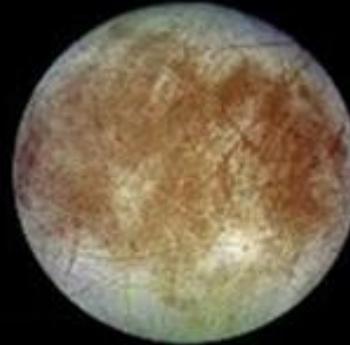
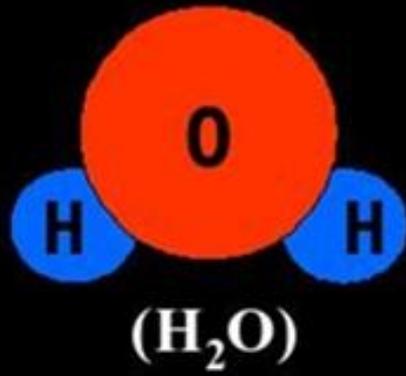


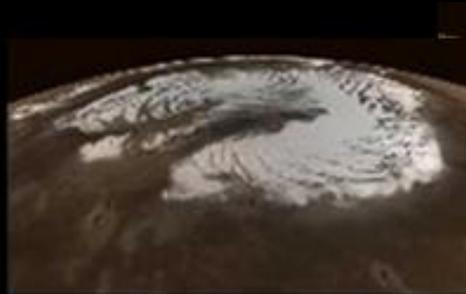


**L'eau  
la vie ici  
et ailleurs**

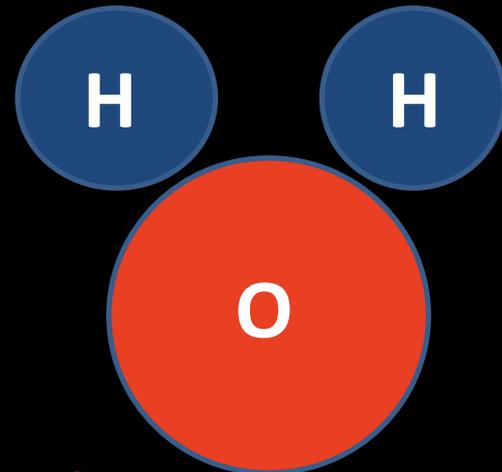
**??????**



# L'eau



# Big Bang



## Nucléosynthèse stellaire

H -> He -> C -> Ne -> Mg -> O

C + He -> O (> 10 ms)

**Dans une galaxie, quelle est la proportion des différents atomes ? Sur 1 000 000 000 d'atomes, il y a (environ) :**

**Hydrogène : 910 580 000**

**Hélium : 88 000 000**

**Oxygène : 800 000**

**Carbone : 300 000**

**Azote : 100 000**

**Néon : 100 000**

**Silicium : 30 000**

**Magnésium : 30 000**

**Fer : 30 000**

**Soufre : 12 000**

**Argon : 4 000**

**Aluminium : 3 000**

**Calcium : 3 000**

**Nickel : 2 000**

**Tous les autres : 6 000**

**On retrouve ces atomes dans les nébuleuses,  
nuages de gaz et de poussières internes à notre  
galaxie, nuages à l'origine des systèmes  
stellaires**



**Dans ces nébuleuses, ces atomes vont réagir entre eux pour former des composés moléculaires**



- Hydrogène
- Oxygène
- Carbone
- Azote
- Silicium
- Magnésium
- Fer
- Aluminium
- Calcium

**H<sub>2</sub> (hydrogène moléculaire)  
(molécule n° 1)**

**H<sub>2</sub>O = eau  
(Molécule n° 2)**

**CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> et  
CHON = matière organique  
(molécules n° 3)**

**Silicates variés = cailloux  
(molécules n° 4)**

**Fer métallique  
(« molécule » n° 5)**

## Ces composés sont-ils solides ou gazeux ?



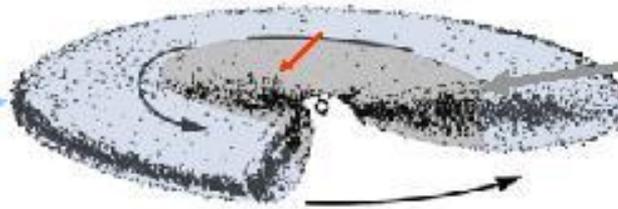
**Il fait froid :**  
**H<sub>2</sub>O, CHON, NH<sub>3</sub>, Silicates et Fer** sont sous forme de poussières solides (de glace pour H<sub>2</sub>O), H<sub>2</sub> est encore gazeux

**Il fait tiède :** les poussières de Silicates et Fer s'hydratent légèrement ; H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CHON et NH<sub>3</sub> sont encore gazeux

**Il fait chaud :** Silicates et Fer sont sous forme de poussières solides, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CHON et NH<sub>3</sub> sont encore gazeux

**Poussières ferro-silicato-glacées**

(1)



**Poussières ferro-silicatées**  
(hydratées à la frontière)

(2)



**(2) Les poussières s'agglomèrent en « blocs » kilométriques**

(3)



Vers Kuiper et Oort

(4)



**Planètes et satellites « de glaces » et planètes géantes**

(5)



**Planètes et satellites « rocheux »**

# Origine de l'eau

L'eau apparaît il y a 4.4 milliards d'années

Zircon de Jack Hills

On pensait qu'elle provenait surtout des comètes

1985 Giotto Halley

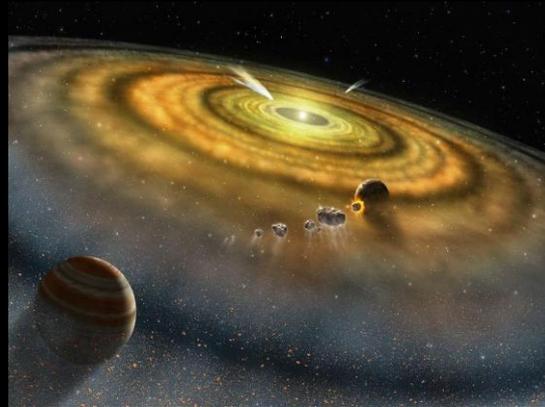
Hydrogène /Deutérium  $\neq$  comète / eau terrestre



# Origine de l'eau terrestre: actuellement admis



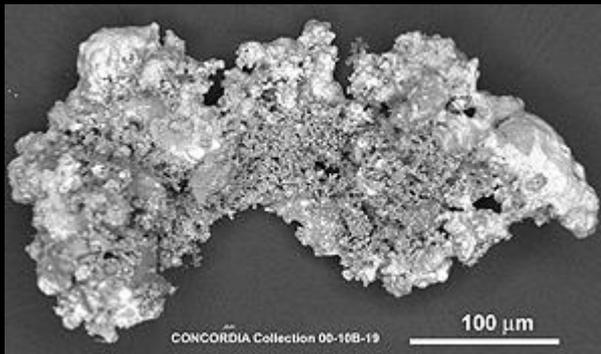
**Chondrites carbonées**



**Nébuleuse primitive  
Ringwoodite 600 km**



**Comètes du nuage de Oort  
et de la ceinture de Kuiper**



**Micro météorites**

## Eau de la Terre

eau salée  
97 %

eau douce  
3 %

## Eau douce

glaciers  
77 %

eau dans le sol  
22 %

eau douce  
disponible  
1 %

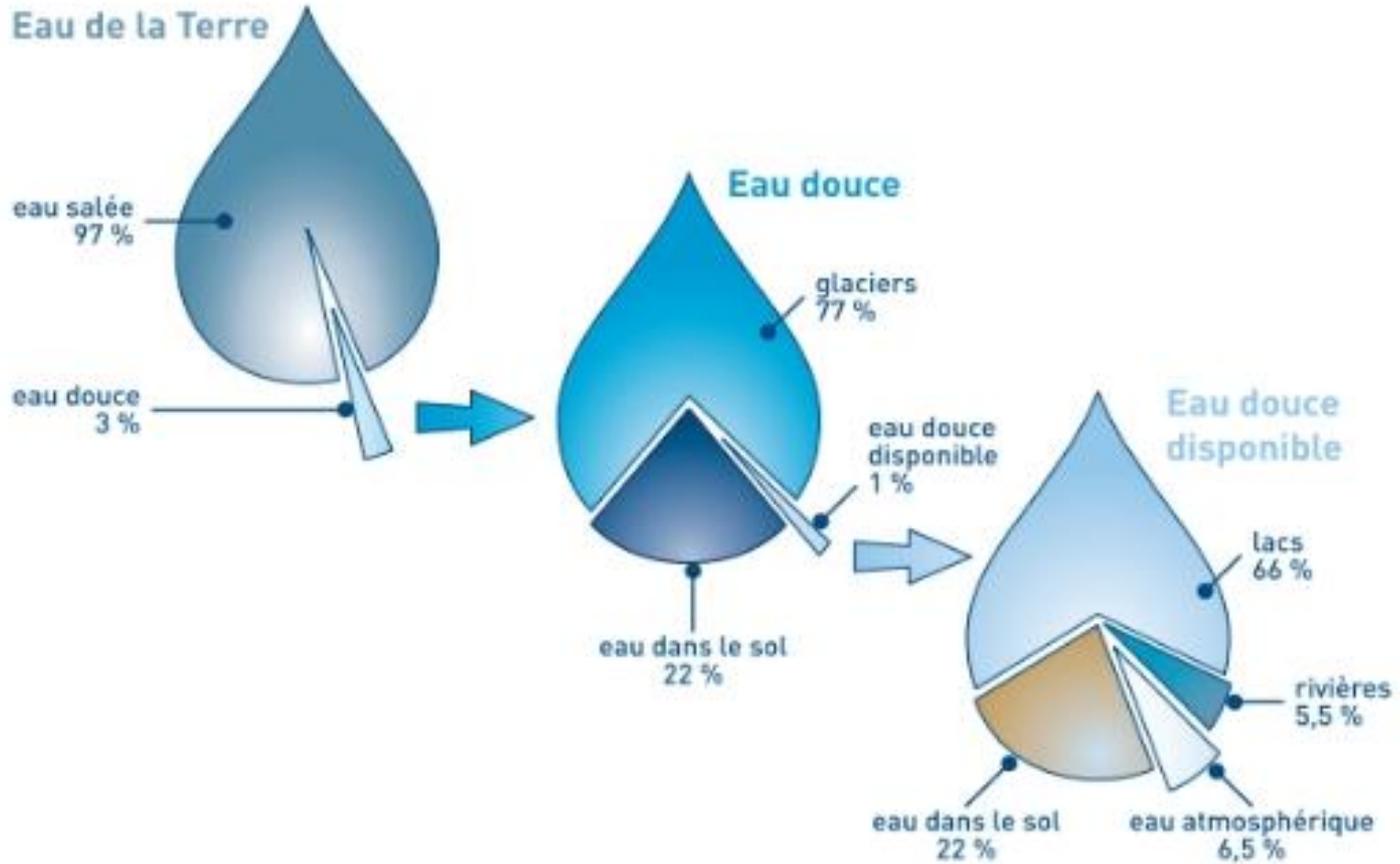
## Eau douce disponible

lacs  
66 %

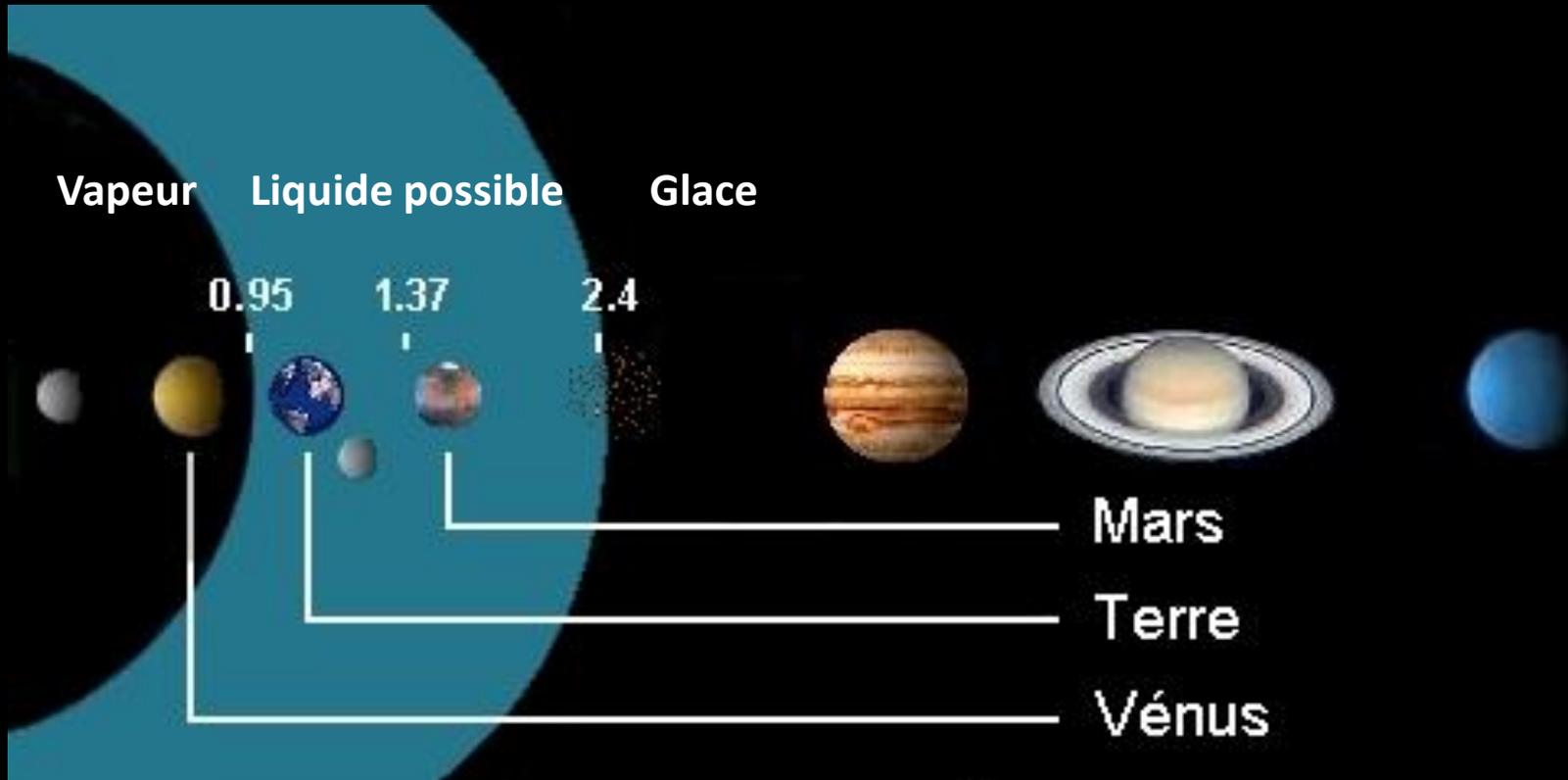
rivières  
5,5 %

eau dans le sol  
22 %

eau atmosphérique  
6,5 %



# Eau = Bonne distance = zone habitable



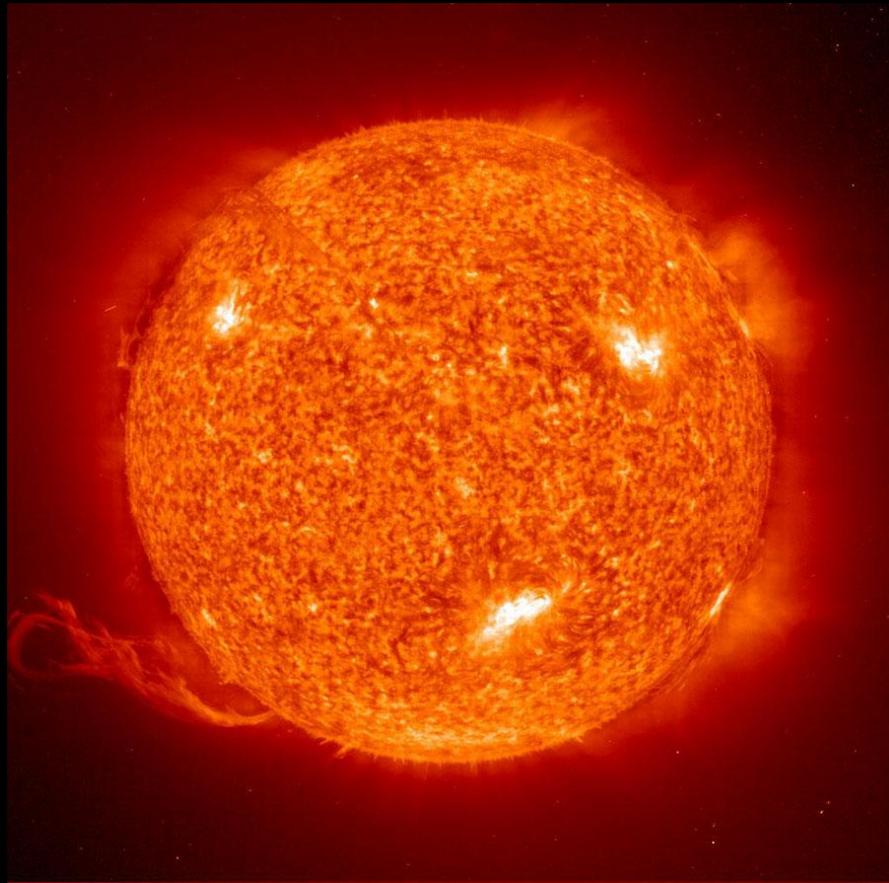
**La vie ici...**

**La Terre s'est formée avec le système solaire  
il y a 4,568 milliards d'années.**

**Pour voir apparaître la vie, il a fallu ...**



**Un Soleil qui fournisse de l'énergie  
suffisamment longtemps.  
5/10 milliards d'années.**



**Une Terre ni trop loin ni trop près du Soleil  
et suffisamment massive pour conserver  
cette eau à l'état liquide.**



**La Lune pour  
équilibrer  
tout ça**



**Formée il y a 4,530 milliards d'années**

**Marées**

**De la matière organique.  
L' équivalent des briques d'une maison.**

**Il y en a beaucoup dans l'espace**

- Les CHON**
- Carbone
  - Hydrogène
  - Oxygène
  - Azote ...



# De l'EAU : un excellent solvant

Facilite la mise en relation  
des différentes molécules



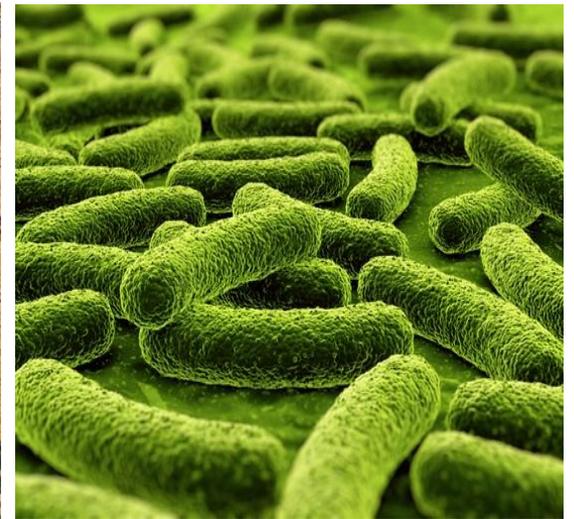
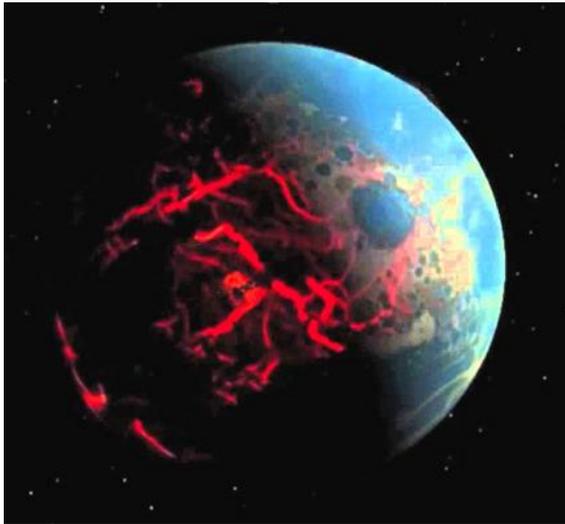
**Mais pour que la vie  
se développe  
il faut aussi du temps,  
beaucoup de temps.**

# 500 mn d'années pour les premiers composés organiques

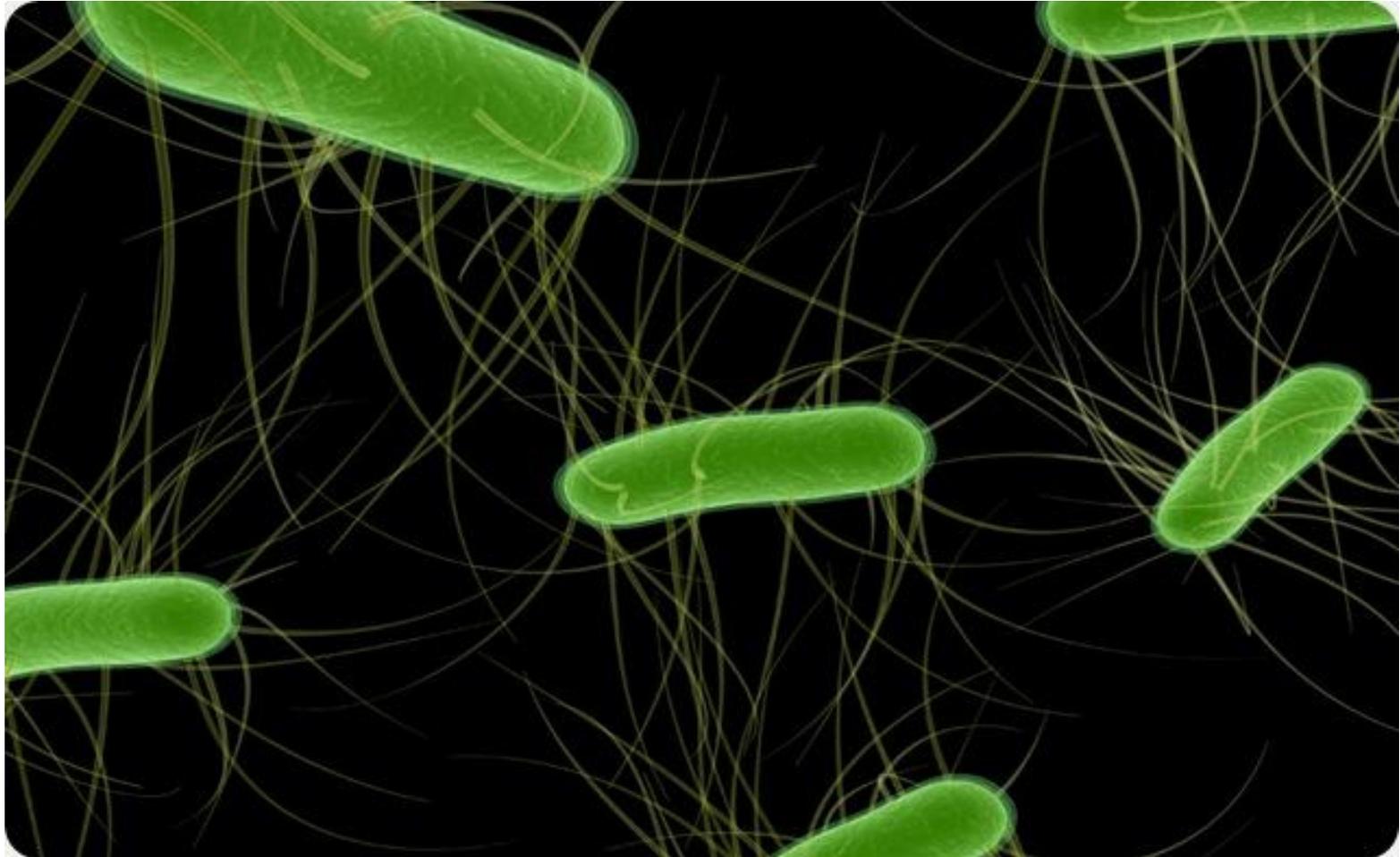


# 1 milliard d'années pour voir apparaître les bactéries

4,5 à 3,5 Ga



**La première forme de vie : les bactéries.  
Une cellule sans noyau.**

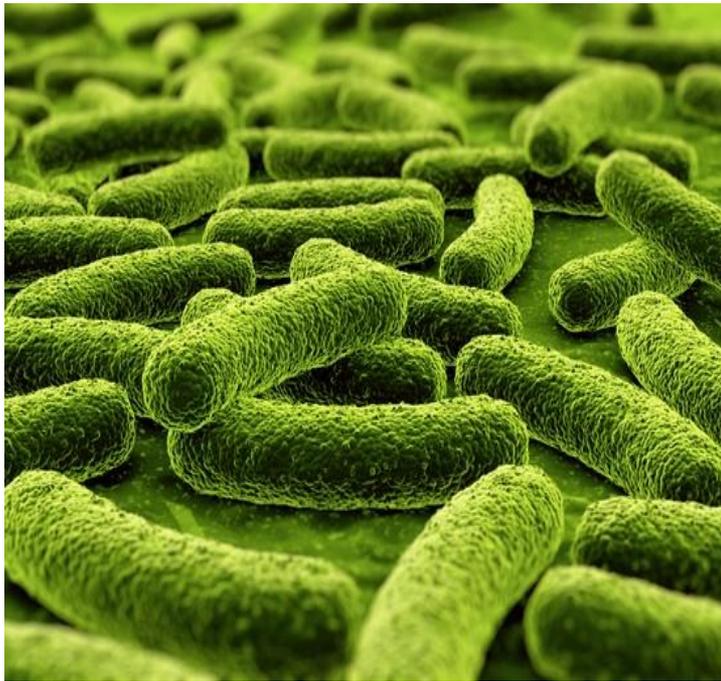




Les stromatolithes

**Près de 3 milliards d'années pour passer  
des bactéries aux éponges et méduses.**

**3,5 mds à 700 mns d'années.**



**Pendant ces 3 milliards d'années  
il ne se passe pratiquement rien (de connu).  
Sauf que...**

# Il y a 2,7 milliards d'années les cyanobactéries fabriquent du dioxygène à partir du CO<sub>2</sub>

## Photosynthèse.

Par association C est transformé glucides, lipides, protéines. O<sub>2</sub>, un poison, est éliminé

La forme de vie par respiration de l'oxygène que nous connaissons aujourd'hui se met en place dans les océans. Elle remplace la fermentation.





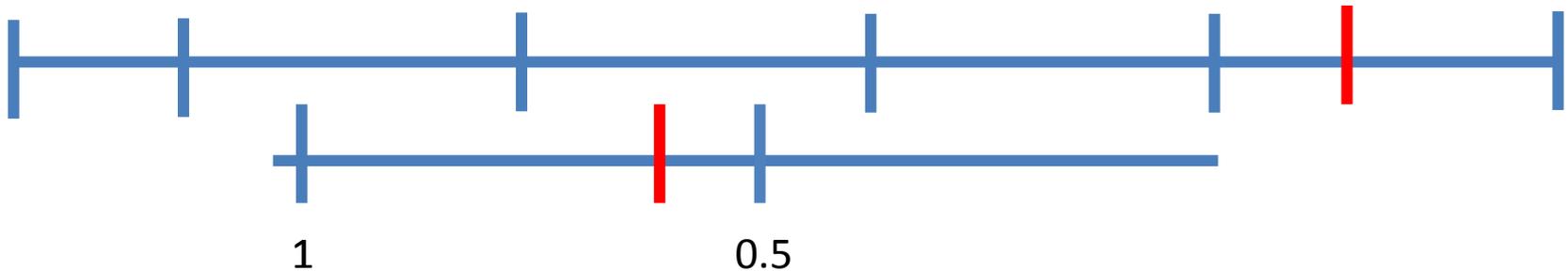
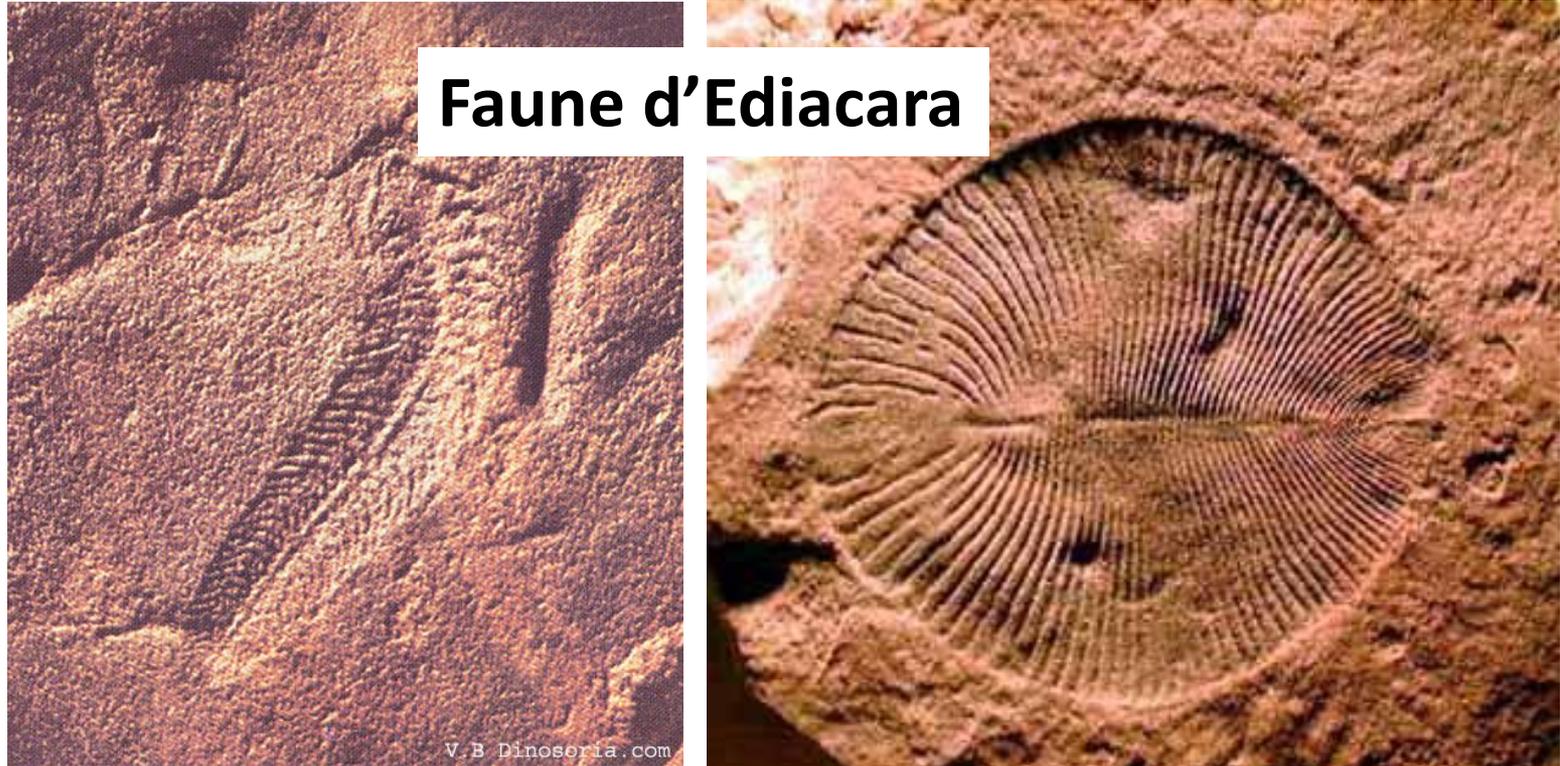
**Il y a 1 milliard d'années**

**l'oxygène se combine  
pour former de l'ozone.  
L'ozone protège  
des rayons UV du Soleil;  
Elle protège la vie.**

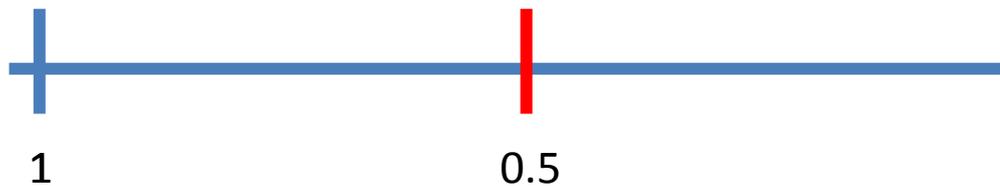


# Il y a 600 millions d'années, éponge et méduses

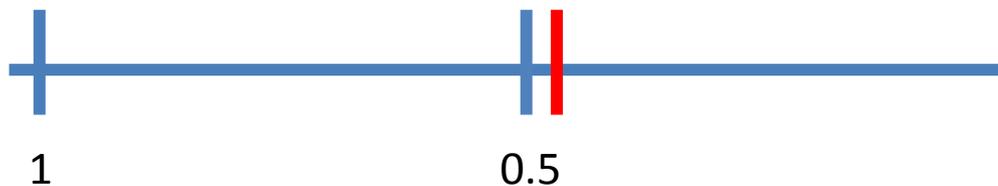
Cellules uniques -> association de cellules spécialisées



# 500 millions d'années : le premier être vivant à s'installer hors de l'eau : les lichens



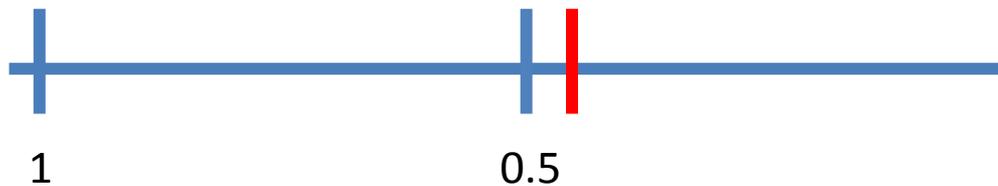
# 475 millions d'années : premières mousses sur les continents



# 470 millions d'années

## La vie explose dans l'eau des océans

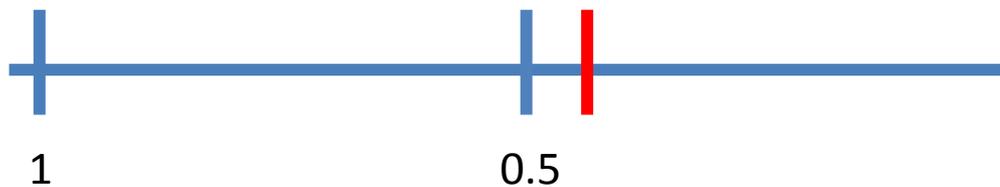
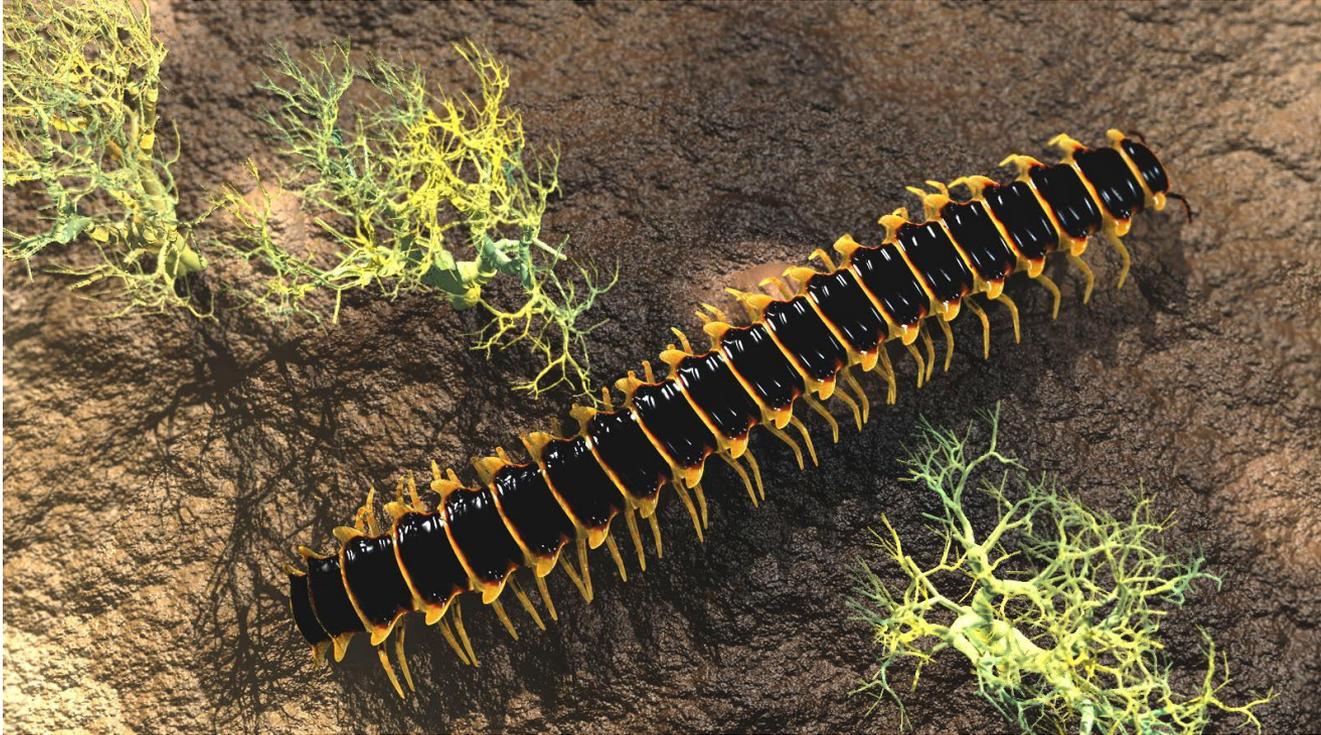
### La « Grande biodiversification ordovicienne » (GOBE)



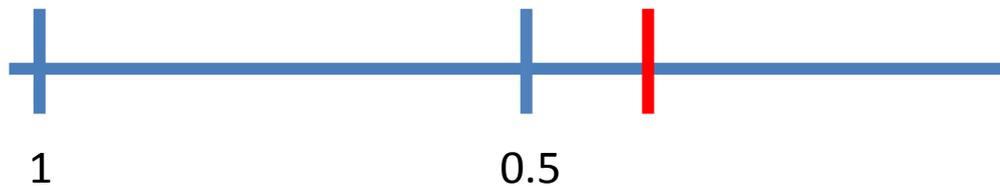
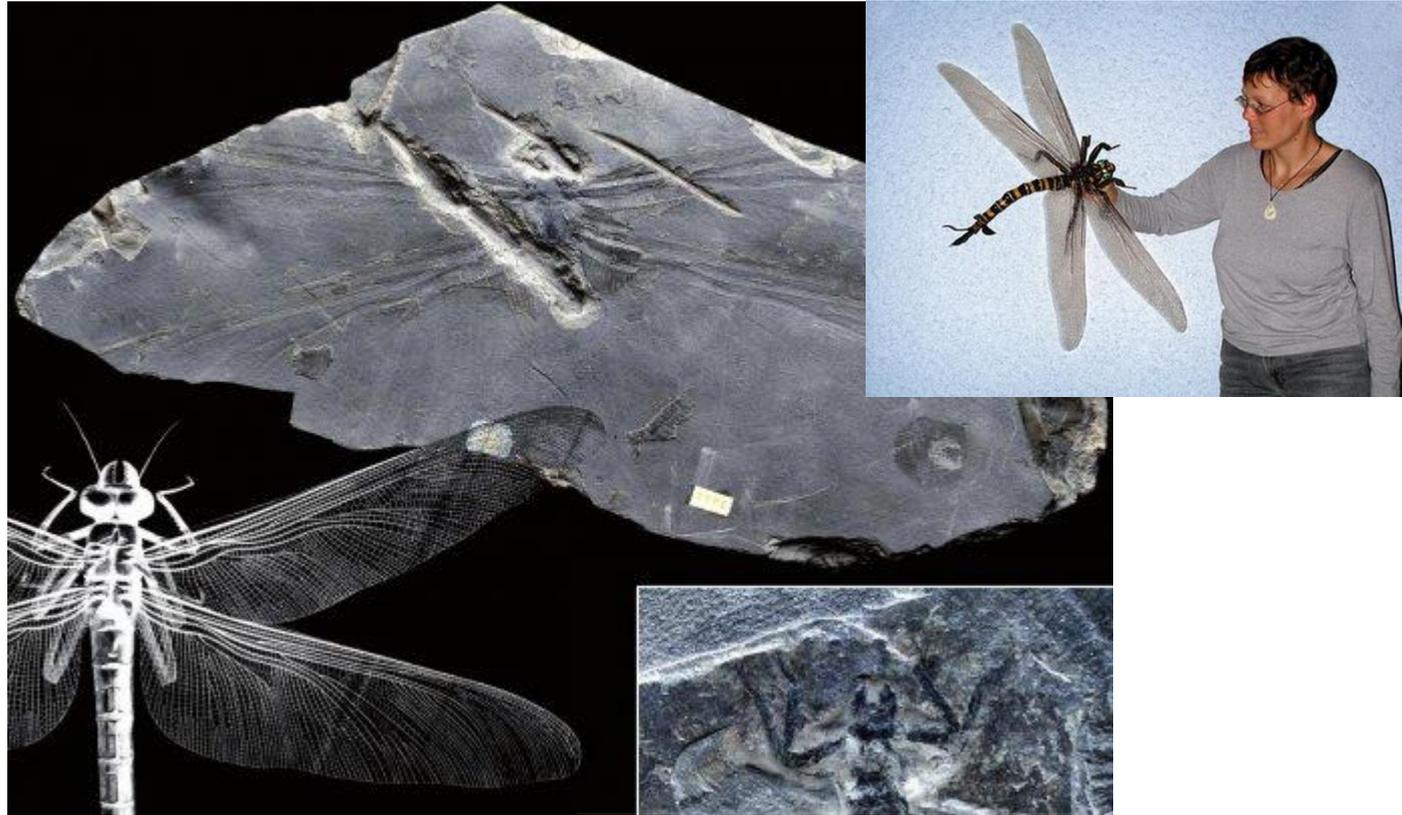
# 430 millions d'années.

## Arthropodes terrestres du silurien.

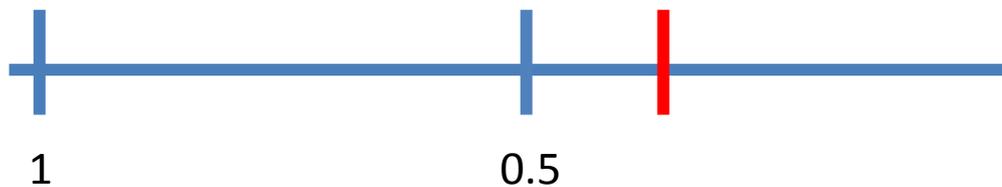
Ils se nourrissent de mousse et de lichens



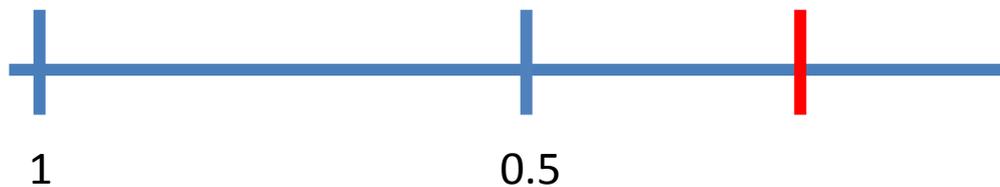
# 385 millions d'années. Premier insecte vers 360 mn d'années Mégameura de Commeny



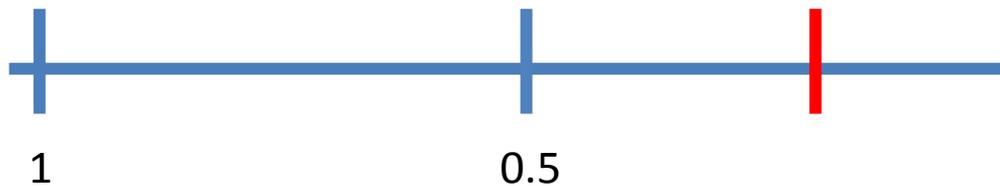
**360 millions d'années. Ichthyostega sort de l'eau**



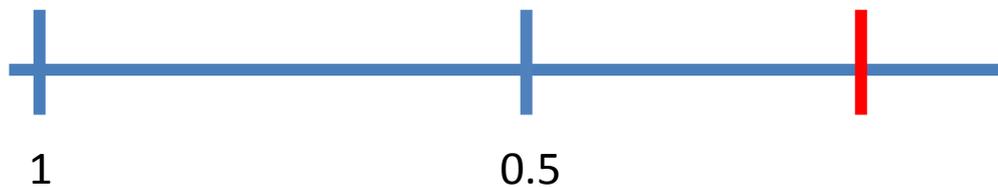
# 220 millions d'années. Apparition des dinosaures



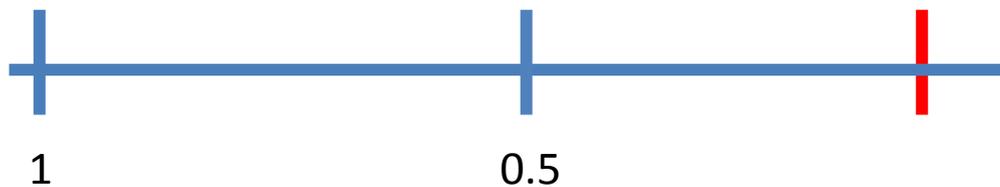
**200 millions d'années**  
**Emborella : première plante à fleur.**  
**Existe encore en Nouvelle Calédonie**



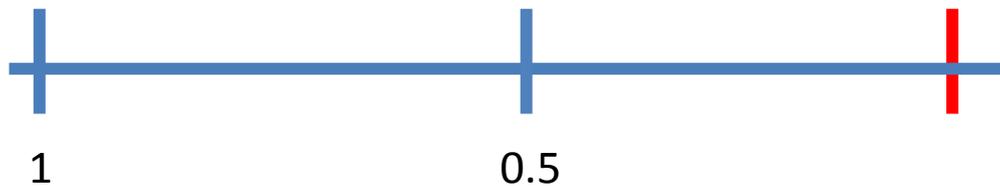
# 150 millions d'années. Apparition des oiseaux.



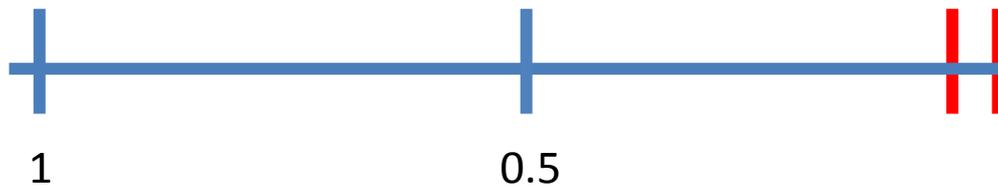
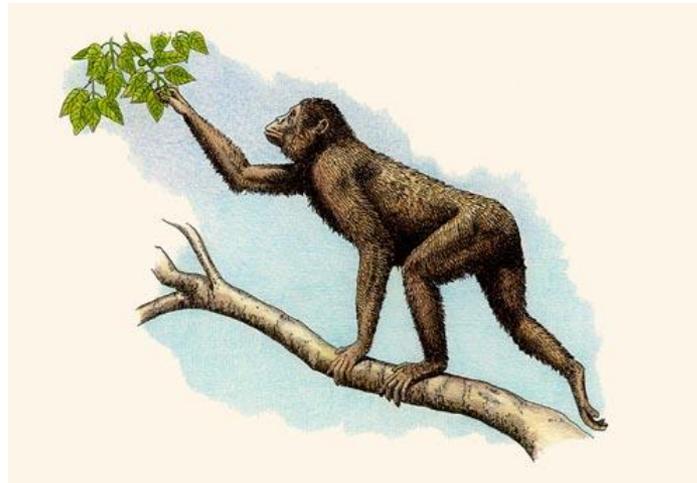
# 100 millions d'années. Apparition des mammifères.



# 65 millions d'années. La Fin des dinosaures.



**60 à 7 millions d'années**  
**Explosion des mammifères**  
**53 millions d'années de Megaconus à Toumaï**



# 7 millions d'années pour arriver à l'homme moderne

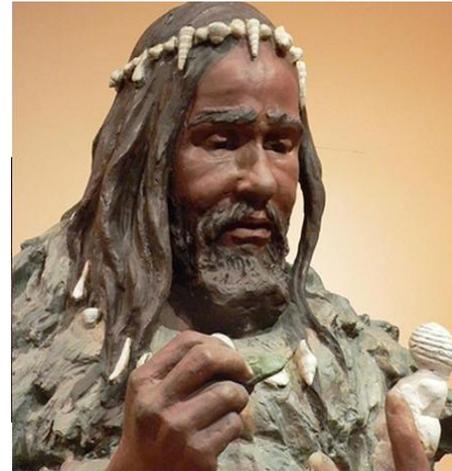
300 000 à 20 000 ans



ERGASTER

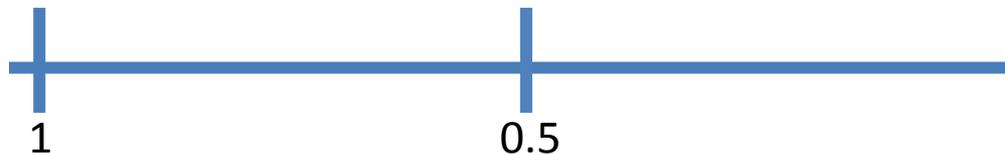


NEANDERTHAL

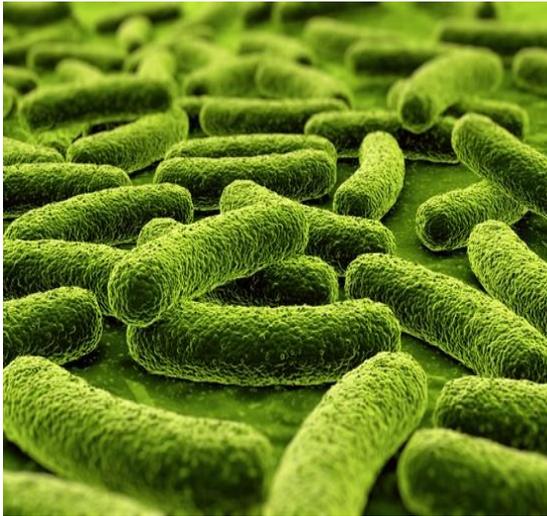


CRO MAGNON

80 000 ans



**Soit 3,5 milliards d'années  
pour passer des bactéries à nous.**



**Sans compter  
qu'en seulement 500 millions d'années  
il y a eu 5 extinctions de masse.**

## **445 Ma, Ordovicien et Silurien**

Glaciation

## **380 Ma, Dévonien**

Anoxie des océans

## **245 Ma, Permien-Trias**

La plus massive.

95 % de la vie marine 70 % des espèces terrestres

Supervolcan en Sibérie, acidification marine

## **200 Ma, Trias-Jurassique**

75 % des espèces marines, 35 % des familles d'animaux

Episodes volcaniques , réchauffement climatique

liés à l'ouverture du futur centre atlantique

dégazage des hydrates de clathrate.

## **66 Ma, Crétacé-Tertiaire**

50 % des espèces, dinosaures non-aviens compris

Impact et volcanisme



**Si la vie sur Terre est un vrai miracle...  
Alors ailleurs?**

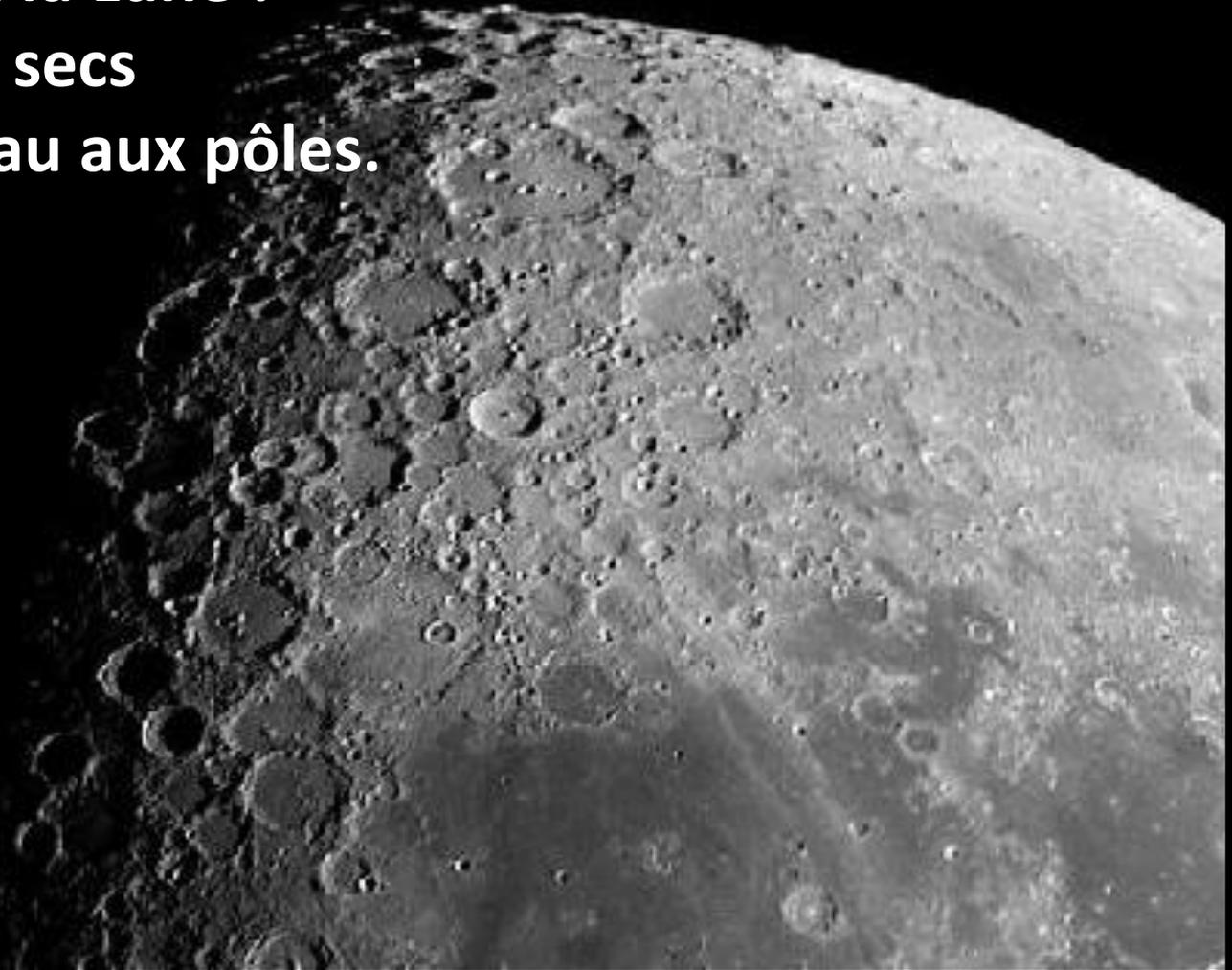
**La forme de vie ma plus simple  
ce sont les bactéries**



# Ailleurs dans le système solaire



**Mercure et la Lune :**  
**deux corps secs**  
**mais de l'eau aux pôles.**  
**Origine ?**  
**Comètes?**  
**Interne?**



# Vénus, un paradis devenu aride

**1 - Trop proche du Soleil 460° au sol**

**Vénus possédait autrefois au moins 4 à 5 mètres d'eau à sa surface**

**Sa proximité du Soleil a fait évaporer l'eau**

**La vapeur d'eau a accentué son atmosphère**

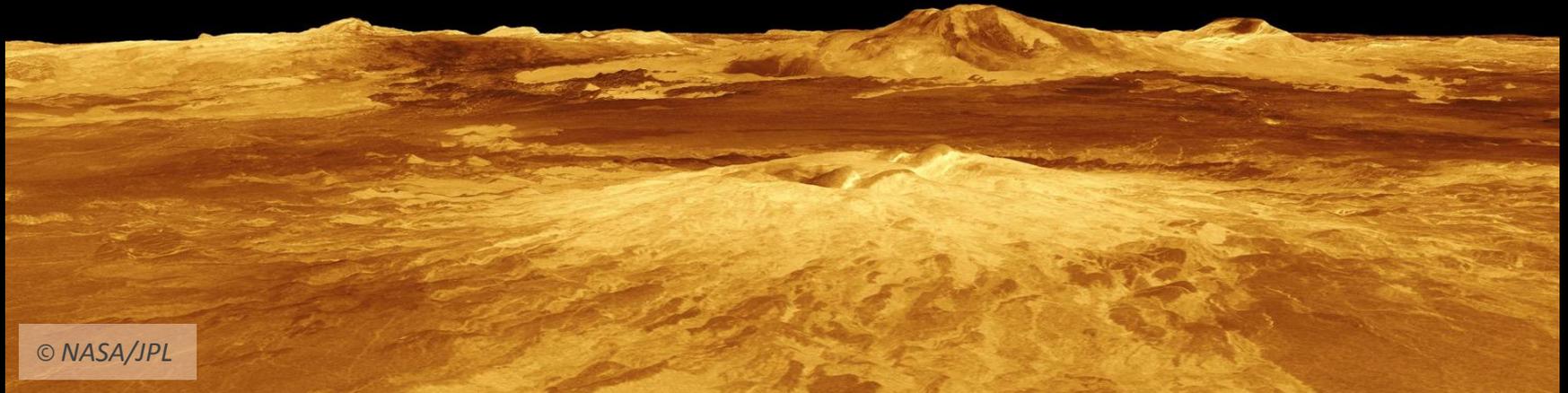
**Ce qui a créé un effet de serre**

**Augmentant la chaleur à la surface**

**Accentuant l'évaporation de l'eau à sa surface**

**Renfonçant l'effet de serre**

**Etc...**



# Vénus, un paradis devenu aride

## 2 – Le volcanisme



Représentation d'artiste du volcanisme sur Vénus

© ESA/AOES

**Le volcanisme a épaissi  
l'atmosphère de Vénus.**

**Elle ne possède pas de champ  
magnétique protecteur  
Le vent solaire a brisé les  
molécules d'eau**

**L'hydrogène et l'oxygène se  
sont échappés dans l'espace**

**0.02% d'eau  
dans l'atmosphère**

**Sur Mars : il y a eu en a eu beaucoup d'eau  
il y a 3 milliards d'années.**

**Bactéries sur Terre : apparition il y a 3,5 milliards d'années.  
Présence de bactéries possibles.**



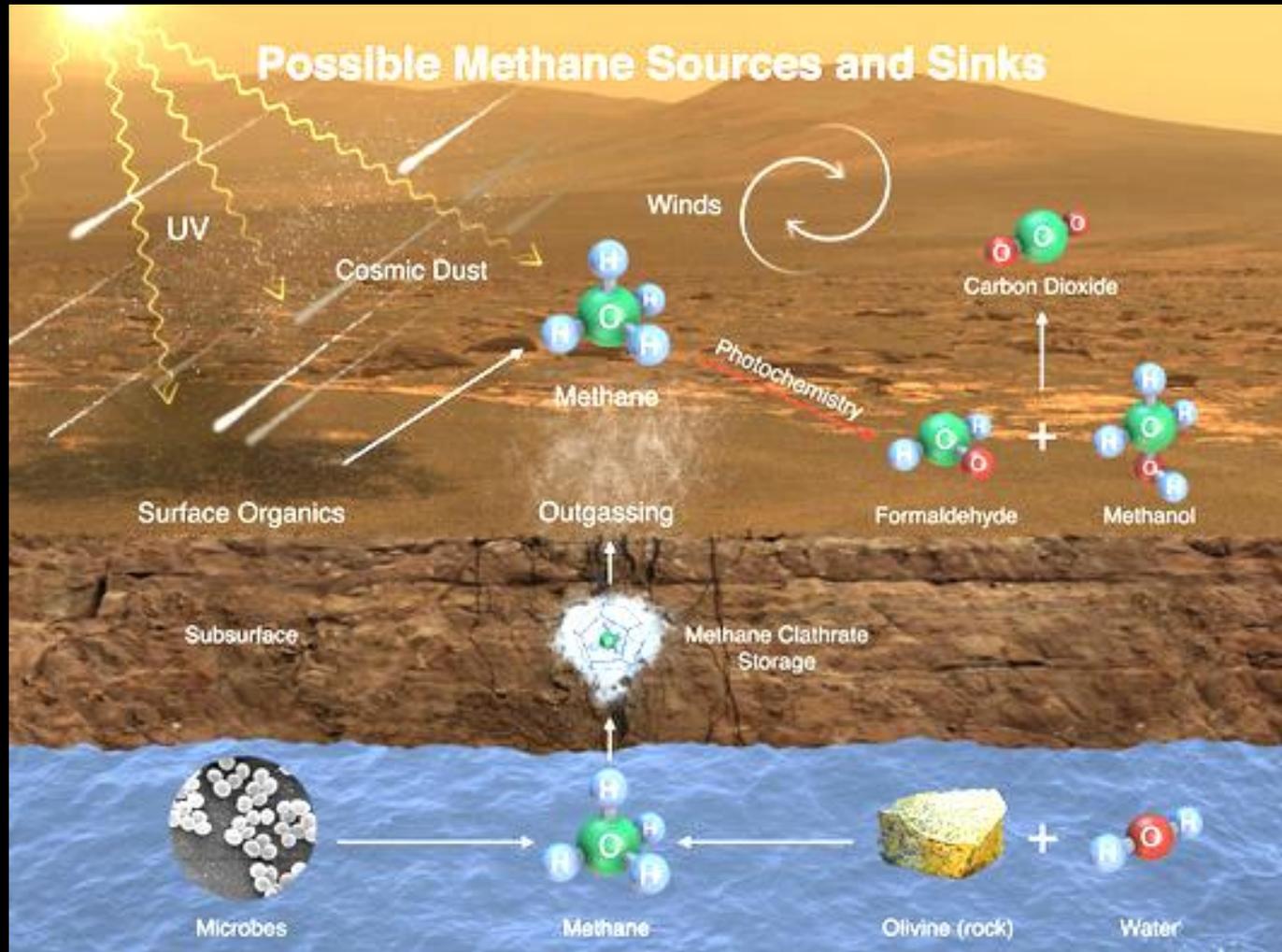
**Le Mont Sharp, au centre du cratère Gale.**

**Montagne de sédiment, s'élevant jusqu'à 5,5 km au-dessus du plancher Nord du cratère.**

**Ces sédiments ont pu être déposés par de l'eau ou par l'effet du vent.**



# Sur Mars il y a du méthane mais ...



# Mais la vie peut aussi se cacher loin de la surface, au fond des océans

Hydrogène, Oxygène

Carbone, Azote

+

....

Fer, Sodium, Calcium, Magnésium

Soufre

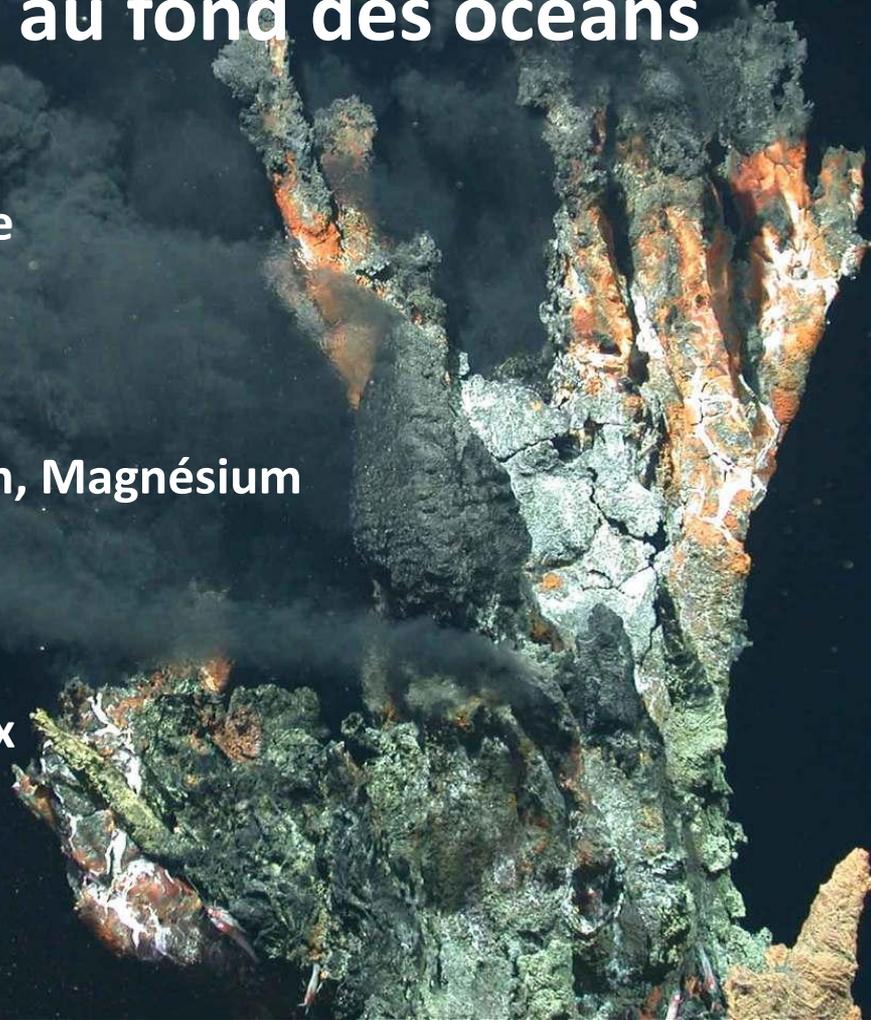
...

Méthane

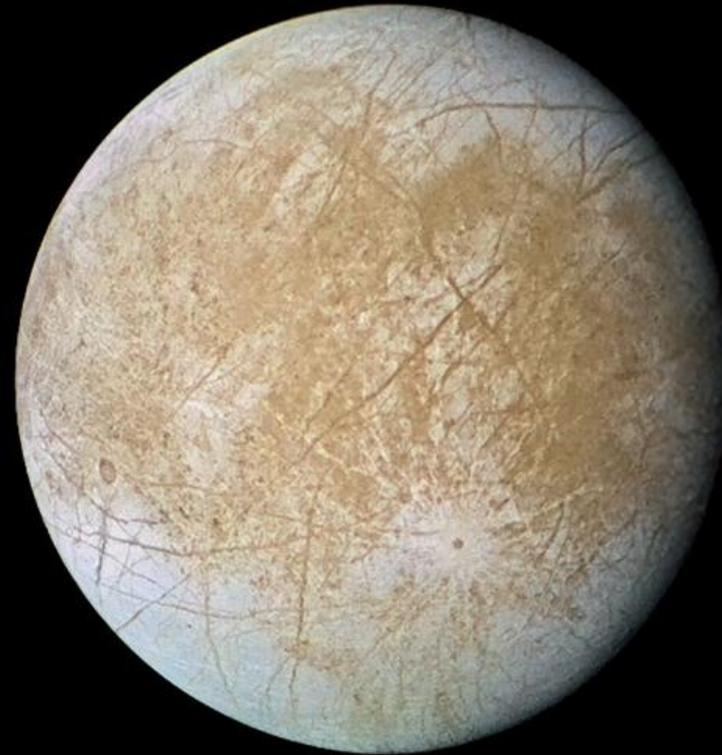
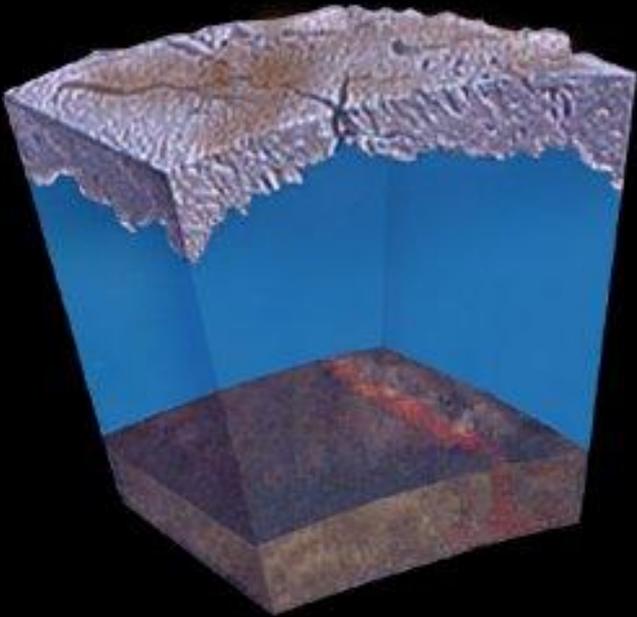
Hydrogène sulfureux

...

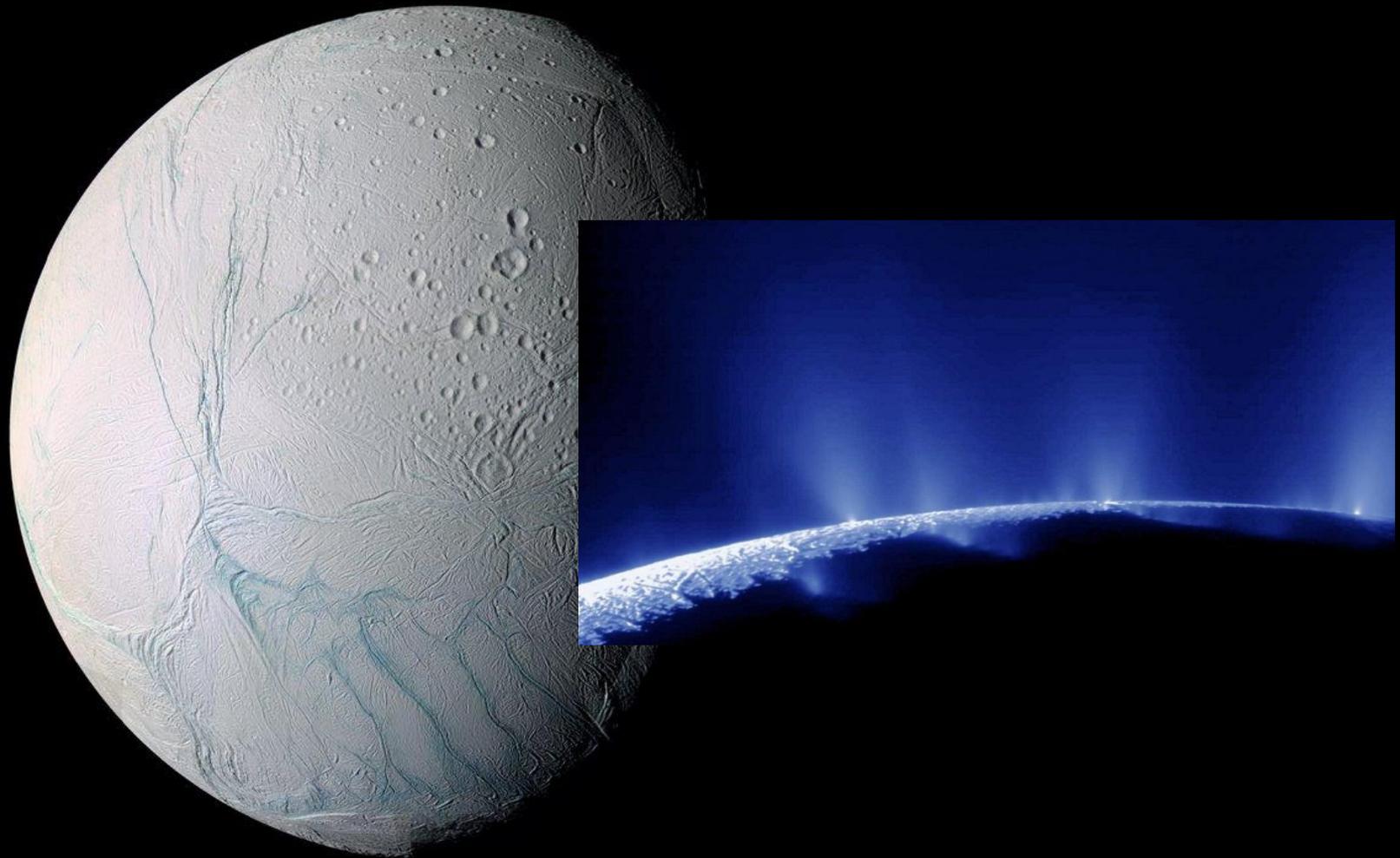
Energie (chaleur)



**Satellite Europe : sous la glace un océan d'eau salée.  
Comme sur la terre primitive.**



**Satellite Encelade : idem Europe.  
Composés organiques dans les geysers (H,N,C,O)**



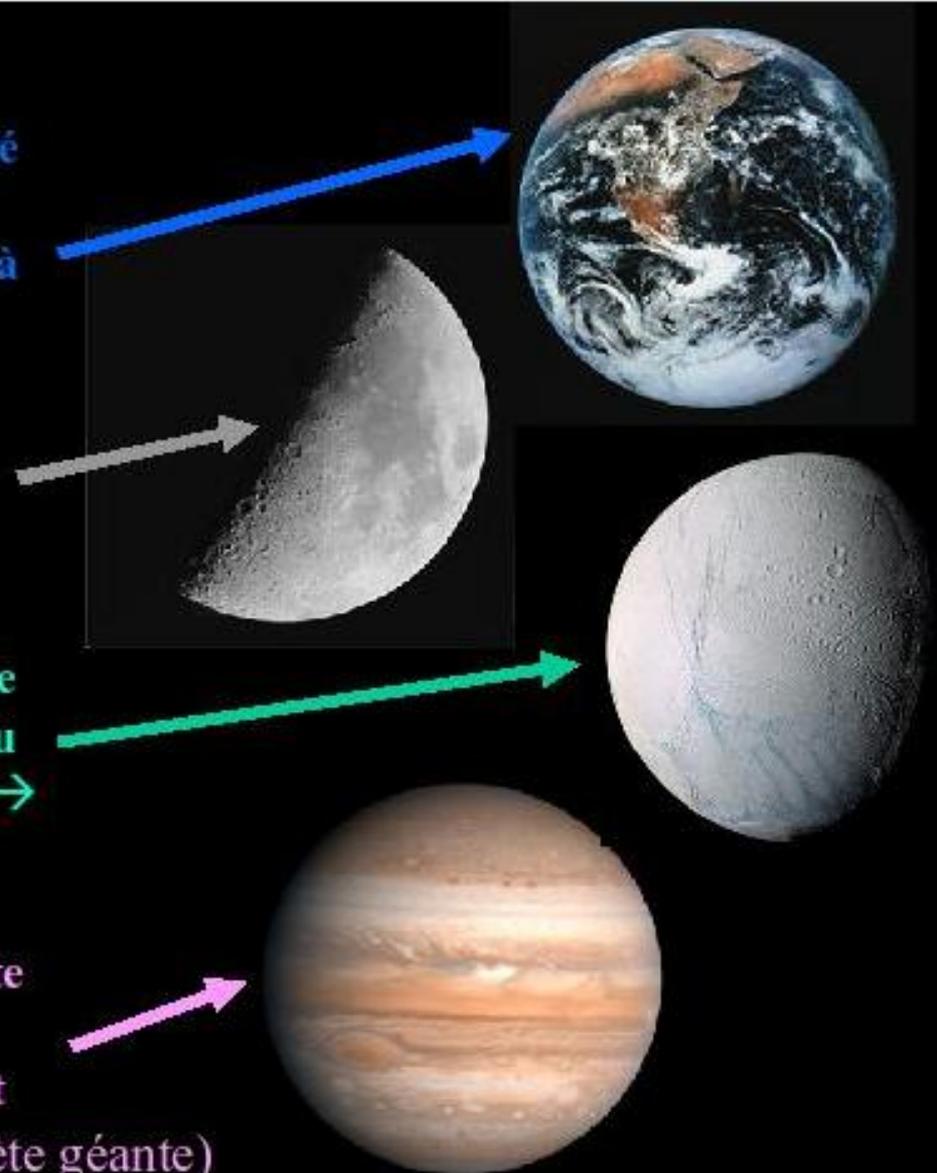
## Récapitulons

Si il fait chaud et que la gravité est suffisante, le peu d'eau initial monte en surface, reste à l'état liquide (l'océan)

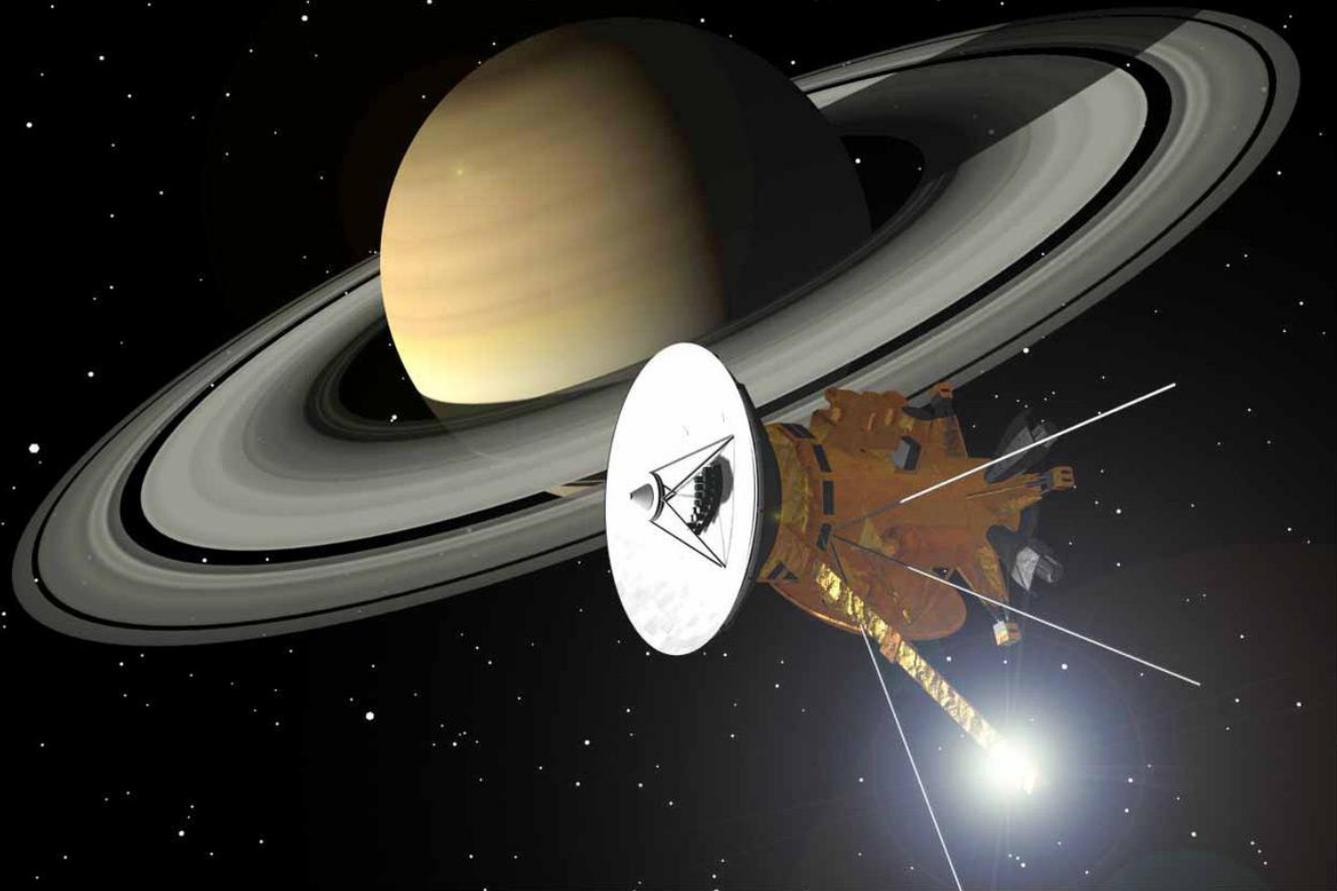
Si il fait chaud mais que la gravité est insuffisante, le peu d'eau part

Si il fait froid ( dans le Système Solaire externe), les 60% d'eau initiaux restent, en glace (→ corps de glace)

Si la gravité est très importante et qu'il fait froid, le corps de glace va attirer l'Hydrogène et l'Hélium qui restent (→ Planète géante)

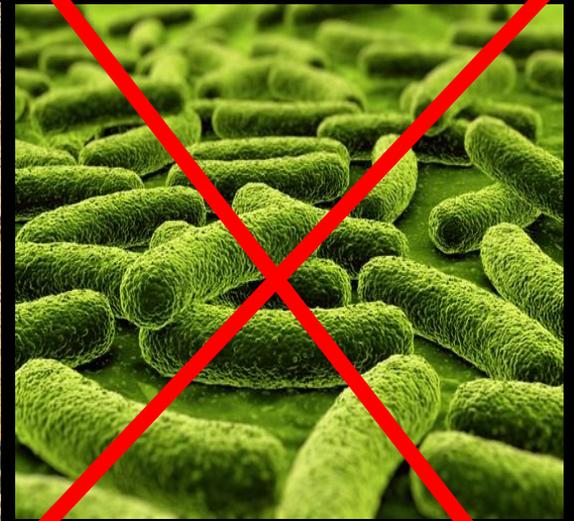
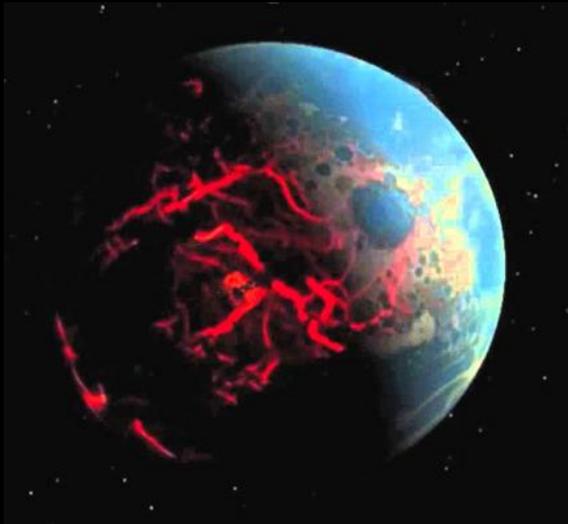


**Aujourd'hui qu'est-ce qu'on a trouvé?**



# Des composés organiques et c'est tout...

4,5 à 4 mds d'années



**Ailleurs hors du système solaire ?**

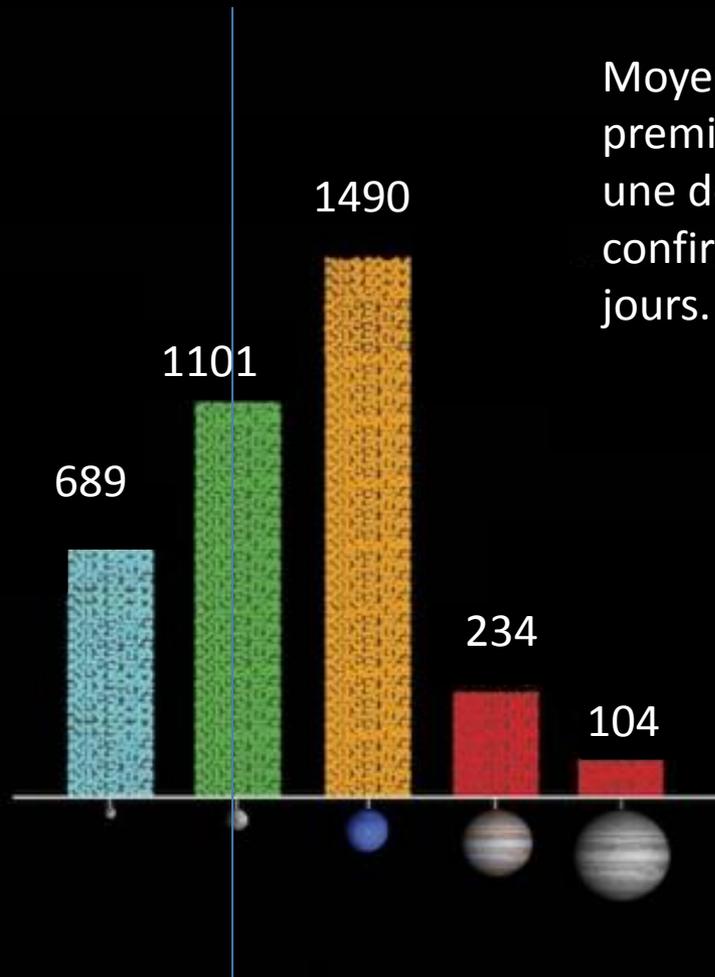


# On a trouvé beaucoup de planètes. Fin 2016 , 3610 authentifiées

689 = < Terre

2930 > Terre

10 dans ZH  
(3/1 000)



Moyenne depuis la toute première exoplanète :  
une découverte et confirmée tous les **2.17** jours.

**Pour l'instant pas de Lune repérée.  
Elle a joué un rôle fondamental  
dans l'apparition et le maintien de la vie.**

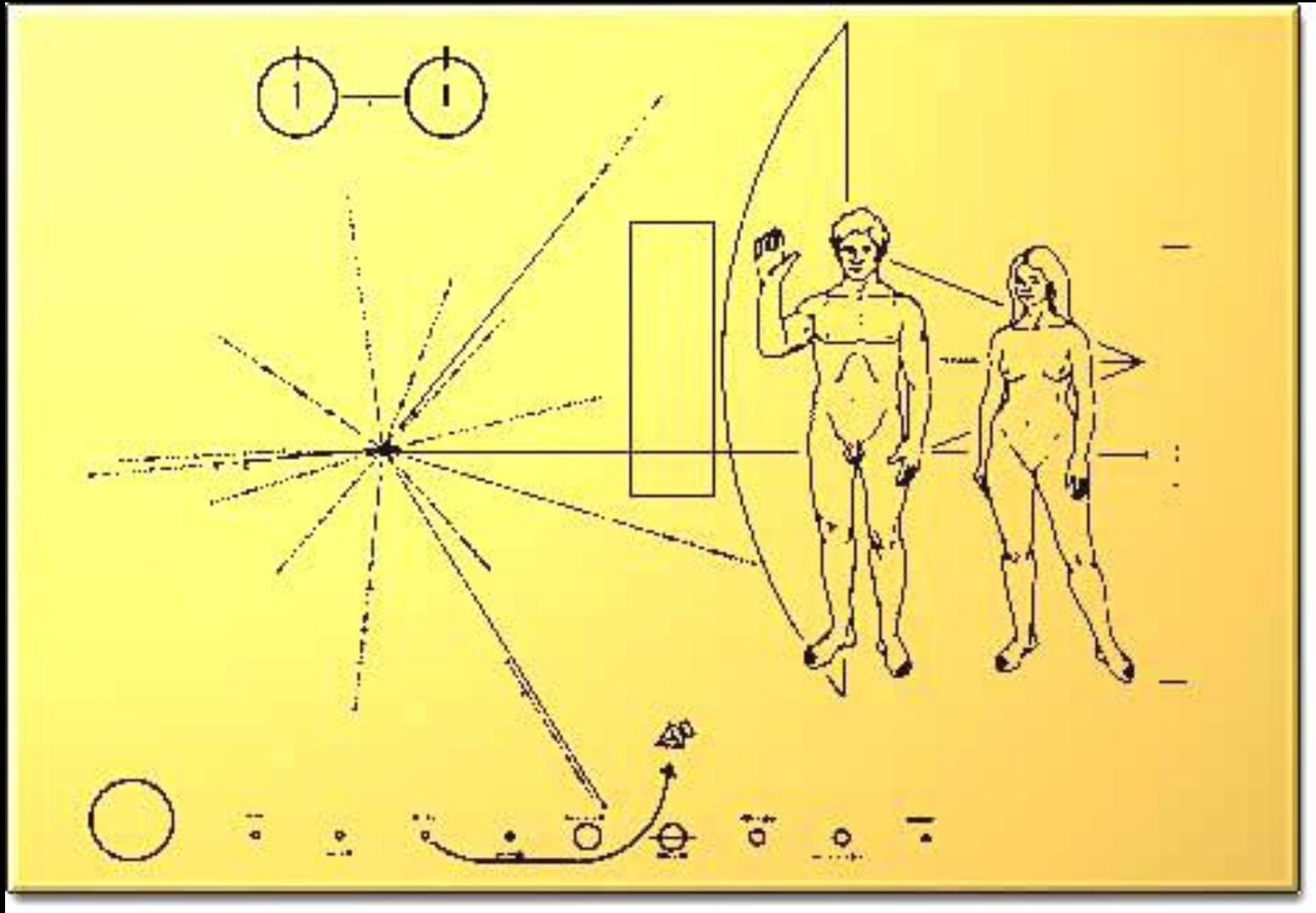


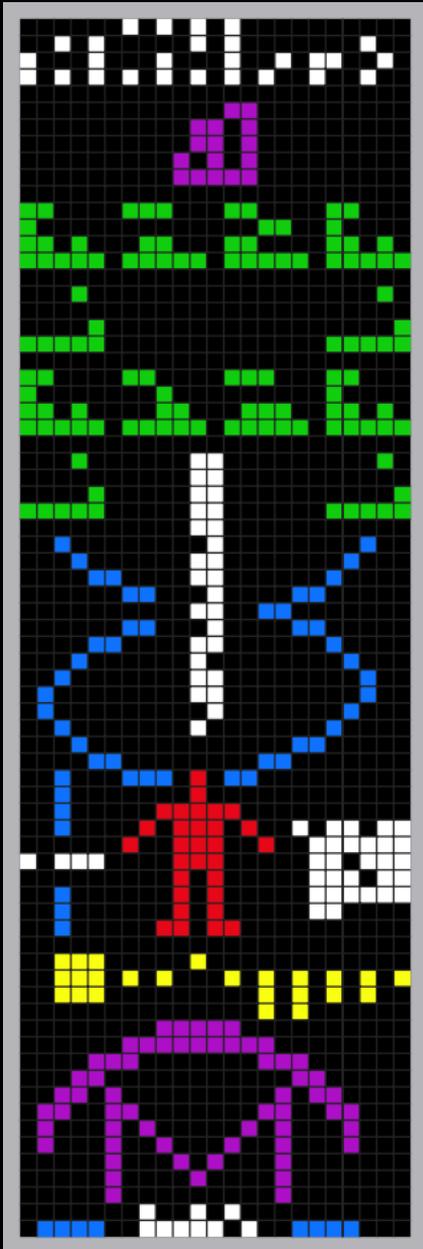
**On n'a pas trouvé de trace de vie.  
Pourquoi ?**

**Parce qu'on a pas (encore)  
les moyens de trouver.  
C'est trop loin !**

**Alors on envoie des messages**

# Pioneer 10 2 mars 1972 - Pioneer 11 5 avril 1973





# Le message d'Arecibo

Message radio  
1974.

Envoyé vers M13  
25 000 années-lumière

**Éléments constituant l'ADN**

**Nucléotides**

**Double hélice**

**Humanité**

**Planètes**

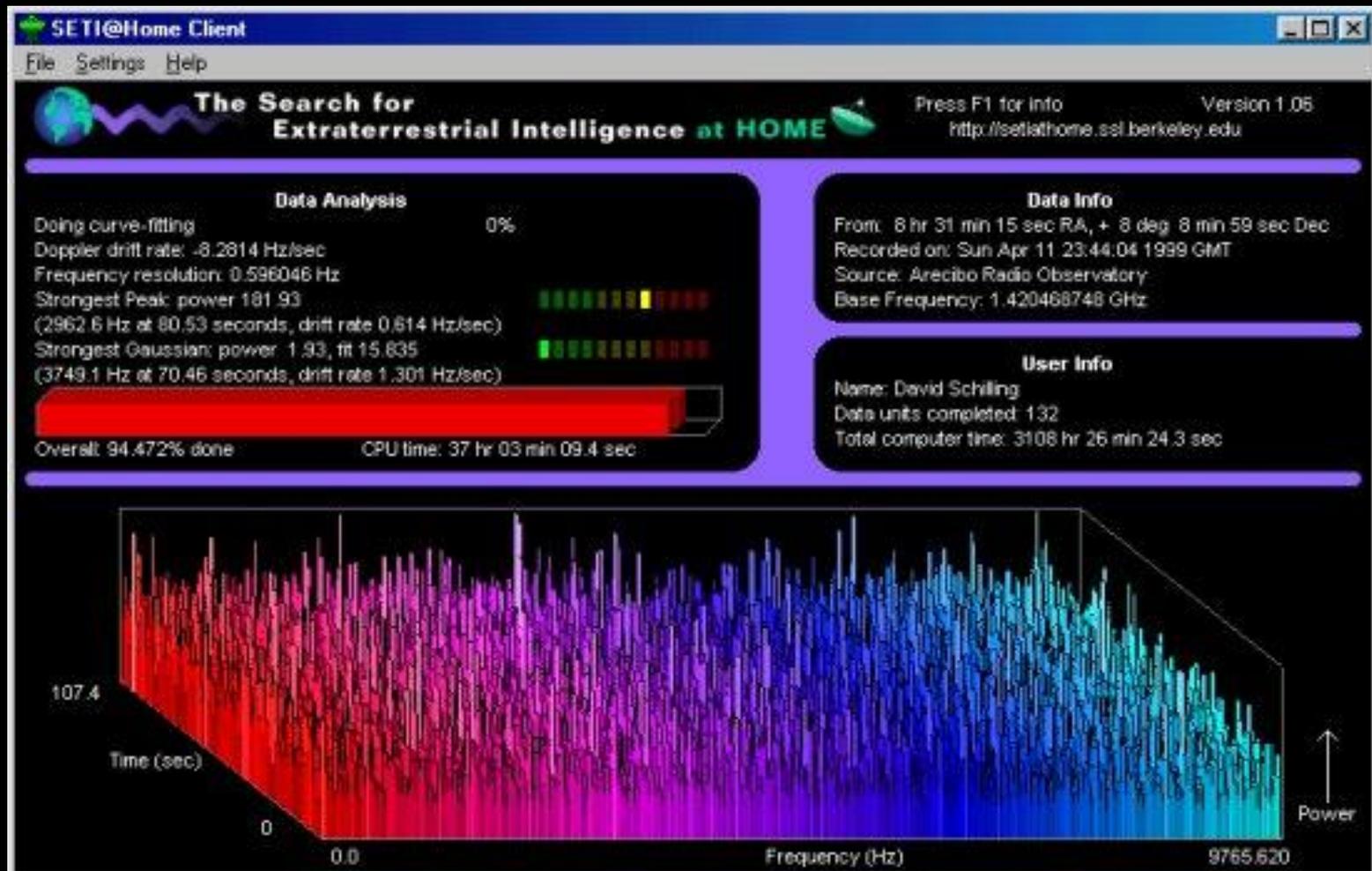
**Télescope**

**Cosmic Call 1999**

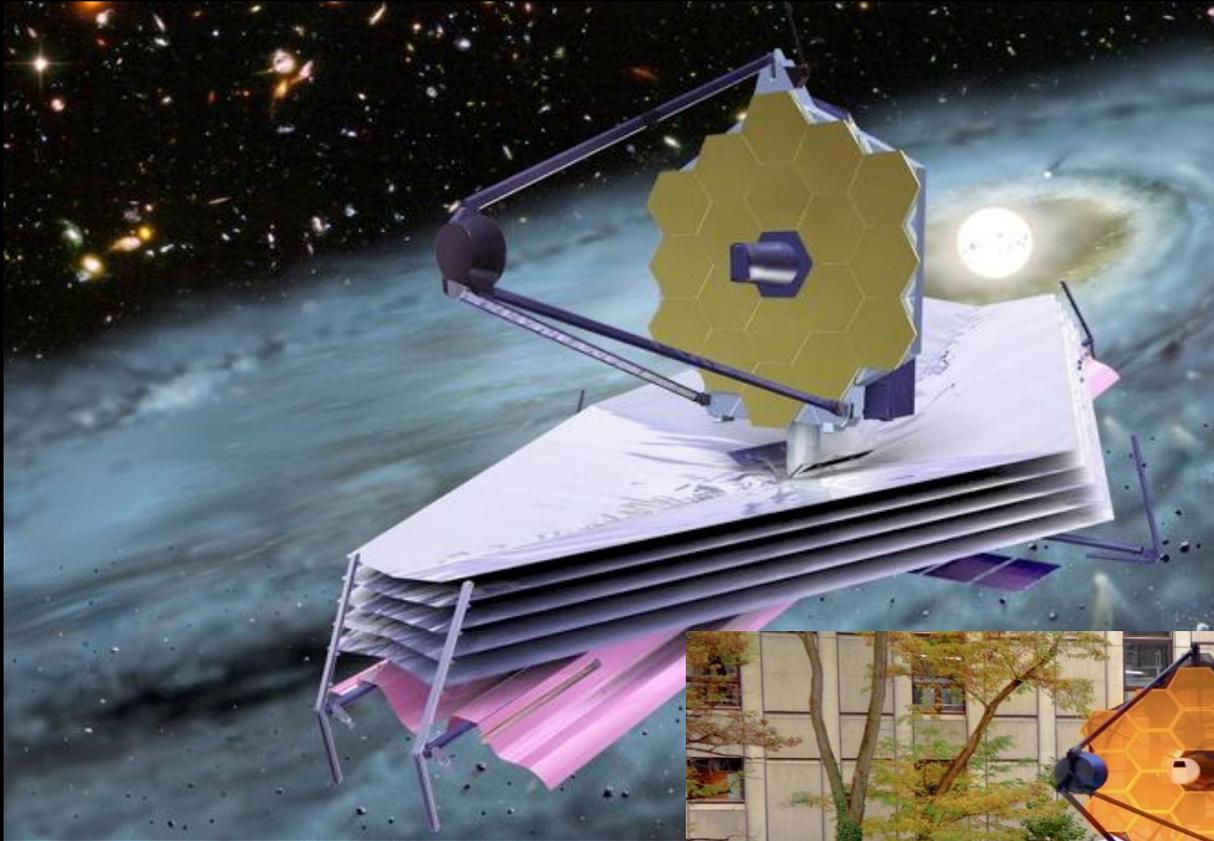
**Cosmic Connexion 2006**

**« A Simple Reponse » 11/10/2016**

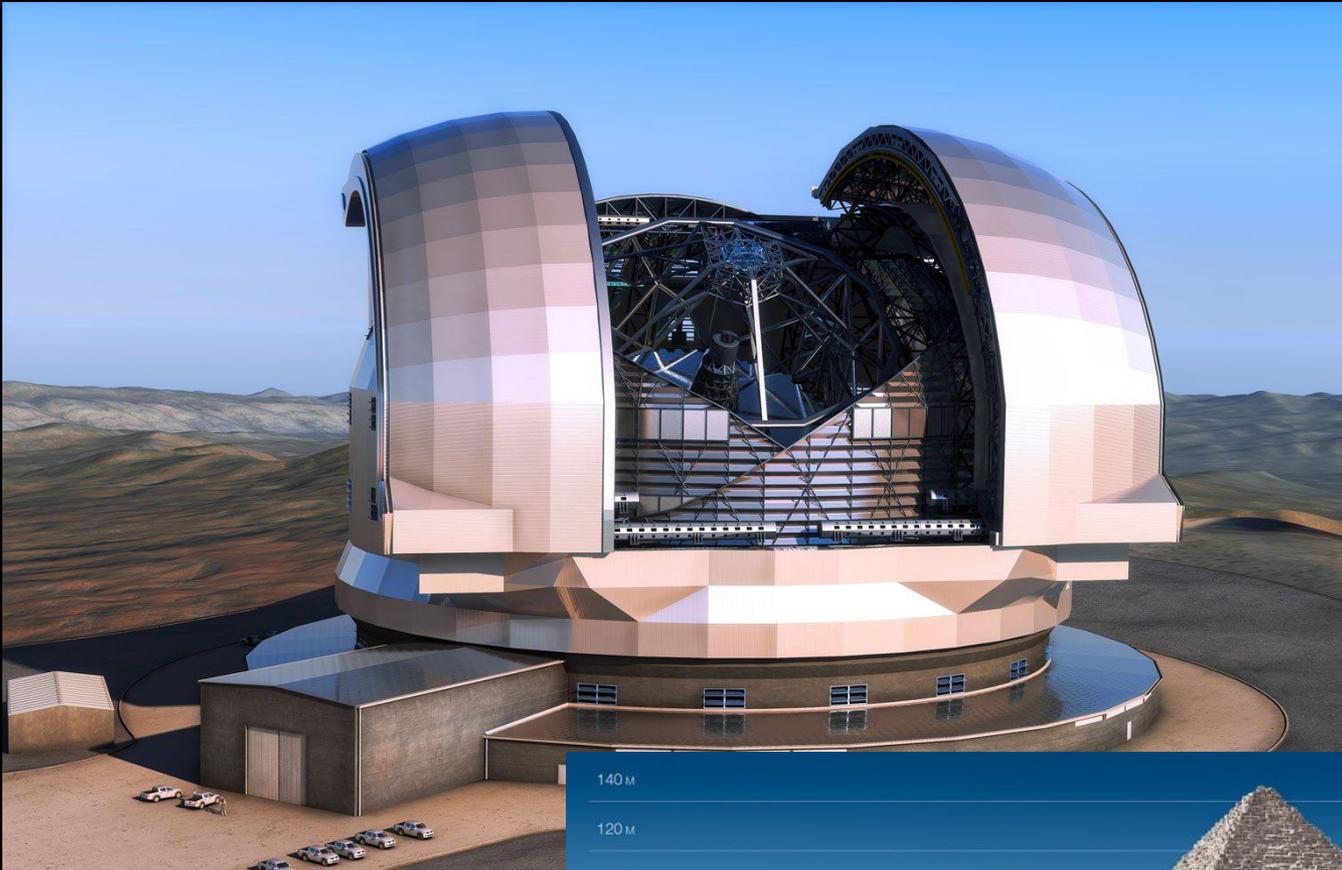
# On « écoute » . SETI at home



# Le satellite James Webb



# Le E.vlt 32 m



## **Selon ce que nous savons en 2016**

**234 milliards d'étoiles dans notre galaxie**

**10% de Soleil = 23 milliards**

**3 / 1000 ont une planète dans la zone habitable**

**69 millions de Terres possibles autour d'un « Soleil »**

**La vie existe-t-elle ailleurs?**



**Rien ne s'y oppose.**

**La preuve ?**

**On est là pour en parler.**

**C'est tout ce que l'on peut dire.  
Mais il reste une hypothèse non  
encore explorée...**



Téléphone  
maison...

# De l'EAU : un excellent solvant

