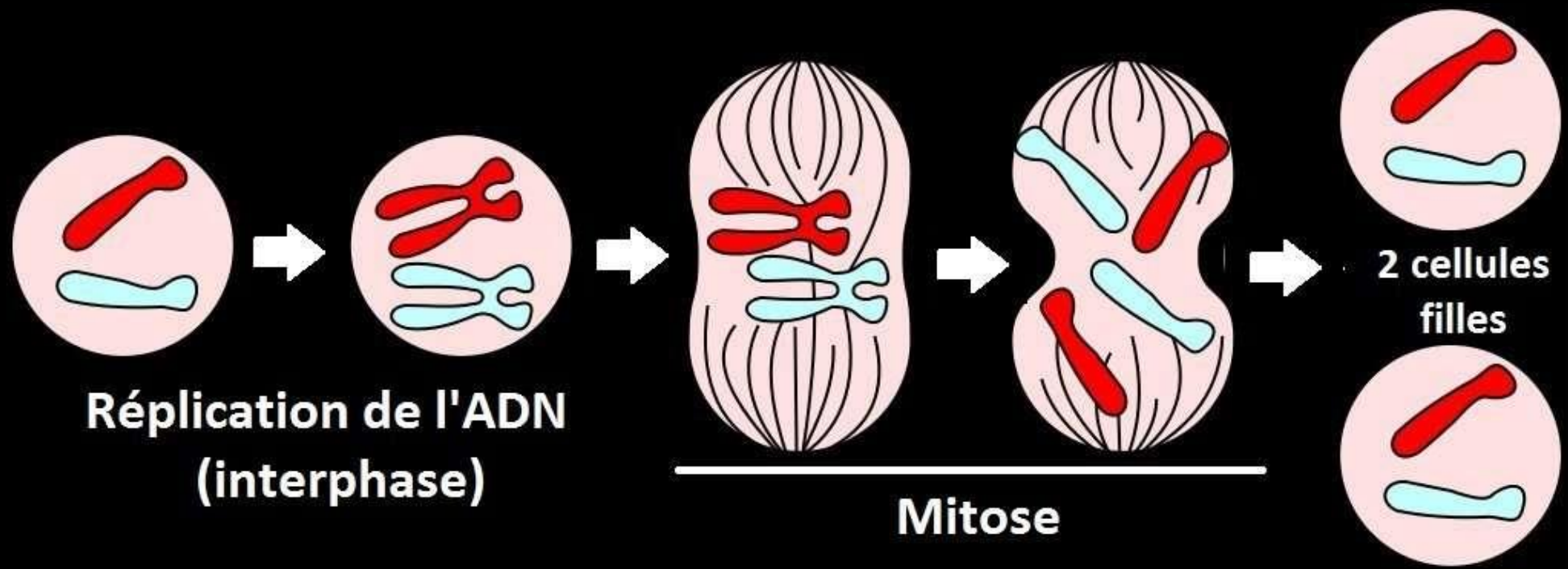
Noyau



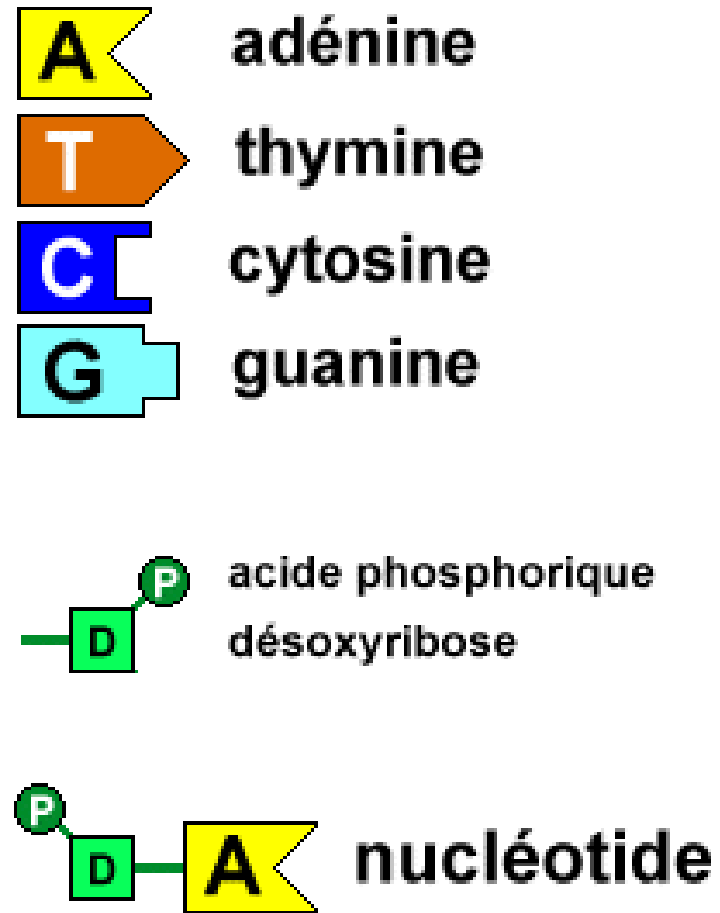
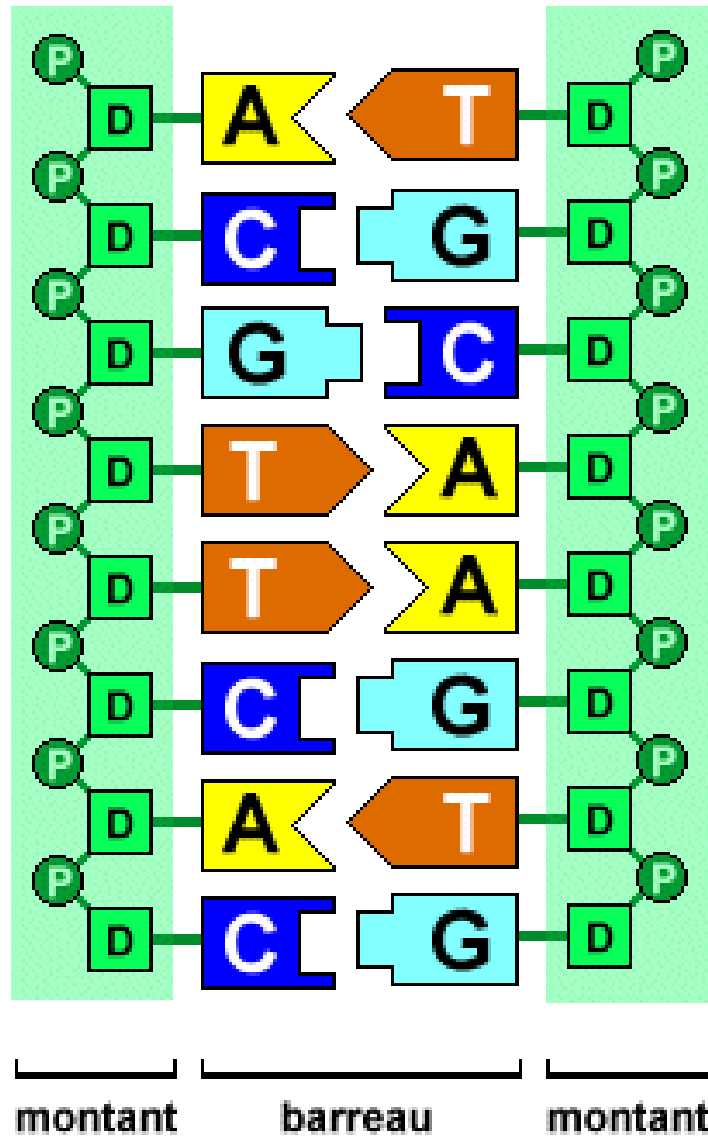
Gènes (Chromosomes)



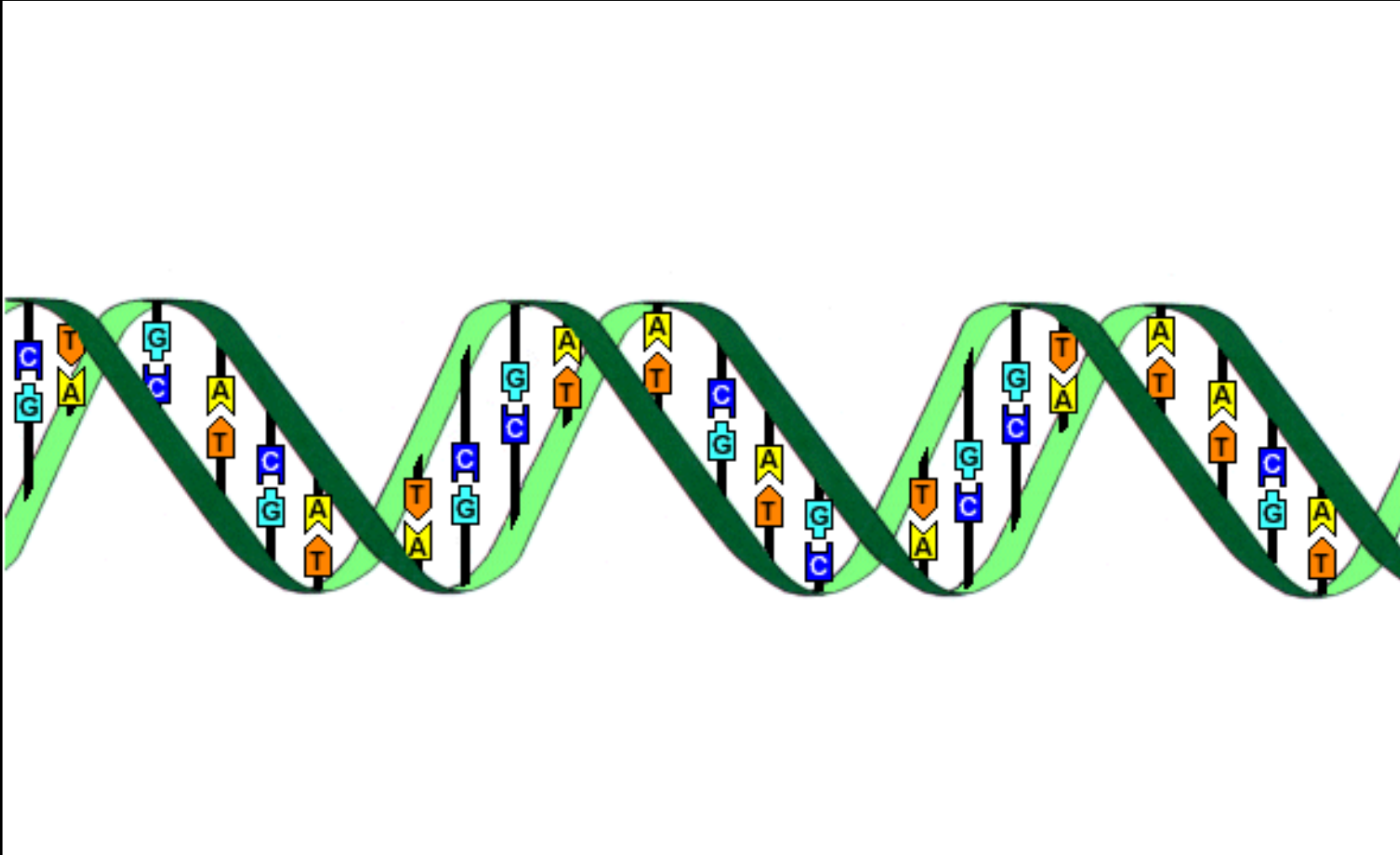
ADN

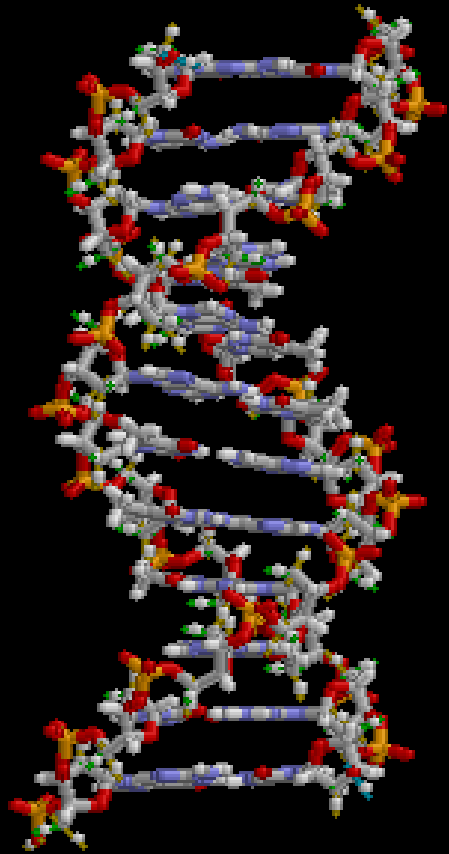


4,5 Milliards de bases composent l'ADN Humain



Le couplage des bases A avec T et G avec C permet la réparation et la duplication du précieux matériel génétique





Vue 3D montrant le petit sillon (1nm)
et le grand sillon (#2nm)

Liaisons covalentes sur les montants de l'échelle
et l'accrochage du ½ barreau sur le montant

3 Liaisons H entre G et C

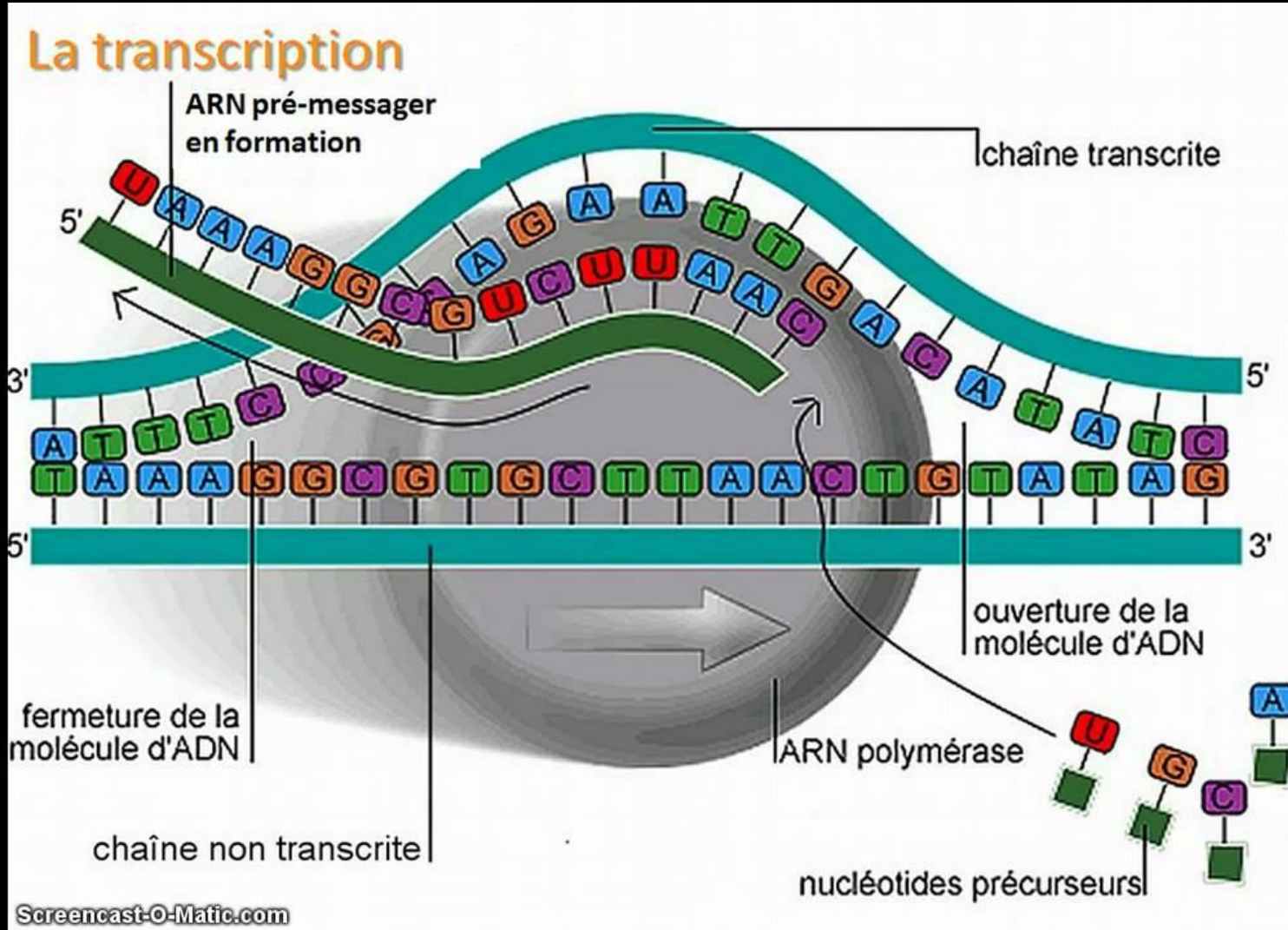
2 Liaisons H entre A et T

A, G bases Longues 2 hétérocycles (purique)

G, C bases Courtes 1 hétérocycle (Pyrimidique)

Vivant : cohabitation d'interactions fortes (intégrité) et
D'interactions faibles (chimie à faible énergie, plasticité)

L'ARN messenger note sur le post-it la recette protégée dans le bunker du noyau cellulaire
Cette copie parfois infidèle, comporte des variantes de recette de fabrication chimique



L'ARN messenger
A-U (U remplace T de l'ADN)
G-C

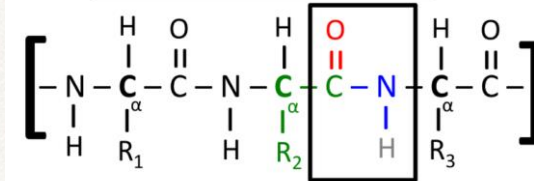
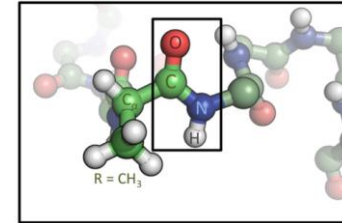
ACIDES AMINÉS

ESSENTIELS

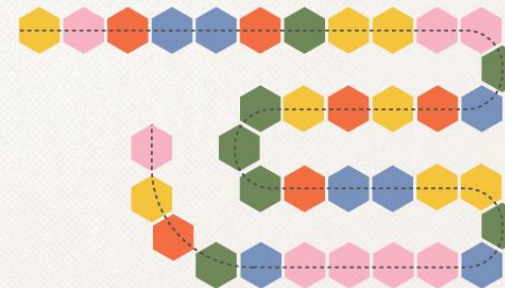
NON ESSENTIELS



*protéines des structures
protéines de transport :,
protéines régulatrices,,
protéines de signalisation
protéines motrices,*



PROTEÏNE



Un acide aminé essentiel ou indispensable, est un acide aminé qui ne peut être synthétisé de novo par l'organisme ou qui est synthétisé à une vitesse insuffisante, et doit donc être apporté par l'alimentation, condition nécessaire au bon fonctionnement de l'organisme. [Wikipédia](https://fr.wikipedia.org/wiki/Acide_amin%C3%A9_essentiel)

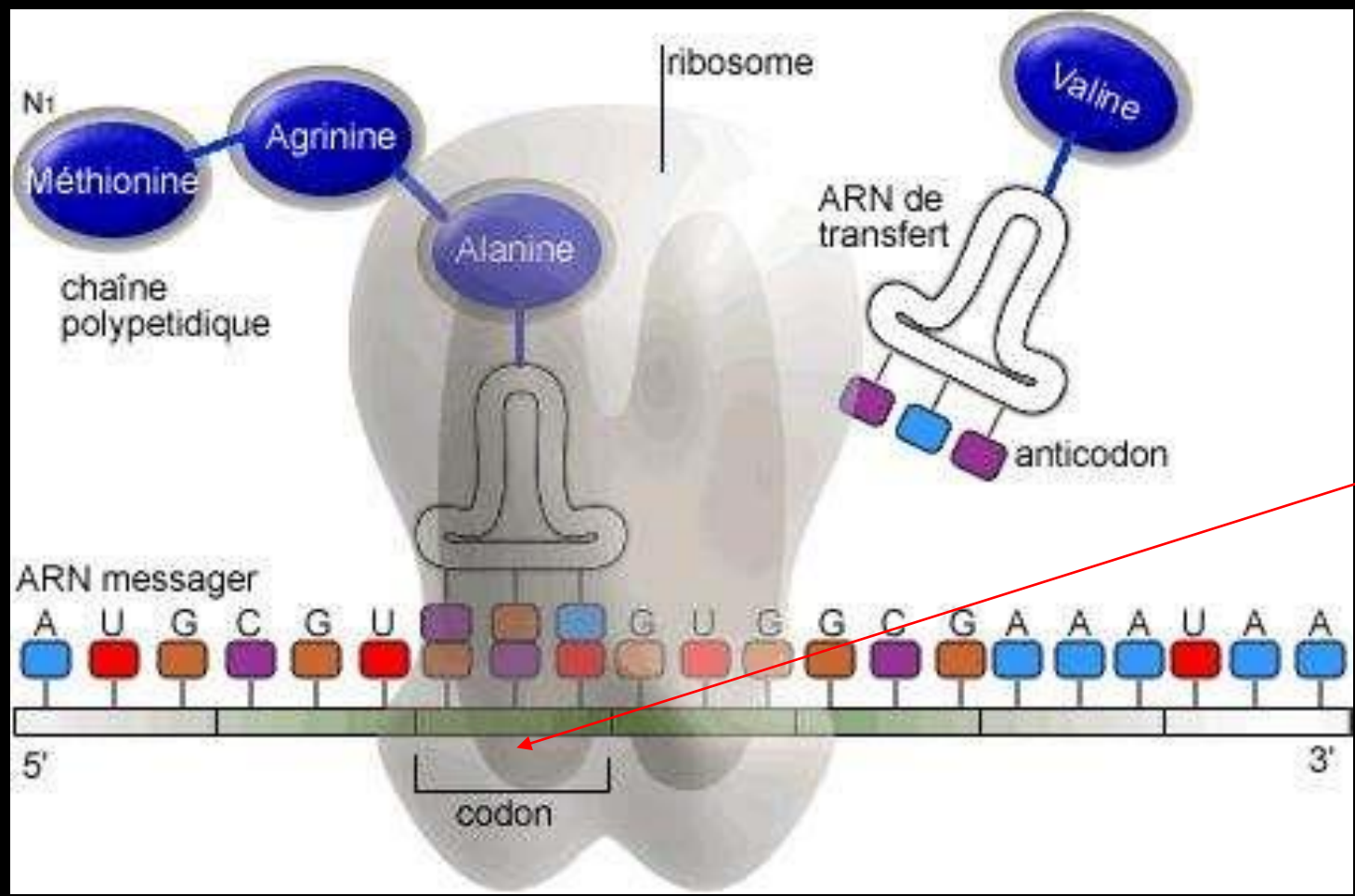
Comment coder 20 acides aminés avec 4 Bases (A,U,G,C) ?
 Un codage sur 3 bits $4 \times 4 \times 4 = 64$ combinaisons

Le code génétique
 Deuxième nucléotide

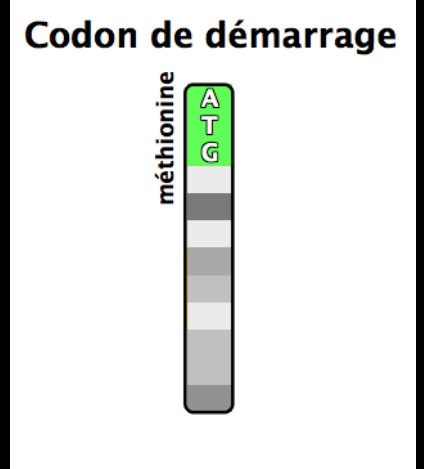
		Deuxième nucléotide								
		U	C	A	G					
Premier nucléotide	U	UUU	phényl-alanine	UCU	sérine	UAU	tyrosine	UGU	cystéine	Troisième nucléotide
		UUC		UCC		UAC		UGC		
	UUA	leucine	UCA	UAA		STOP	UGA	tryptophane		
	UUG		UCG	UAG			UGG			
C	CUU	leucine	CCU	proline	CAU	histidine	CGU	arginine		
					CAC		CGC			
					CAA	glutamine	CGA			
					CAG		CGG			
A	AUU	isoleucine	ACU	thréonine	AAU	asparagine	AGU	sérine		
					AUC		AAC		AGC	
					AUA	AAA	lysine	AGA	arginine	
	AUG	méthionine	AAG		AGG					
G	GUU	valine	GCU	alanine	GAU	acide aspartique	GGU	glycine		
					GAC		GGC			
					GAA	acide glutamique	GGA			
					GAG		GGG			

Universel (plantes
 animaux, bactéries,
 virus)
 Sécurisé – Redondant
 Evolutif

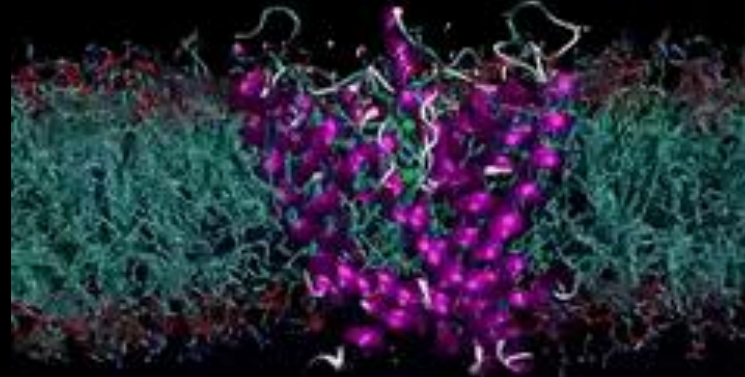
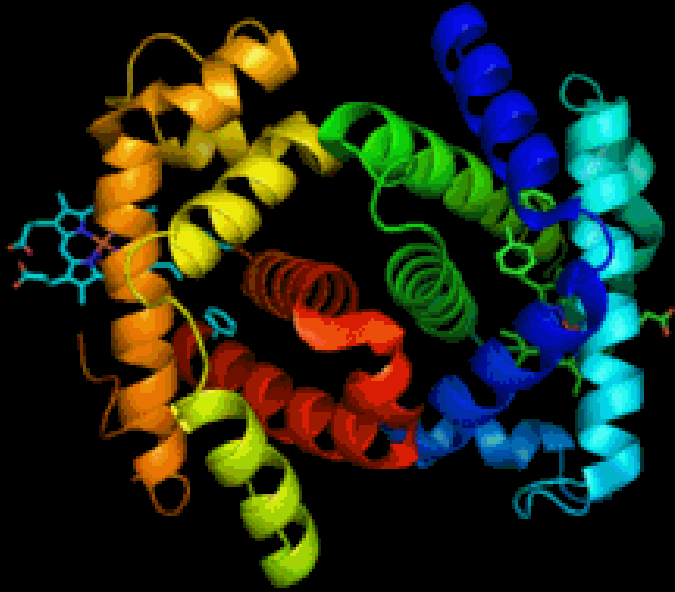
La traduction ARNm en séquence d'Acides aminés qui constitueront les protéines



GCU	alanine
GCC	
GCA	
GCG	



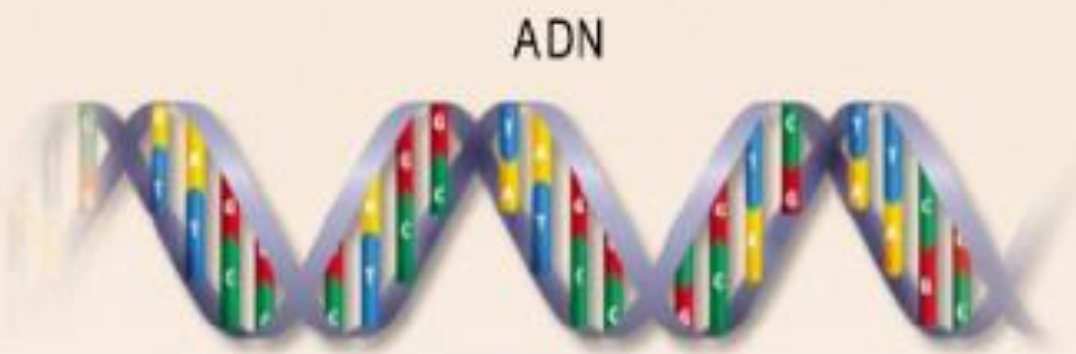
Et voila le travail : à gauche de la bonne hémoglobine pour transporter l'oxygène , ...



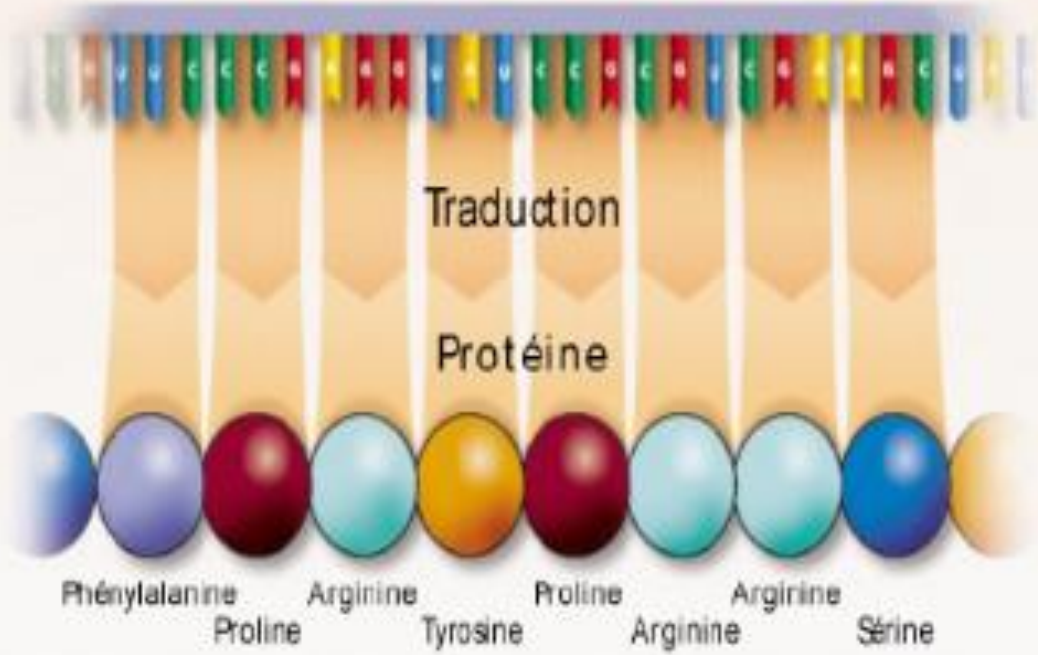
ADN
Un alphabet unique à 4 lettres : les bases, A, T, G, C



PROTEÏNE
Un enchaînement à partir de 20 acides aminés



Transcription
ARN messenger



Modification de l'information génétique

Le processus par lequel la vie s'adapte aux changements d'environnement est appelé évolution biologique ; cette évolution conditionne la survie de l'espèce

Variantes de recette (introns exons)

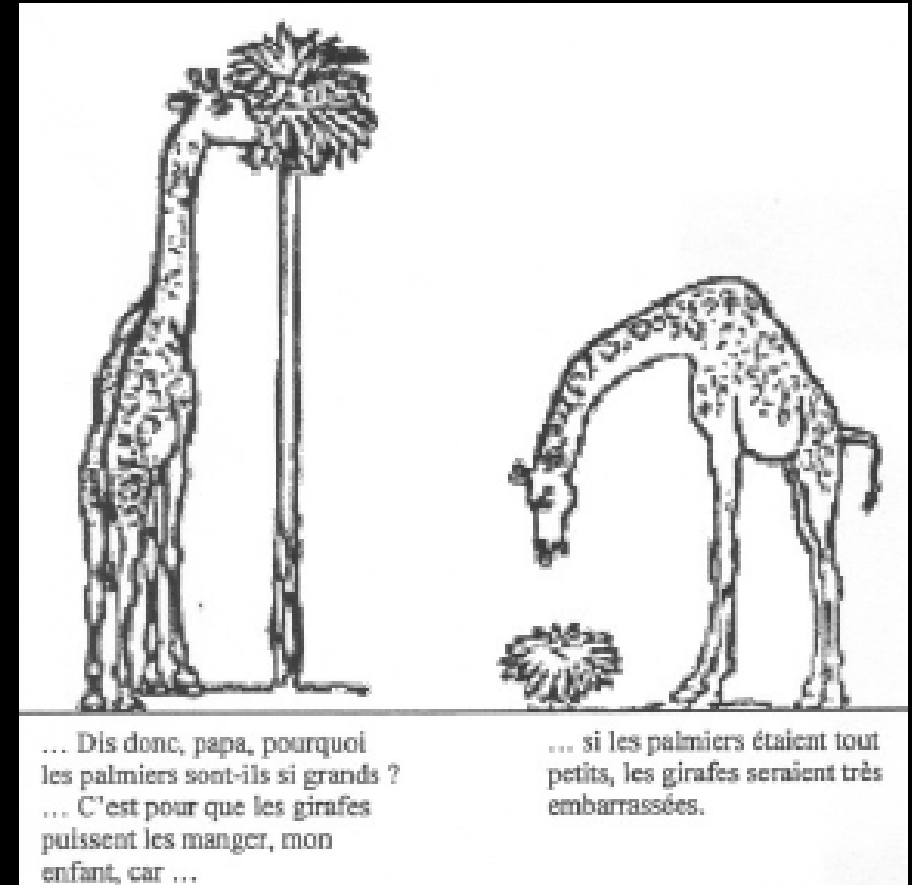
Mutations (erreurs de copie, ou par causes externes ex effet de radiation)

Sélection naturelle

Une incompréhension commune est de considérer le processus d'évolution comme aléatoire: les changements progressifs de l'espèce sont dirigés par les changements d'environnement.

Les erreurs de copie sont donc indispensables à la survie à long terme des espèces ...

A contrario : le processus de copie doit être suffisamment stable pour maintenir l'organisme en vie



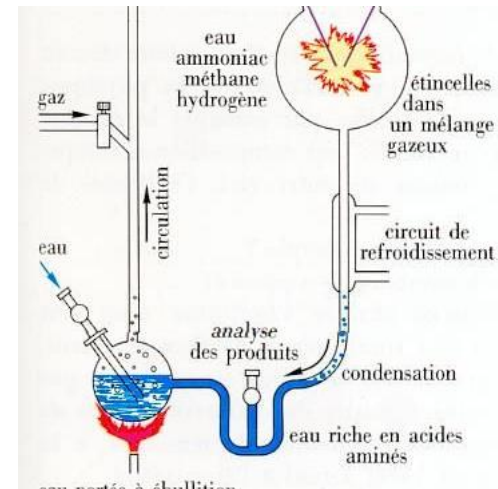
Partie 2 : La vie dans l'univers

- Ce que l'on connaît de la vie sur Terre semble indiquer qu'un processus identique pourrait se dérouler de façon similaire sur une fraction de planètes possédant de l'eau liquide
- La vie ailleurs reposerait-elle sur l'ADN/ARN : on ne sait pas ! peut être d'autres molécules, peut être quelque chose de radicalement différent ...
- La seule façon de répondre c'est de la découvrir
- Une chose est certaine ce serait une des plus grande découverte de l'histoire des sciences, une nouvelle révolution copernicienne montrant que vie sur la terre n'est pas unique

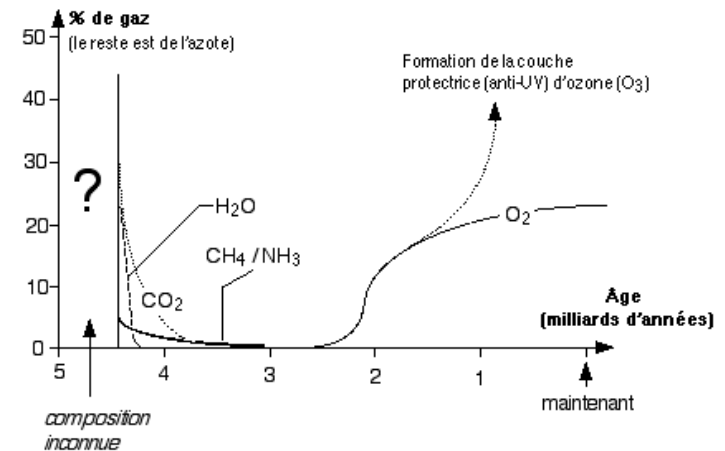
L'expérience de MILLER

Stanley Miller and Harold Urey 1952 : une ampoule stérile scellée contenant de l'eau de l'ammoniac, de l'hydrogène et du méthane en lien avec la composition supposée de l'atmosphère primitive de la terre ; un arc électrique simule des éclairs d'orages

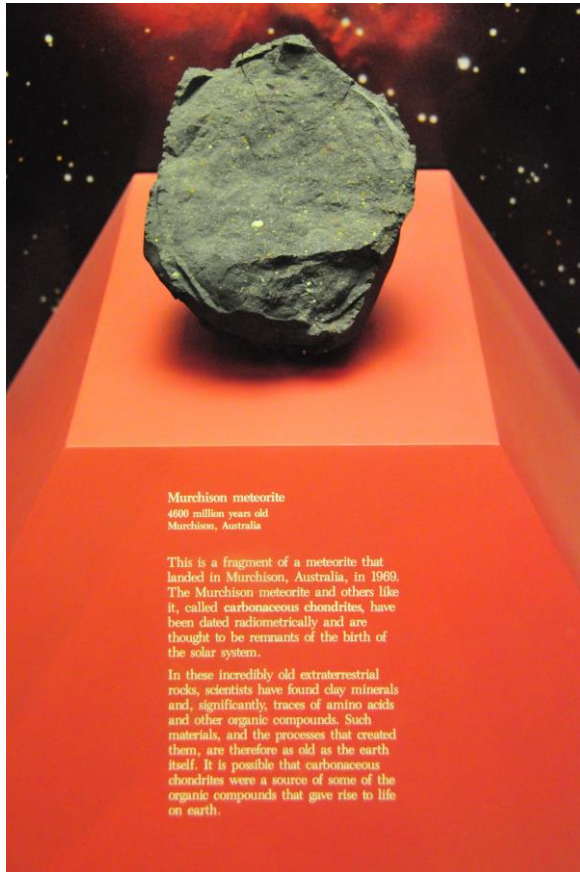
Après une semaine, des composés organiques (ce qui ne veut pas dire biologique) sont apparus



Evolution de la composition de l'atmosphère terrestre

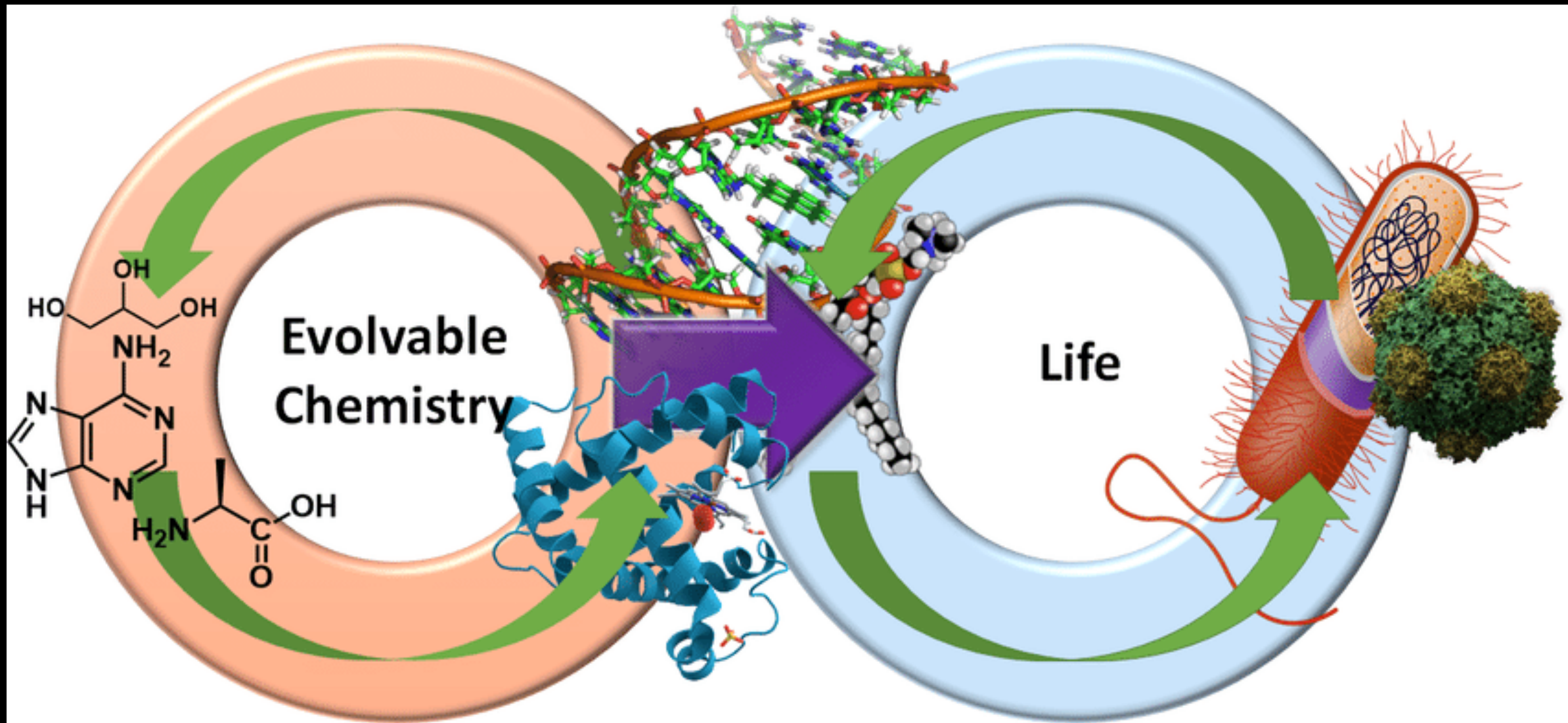


Miller et Mééeteorite de Murchison

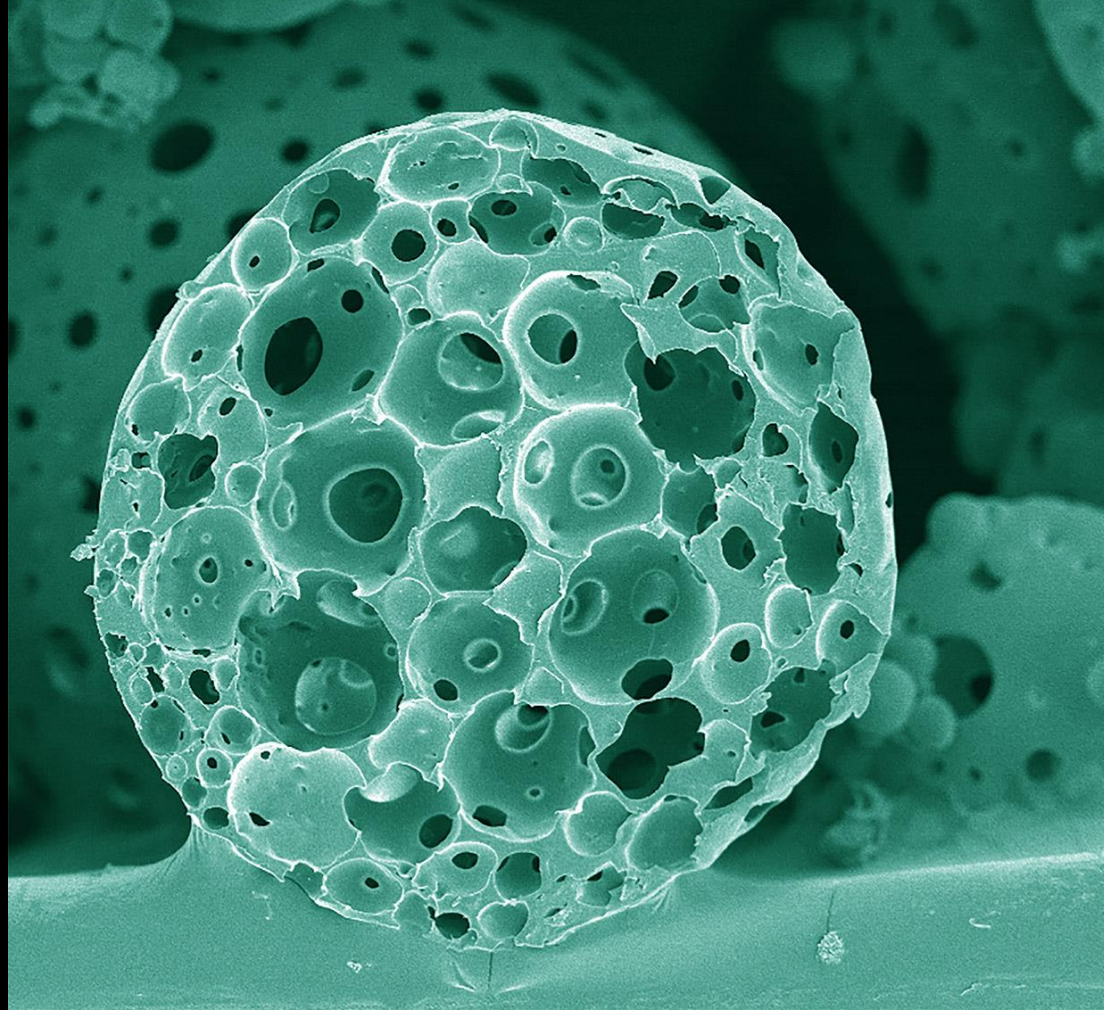


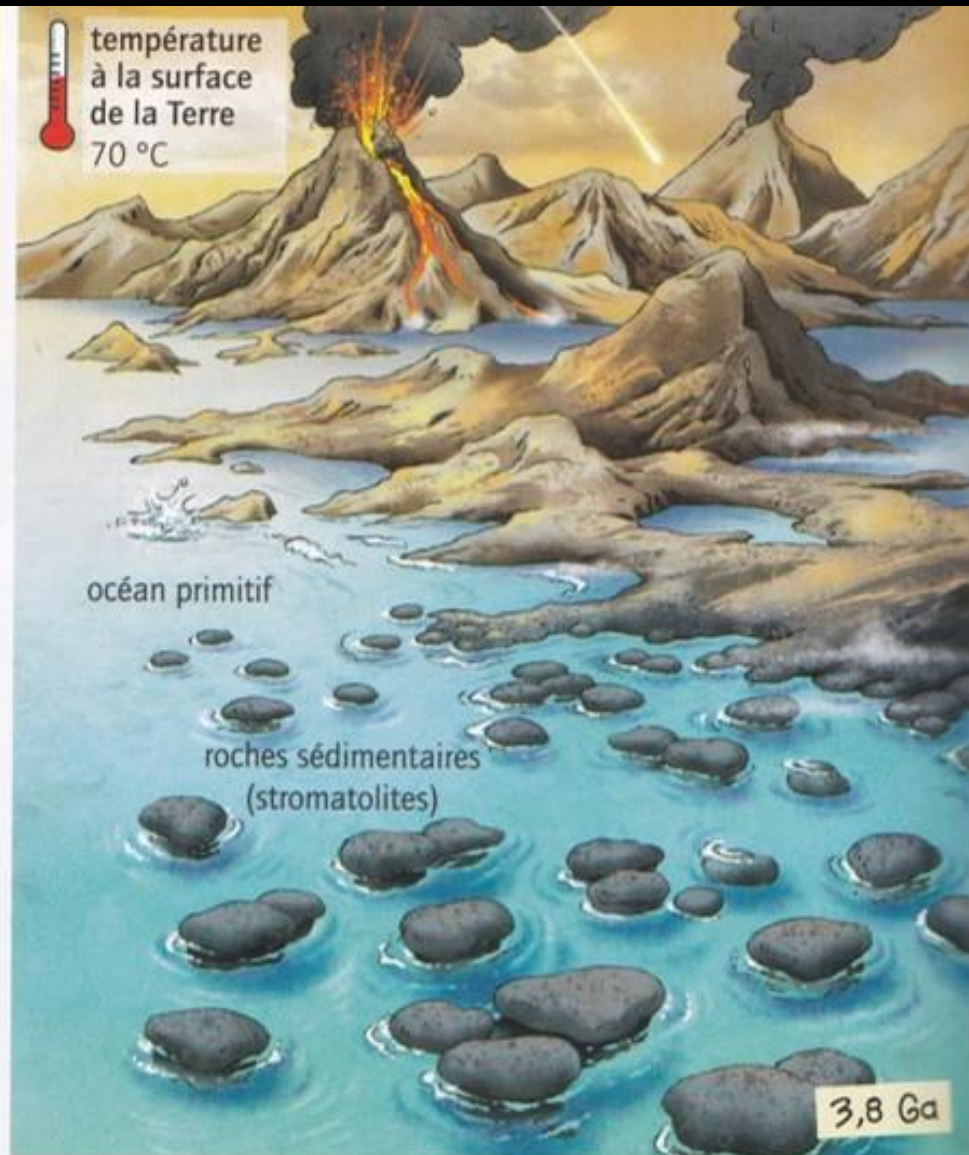
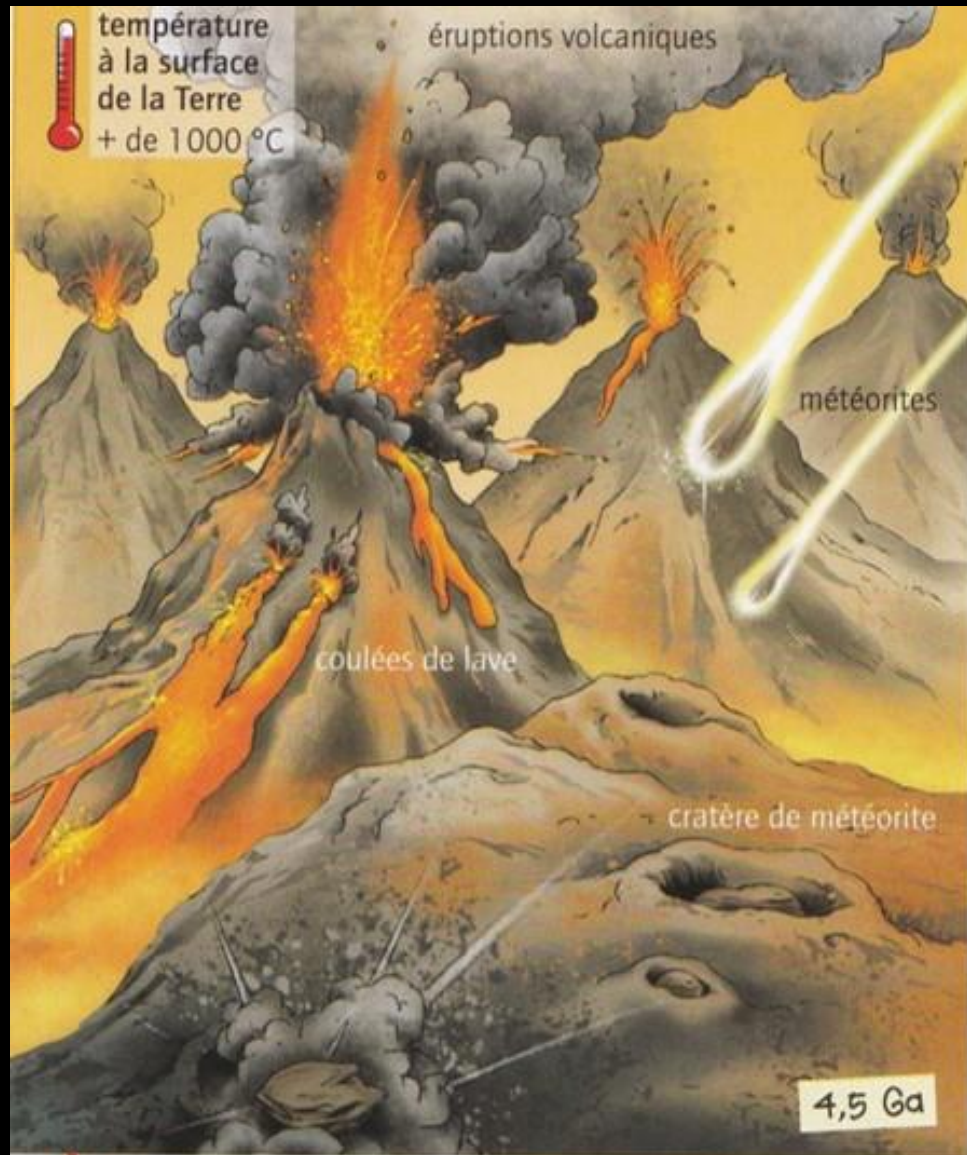
AMINO ACID	MURCHISON METEORITE	DISCHARGE EXPERIMENT
GLYCINE	• • • •	• • • •
ALANINE	• • • •	• • • •
α -AMINO-N-BUTYRIC ACID	• • •	• • • •
α -AMINOISOBUTYRIC ACID	• • • •	• •
VALINE	• • •	• •
NORVALINE	• • •	• • •
ISOVALINE	• •	• •
PROLINE	• • •	•
PIPECOLIC ACID	•	•
ASPARTIC ACID	• • •	• • •
GLUTAMIC ACID	• • •	• •
β -ALANINE	• •	• •
β -AMINO-N-BUTYRIC ACID	•	•
β -AMINOISOBUTYRIC ACID	•	•
γ -AMINO BUTYRIC ACID	•	• •
SARCOSINE	• •	• • •
N-ETHYLGLYCINE	• •	• • •
N-METHYLALANINE	• •	• •





D'une microsphère moléculaire à la première cellule : beaucoup d'inconnu !





1 Reconstitution de la surface de la Terre à deux périodes différentes. Ga = Milliard d'années.

Stromatolites (Australie) : une des traces les plus anciennes de vie 3,4 Mds d'année
colonies d'unicellulaires fossilisés : vie 1,2 Mds année après la création de la Terre
Ces colonies sont déjà complexes et laissent supposer un ancêtre plus simple



Stromatolites: pas facile d'observer des échantillons aussi anciens d'organismes unicellulaires !



MS124
335 grams
16 X 6.5 X 1.5 CM
S850

Microbial mat
3.49 Byo
Dresser Fmt
North pole dome
Western Australia

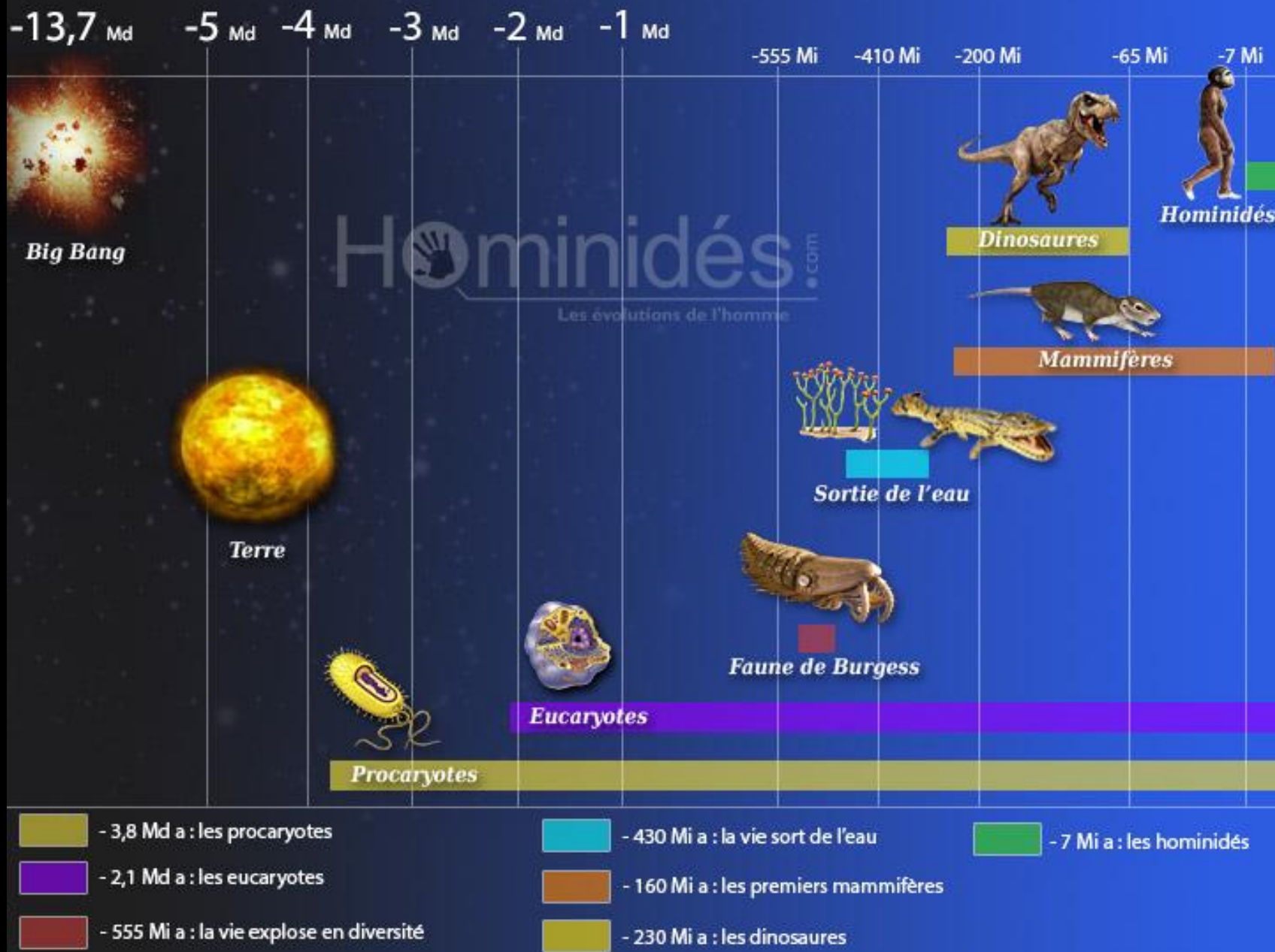
L'explosion du Cambrien il y a 400 Millions d'années



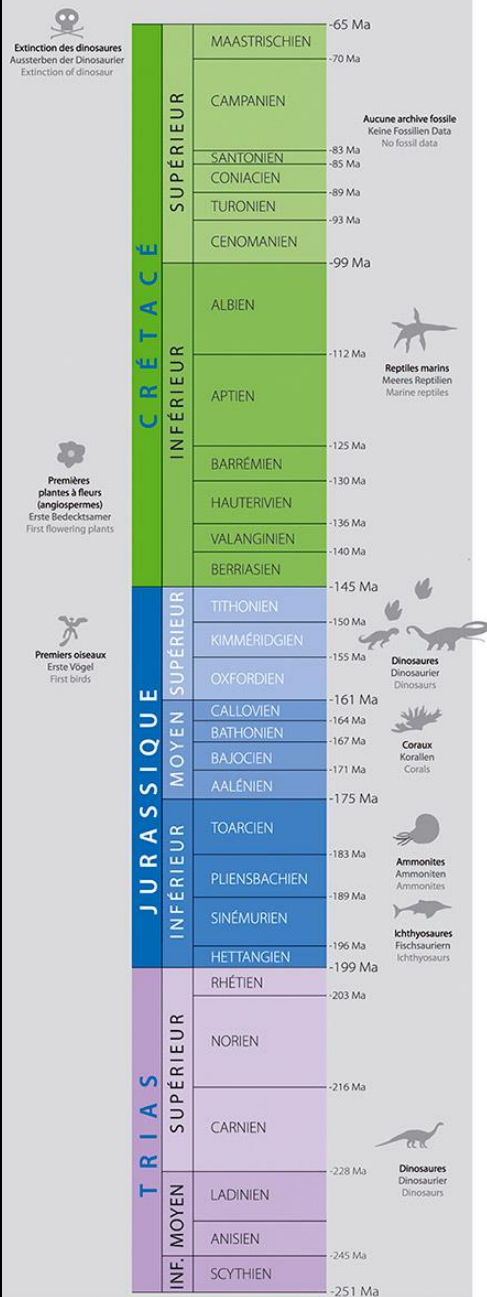


Les trilobites vivaient il y a
400 Millions d'années
Étaient dotés d'organes
spécialisés yeux, membres
articulés, mandibules et
une forte machoire

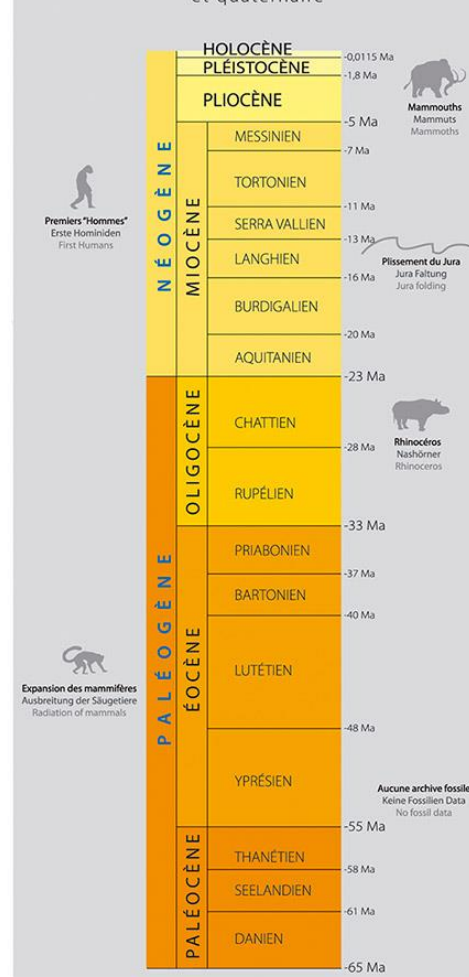
LA TERRE ET LA VIE - CHRONOLOGIE



L'ère secondaire



L'ère tertiaire et quaternaire



Ramené à l'échelle d'une année, l'homme apparaît à la dernière heure du 31 Décembre

Les problèmes les plus simples comme se nourrir, où vivre, comment se reproduire ont été traités de différentes façon par différents organismes conduisant à la diversité que nous connaissons

Il est possible que l'évolution favorise l'émergence de l'intelligence...

Les Extremophiles démontrent les capacités exceptionnelles de développement du vivant

Définitions wiki des « dur à cuire »

- Acidophile : organisme vivant dans des environnements acides (pH optimum de croissance proche de 3).
- Alcalophile : organisme vivant dans des environnements basiques (pH optimum de croissance proche de 9 et plus).
- Halophile : organisme vivant dans des milieux très salés (forte concentration en NaCl).
- Métalotolérant : organisme tolérant de hautes concentrations en métal (cuivre, cadmium, arsenic, zinc).
- Psychrophile ou psychrotolérant : organisme vivant dans des environnements froids (abysses, glaciers,
- Piézophile ou barophile : organisme vivant dans des environnements soumis à des pressions élevées (fonds océaniques profonds jusqu'à -11 000 mètres
- Radorésistant : organisme pouvant survivre à des radiations ionisantes élevées.
- Thermophile : organisme vivant dans des environnements chauds avec des optimums de croissance proche de 60 °C.
- Hyperthermophile : organisme vivant dans des environnements très chauds avec des optimums de croissance proche de 90 °C à plus de 100 °C
- ; mais ils ne peuvent pas vivre dans un milieu d'eau portée à ébullition (dans les fonds marins la pression est élevée et l'eau reste liquide jusqu'à 400 °C)²
- Xérophile : organisme capable de résister à la dessiccation (ayant besoin de peu d'eau pour survivre).

A



Aquifex pyrophilus



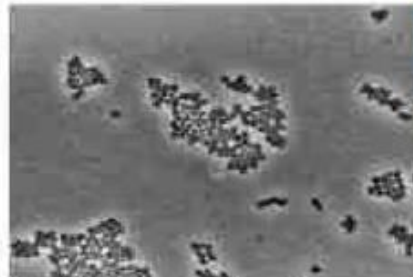
octopus hot spring
Yellowstone



Helicobacter pylori



H. pylori in stomach

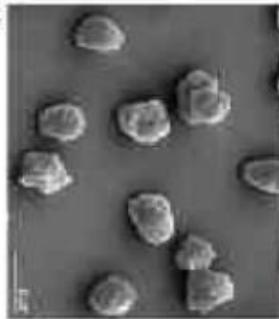


*Nesterenkonia
lacusekhoensis*



Vestfold Hills
Antartique

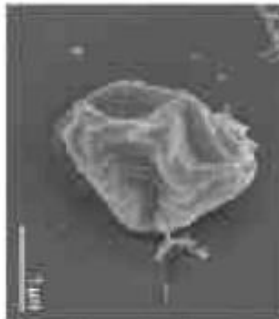
B



*Halogeometricum
borinquense*



Mer morte



*Pyrolobus
fumarii*



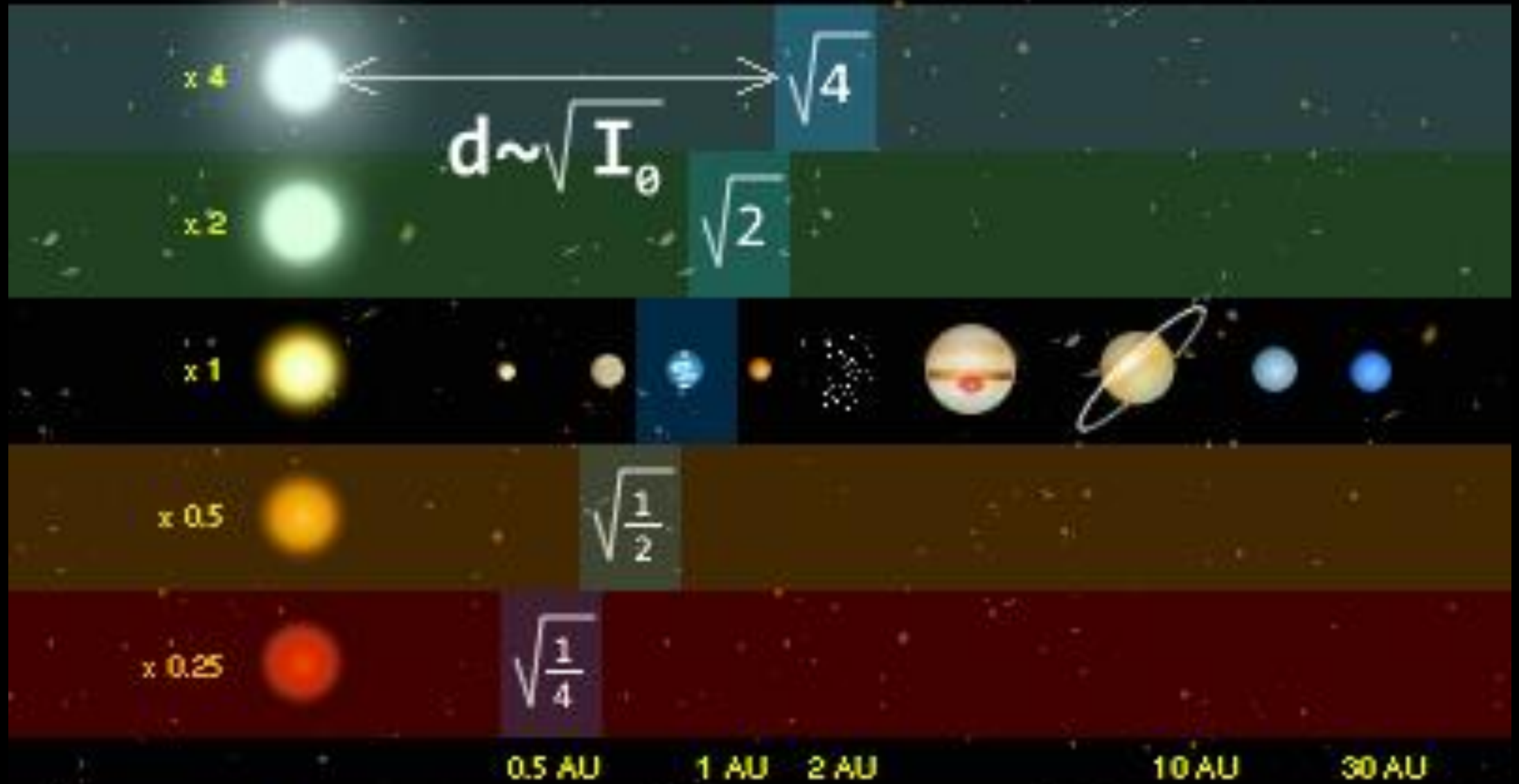
Cheminée noire
atlantique

Vu dans le désert d'ATACAMA



La vie dans notre système solaire ?

Notion de zone habitable



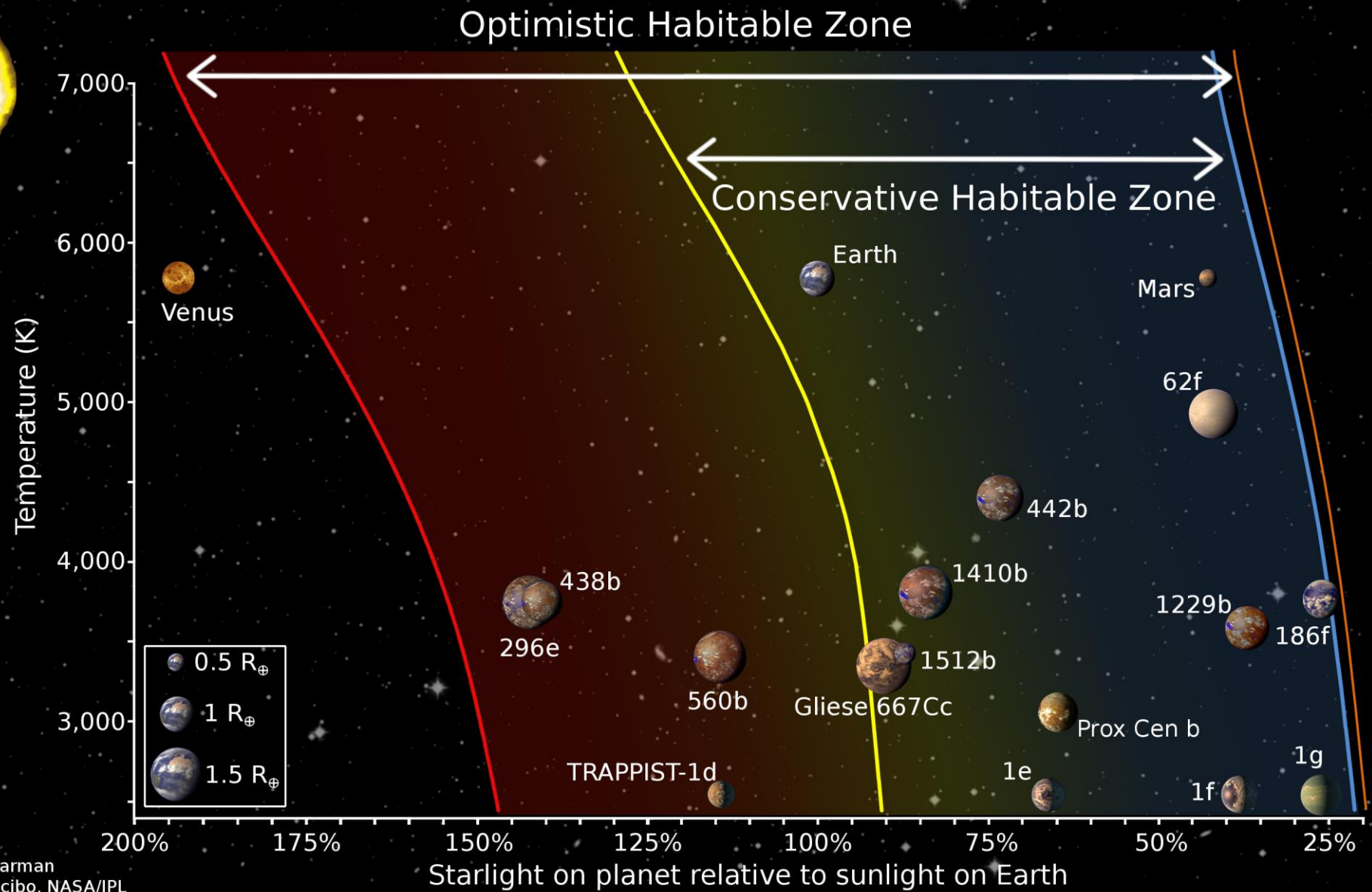
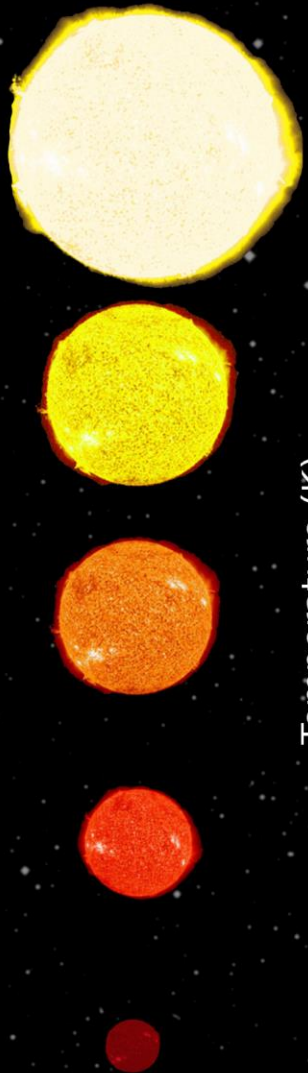
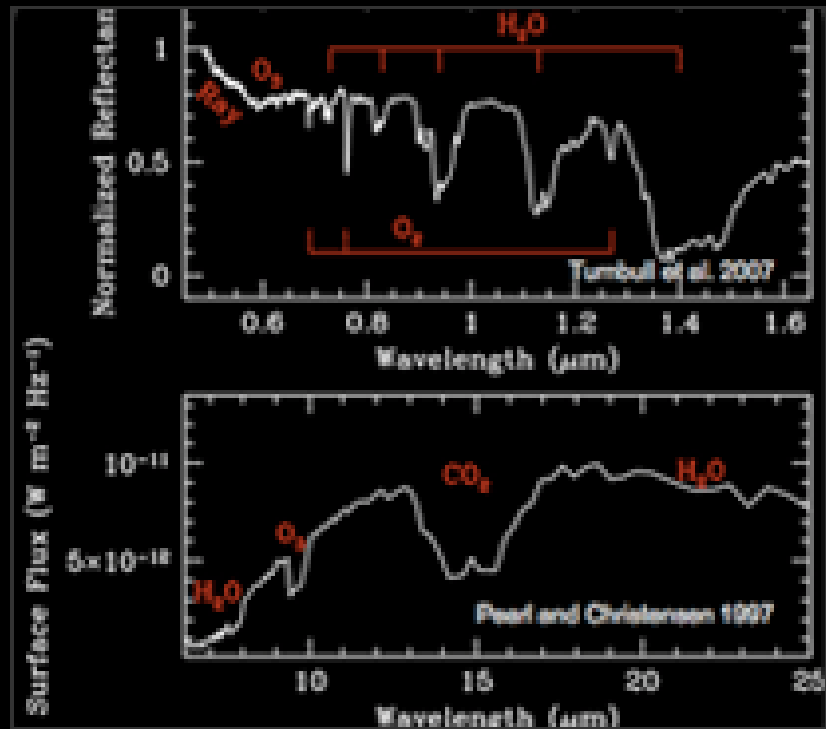
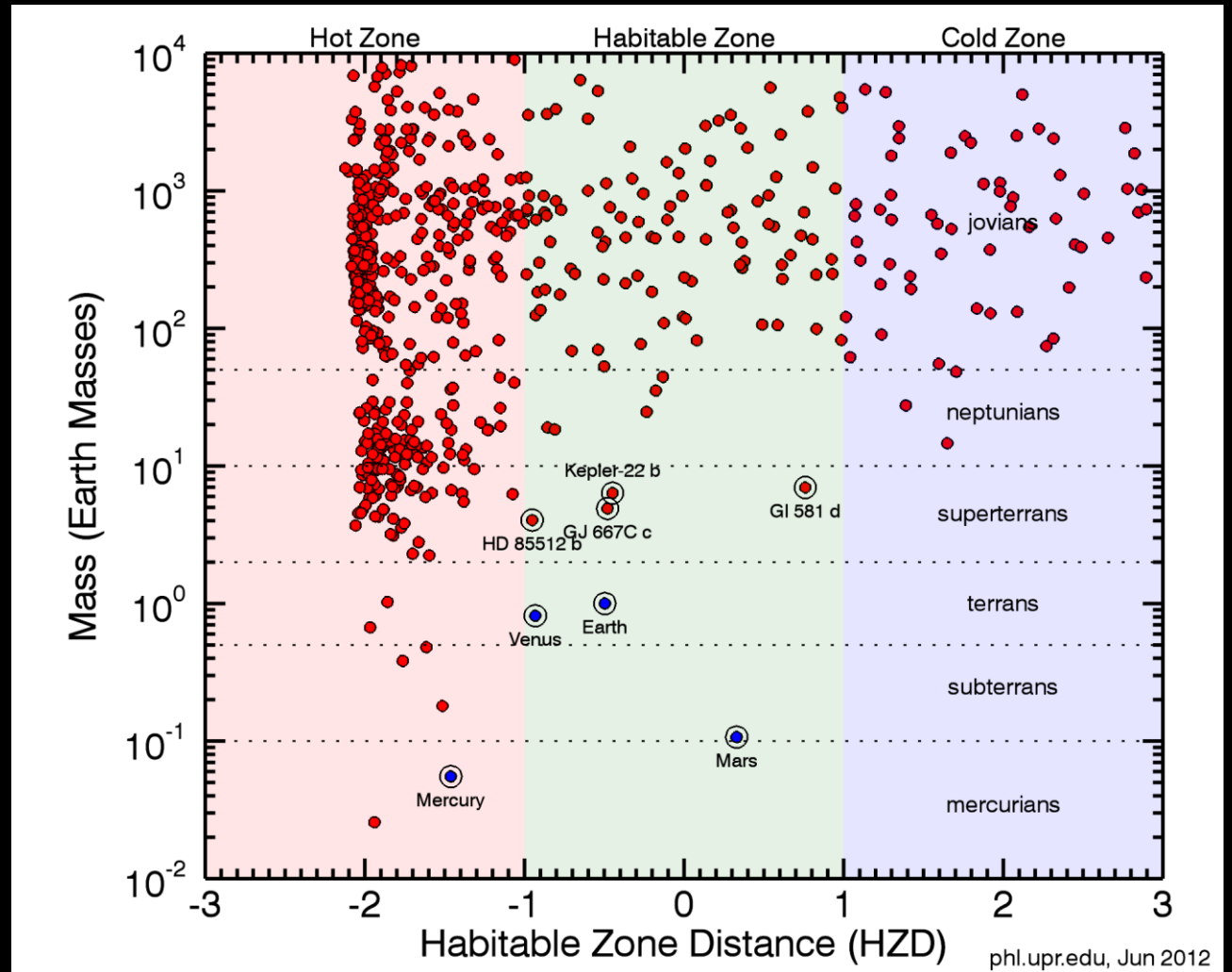


Image Credit: Chester Harman
Planets: PHL at UPR Arcibo, NASA/JPL



Exemple de biosignature



Exoplanètes

Potential Life in our Solar System

Europa – Life could exist in an ocean below this moon's icy surface, shielded from Jupiter's radiation.



Enceladus – Water below this Saturnian moon's surface is near boiling. A probe might sample a plume of material spewing from its south pole for signs of life.



Sun

Mercury

Venus

Earth

Mars

Jupiter

Saturn

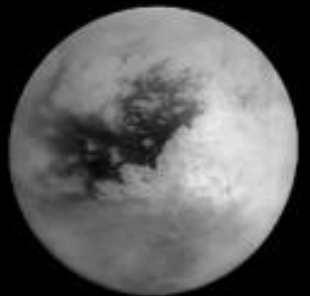
Uranus

Neptune

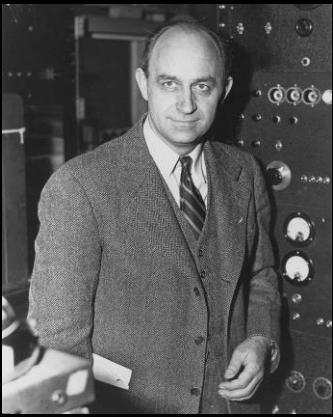
Mars – Life may have persisted below the red planet's surface, even as the water there disappeared.



Titan – Chemistry abounds on this Saturnian moon, which features lakes of methane and ethane, and - perhaps - life.



Partie 3 : une forme de vie
intelligente dans l'univers ?



Le Paradoxe de Fermi (1950)

« si une telle civilisation existait, elle devrait être là ! »
(pas de publication de Fermi, discussion à Los Alamos)

il faudrait 100 millions d'années pour qu'une civilisation capable d'atteindre une fraction non négligeable de la vitesse de la lumière ait visité toutes les étoiles de la Voie lactée dans une sorte de réaction en chaîne (une première planète donnerait deux vaisseaux, qui avec deux autres planètes en donnerait quatre, etc.).

Or, l'âge de la Voie lactée > à 10 milliards d'années ce qui impliquerait l'apparition de nombreuses civilisations dans notre Galaxie depuis des milliards d'années. Elles auraient largement eu le temps de laisser des traces partout autour de nous y compris dans notre système solaire.

Ceci vaut également si la colonisation de la vie lactée n'est que partielle, cela sous entend que ces civilisations soit nombreuses et durent longtemps...

Cela conduit à penser que l'apparition d'une civilisation technologiquement avancée est très rare ou pour le moins qu'elle disparaît en général avant de pouvoir se lancer dans un programme de visites interstellaires.

Pour les détracteurs : ils sont là mais ne se montrent pas pour nous éviter un choc culturel ...



Frank Drake 1962 sur la base d'un raisonnement analogue à celui qu'a dû faire Fermi .

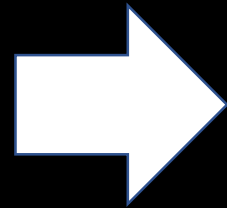
$R = 10 / \text{an}$

$f_p = 0,5$

$N_e = 2$

$f_l = 1 ; f_i = f_c = 0,01$

$L = 10\,000 \text{ années}$



$N = 10$

civilisations dans
la voie lactée

Les paramètres estimés à l'époque par F. Drake

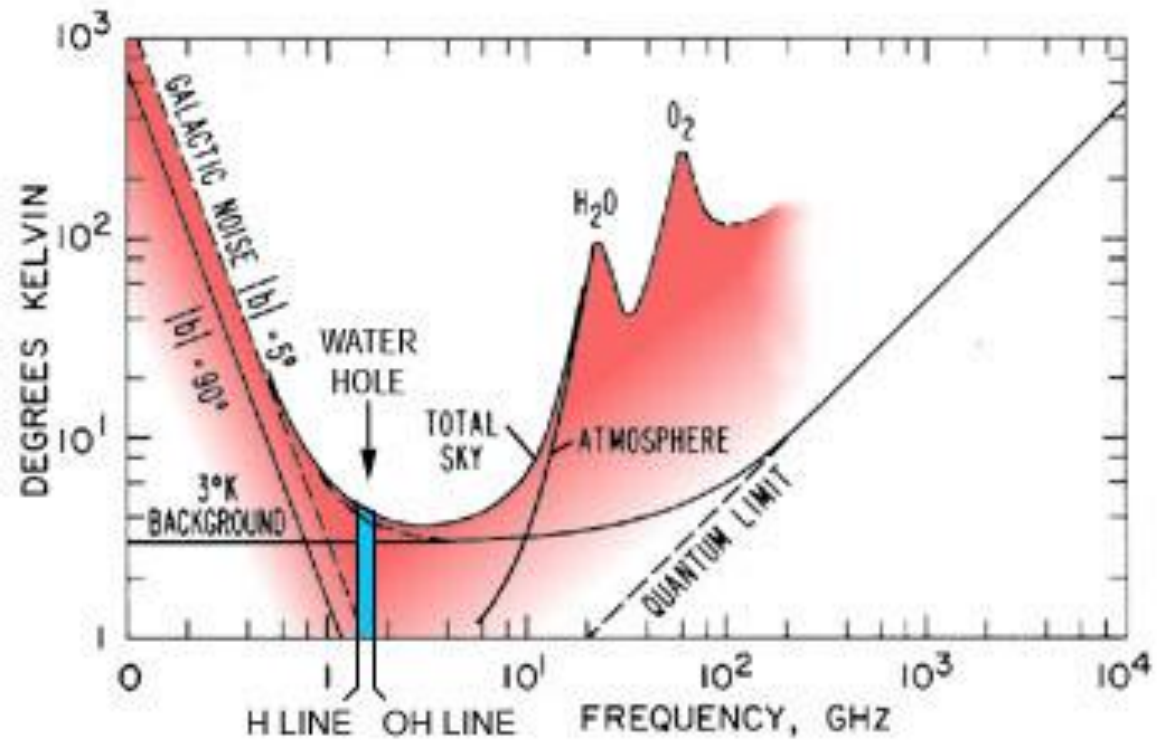


Voyages entre les étoiles : beaucoup d'énergie est nécessaire !

- Les distances entre étoiles sortent de notre domaine usuel de compréhension : la sonde New Horizon après avoir survolé Pluton mettra 90 000 années pour atteindre Proxima du Centaure
- Limite de la vitesse de lumière
- L'énergie nécessaire pour voyager à 50% de la vitesse de la lumière vers Proxima nécessite 400x l'énergie consommée en une année aux USA
- Ceci limite le voyage des terriens et celui des aliens cela rend très improbable un scénario de rencontre du 3^{ème} type
- Envoyer un signal électromagnétique nécessite en revanche moins d'énergie.



E.T téléphone maison !



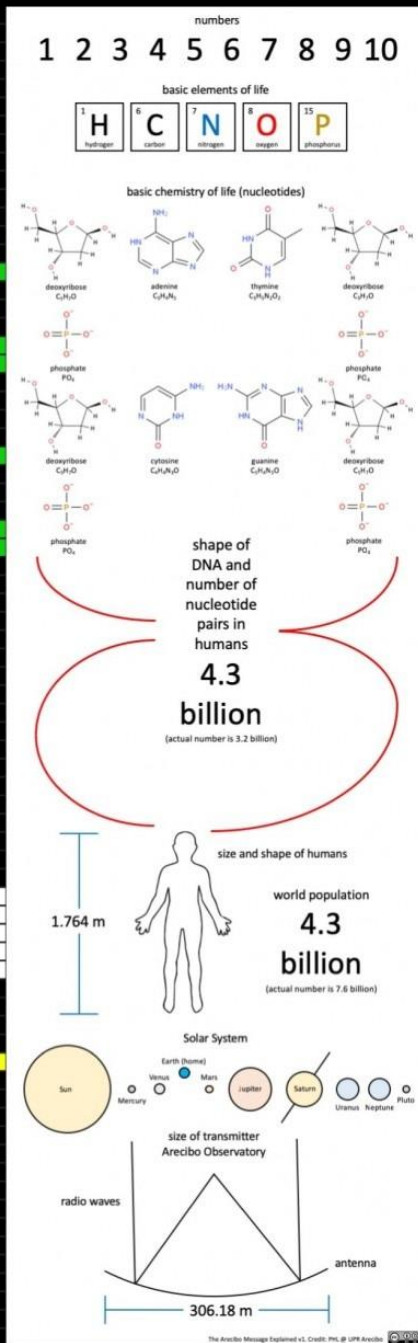
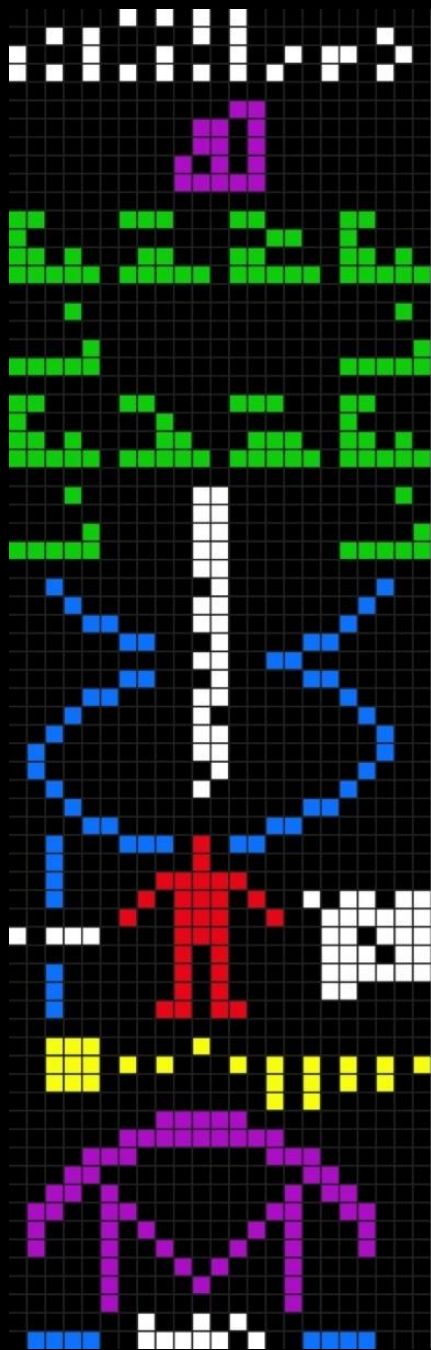
Envoyer un signal radio demandera moins d'énergie mais il faut émettre sur la bonne longueur d'onde !

Water Hole (Point d'eau) B. Olivier

Dans la fenêtre des microondes entre 1 et 10GHz, un espace dans la bande entre les 21cm de l'Hydrogène et les 18 cm de l'hydroxyle est idéal en terme de communication extraterrestre : B. Oliver a présumé que ces fréquences seraient connues par toute civilisation ayant un minimum de connaissance des signaux radio ...

Les fréquences plus élevées sont absorbées par notre atmosphère les moins élevées sont perdues dans le bruit galactique

message



Pour Stephan Hawkins ce n'est pas une bonne idée ...

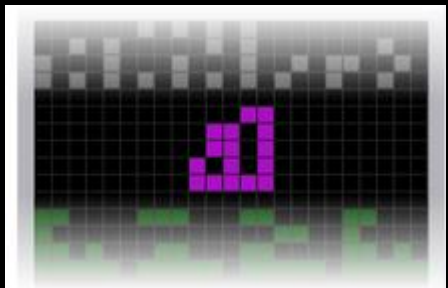
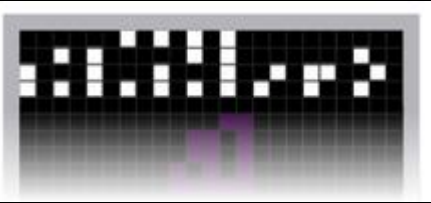
Trop tard : on l'a fait !



Le message d'Arecibo a été émis par le radiotélescope d'ARECIBO (Porto Rico) vers l'amas M13 (22 000 al)

Message de 73x23 bits (nb premiers)

Le 16 novembre 2018, soit exactement 44 ans après son émission, le signal est à 44 années-lumière de la Terre ...la cible sera atteinte dans plus de 20000 ans



```

0 0 0 1 1 1 1 00 00 00
0 1 1 0 0 1 1 00 00 10
1 0 1 0 1 0 1 01 11 01
X X X X X X X X X X ← repère
  
```

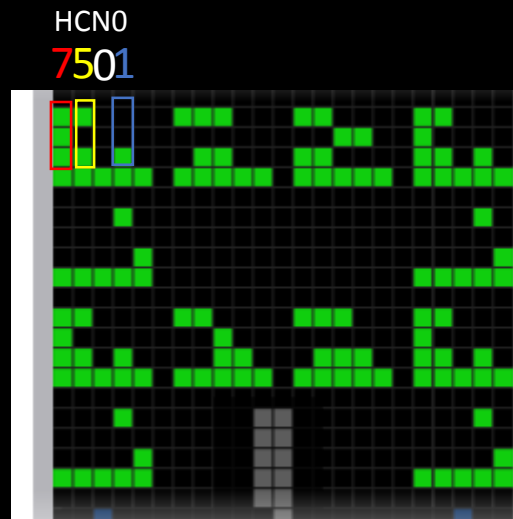
H	C	N	O	P
1	6	7	8	15

0	0	0	1	1
0	1	1	0	1
0	1	1	0	1
1	0	1	0	1
X	X	X	X	X



Message anticodé

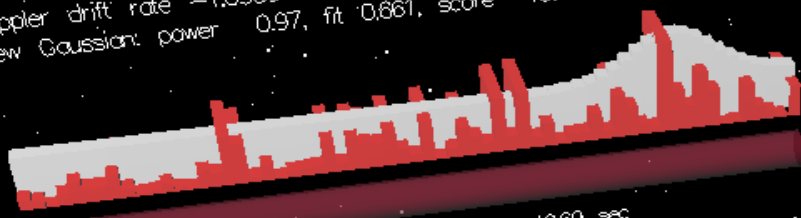
(cad conçu pour faciliter le décodage donc dans une démarche inverse à celle du cryptage)



Désoxyribose (C ₅ H ₇ O)	Adenine (C ₅ H ₄ N ₅)	Thymine (C ₅ H ₅ N ₂ O ₂)	Désoxyribose (C ₅ H ₇ O)
Phosphate (PO ₄)			Phosphate (PO ₄)
Désoxyribose (C ₅ H ₇ O)	Cytosine (C ₄ H ₄ N ₃ O)	Guanine (C ₅ H ₄ N ₅ O)	Désoxyribose (C ₅ H ₇ O)
Phosphate (PO ₄)			Phosphate (PO ₄)

SETI@home Multi-Beam

Searching for Gaussians
Doppler drift rate -1.0389 Hz/sec Resolution 0.596 Hz
New Gaussian: power 0.97 , fit 0.661 , score -13.025



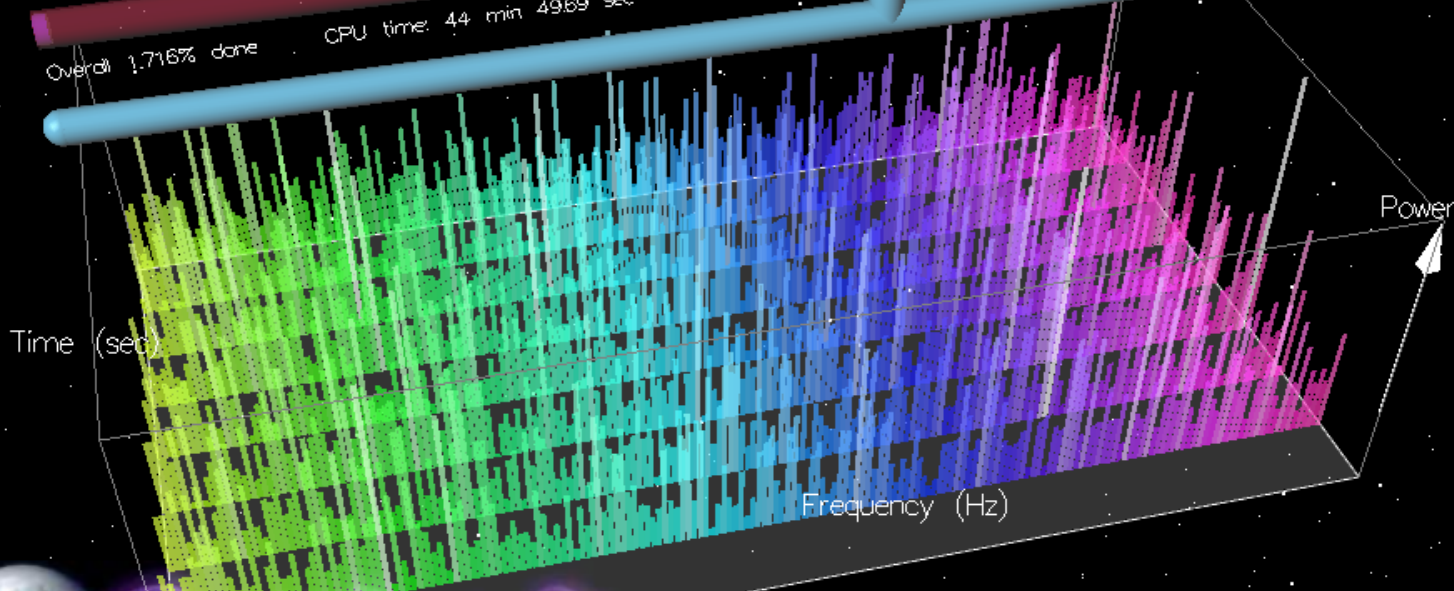
Overall 1.716% done CPU time: 44 min 49.69 sec

Data info

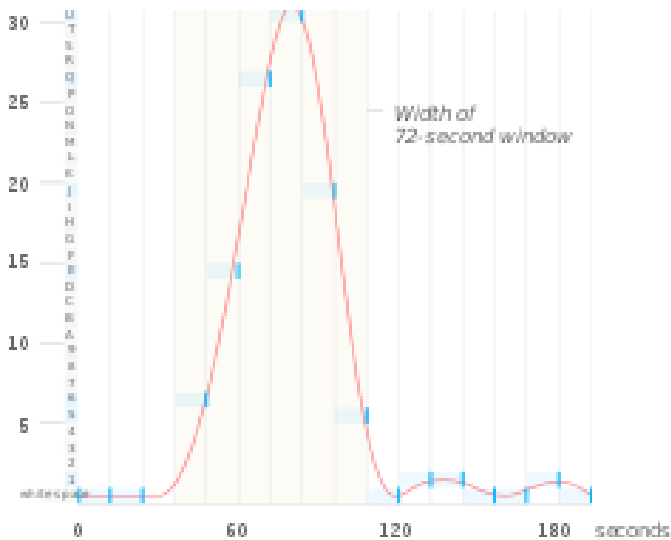
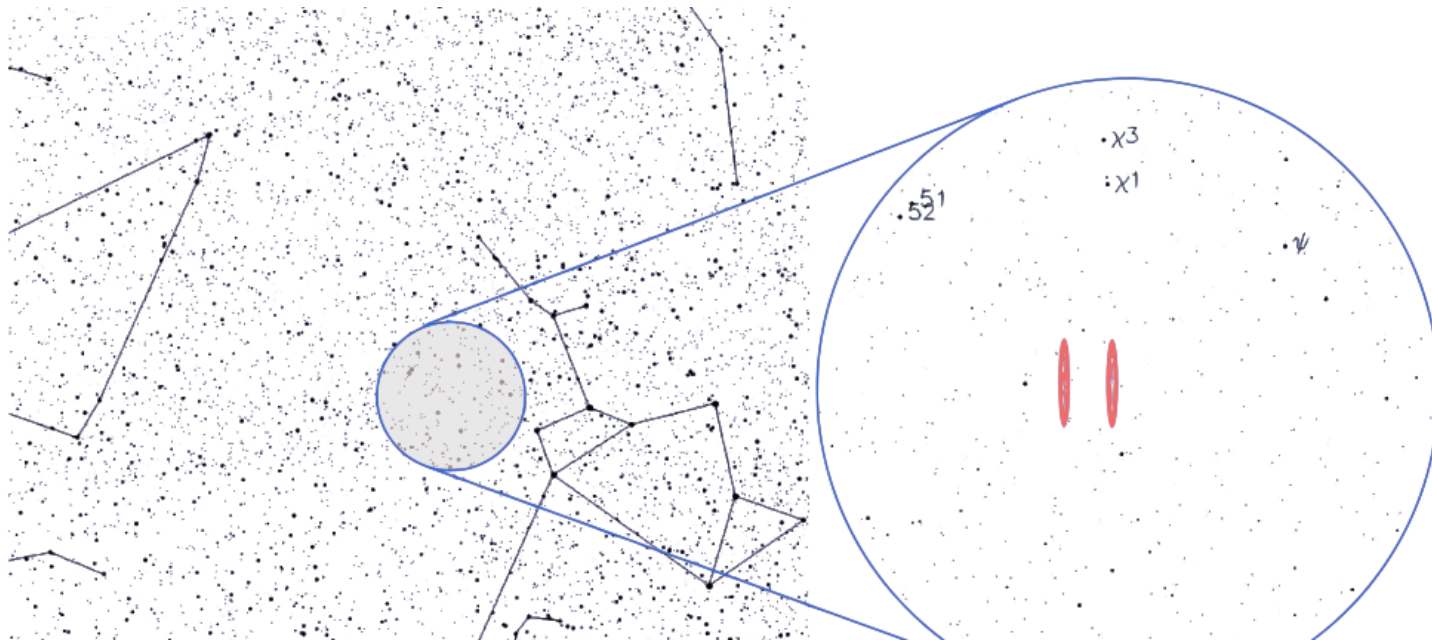
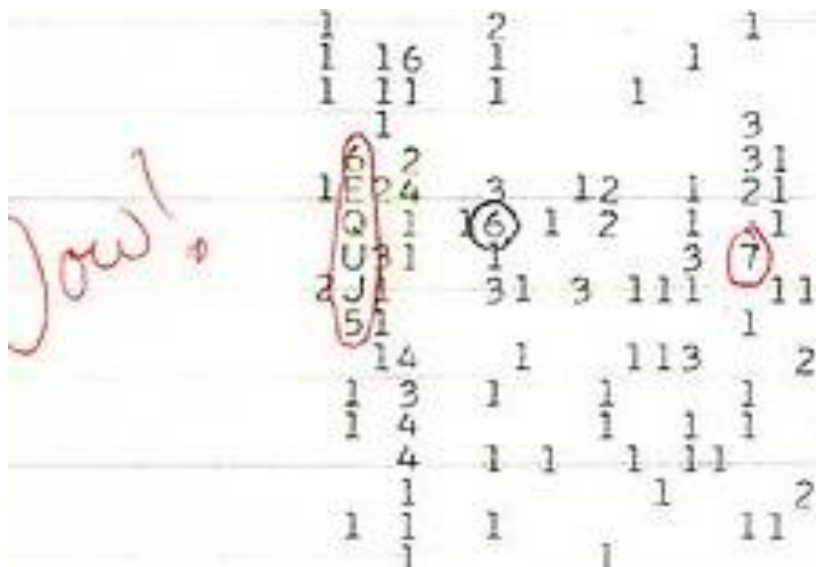
From: 8 hr 56' 36" RA, +32 deg 6' 15" Dec
Recorded on: Mon Feb 26 03:01:50 2007
Recorded at: Arecibo 1.4GHz Array, Beam 4, Pol 1
Base frequency: 1.419804688 GHz

User info

Name:
Team:
Total credit: 0.00

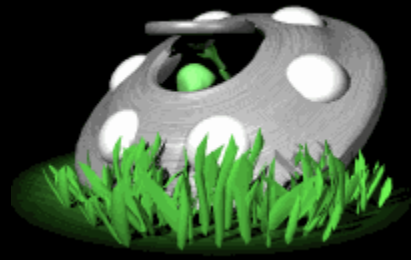


SETI@home
The Search for Extraterrestrial Intelligence



Wow 15 aout 1977

Wow signal est le candidat le plus solide à ce jour en terme de reception d'un signal extra-terrestre



Merci pour votre attention