

Origine de la vie terrestre et extra-terrestre en 2021

Avancées

- Nouveaux micro-organismes découverts
- Nouvelles expériences de biologie
- Nouvel arbre du vivant

La vie : « ensemble des *fonctions* qui résistent
à la mort »

Xavier Bichat

- D'une façon plus précise un être vivant se caractérise par :
 - Une membrane sélective
 - Un métabolisme permettant de réaliser des « fonctions »
 - Un système de reproduction.

Rappel

- Sucres : **énergie**, structures
- Lipides : **énergie**, structures (membranes)
- Protéines : **structures** (os, muscle, peau...), **enzymes**, énergie.
- Acides nucléiques : support de l'information
- Mais besoins du milieu extérieur : lumière, substrats

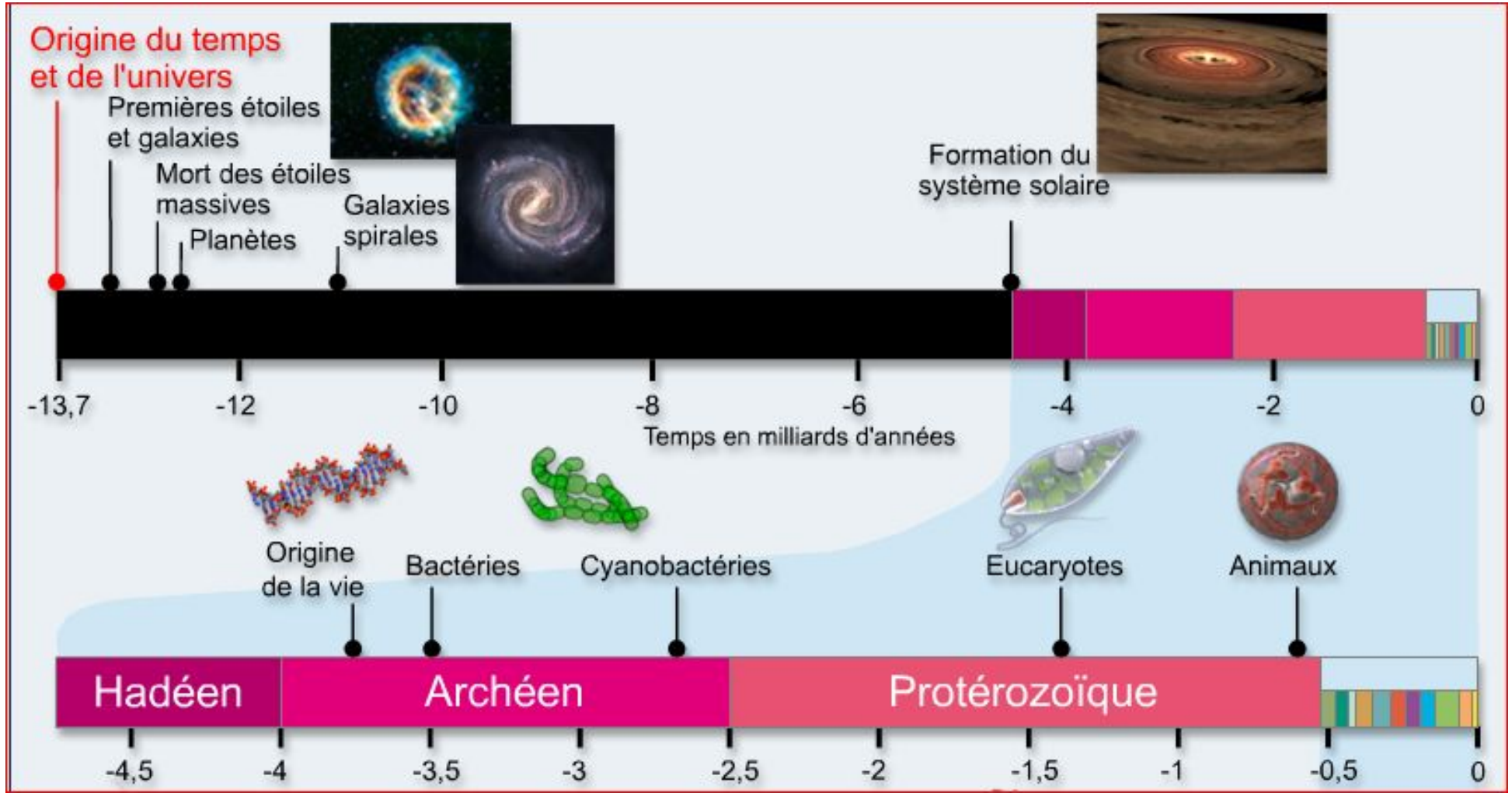
- **Fonction** : aspect dynamique du vivant :
 - Échange
 - Catalyse
 - Replication
 - Reproduction ...
- Relations avec l'ensemble du biotope.
- Aucune fonction n'est isolée et indépendante des autres.
- Stabilité mais aussi possibilité de variations et d'évolution (progrès)

Les trois formes de vie

Classification actuelle à l'aide de l'ADN ribosomal

- **Procaryotes, sans noyau : bactéries**
- **Eucaryotes, avec un noyau, uni ou pluricellulaires.**
- **Archées**, sans noyau, mais au fonctionnement proche des eucaryotes. Elles possèdent parfois des fonctions qui n'existent ni chez les procaryotes, ni chez les eucaryotes comme la méthanogenèse. Ce ne sont pas que des extrémophiles.

Chronologie



Chronologie

- Naissance un peu avant 4 milliards d'années mais pas de traces certaines mais probabilité très grande.
- 3,5 milliards d'années : premières traces fossiles.
- La grande question : comment est-on passé de la matière inorganique à ces fossiles ?
 - On ne trouvera pas de trace fossile de ce passage (tectonique, atmosphère, la vie elle-même)
 - Il faut trouver expérimentalement

Quête des origines au laboratoire

Un paradoxe

- Protéines nécessaires pour former ADN et ARN
- Mais :
- ADN et ARN nécessaires pour la synthèse des protéines

Les questions

- Comment passe-t-on des atomes et molécules (simples) à des molécules complexes.
- Apparition de métabolismes : production et échanges d'énergie, synthèse des structures, reproduction).
- Formation des membranes .

Expérience de Miller

- Rappel : eau + ammoniac + méthane + H₂
- Arcs électriques
- → urée, formaldéhyde, acide cyanhydrique et un acide aminé : la glycine. Molécules dites « prébiotiques »

Critiques de cette expérience

- Taux de H_2 trop élevé par rapport à l'atmosphère primitive. Beaucoup trop de méthane et peu de CO_2
- Or l'atmosphère primitive contenait peu d'ammoniac et beaucoup de CO_2
- L'expérience produit de très faibles quantités de métabolites (par rapport aux sources hydrothermales).

De nouvelles expériences

Louis Hazemann CNRS – Grenoble.

- Reproduction des conditions existantes près des sources hydrothermales :
 - Pression : 1 000 bars
 - Température : ~ 1 000 °C
- Construction d'un autoclave spécifique.
- Objectifs : savoir comment se forment les molécules des sources hydrothermales.

Ne pas confondre

- La présence de molécules « prébiotiques » et l'origine de la vie :
 - Beaucoup de molécules peuvent être formées dans le milieu interstellaires.
 - Sont-elles nécessairement toutes des précurseurs de la vie ?
 - Ont-elles apportées la vie dans d'autres planètes ?
- Ces molécules ne sont pas suffisantes, beaucoup d'autres conditions, nombreuses, sont nécessaires à l'apparition de la vie.

Séquences schématiques de la vie

- Univers pré – ARN
- Univers à ARN
- Univers à ADN
- Cellules à noyau

Univers pré - ARN

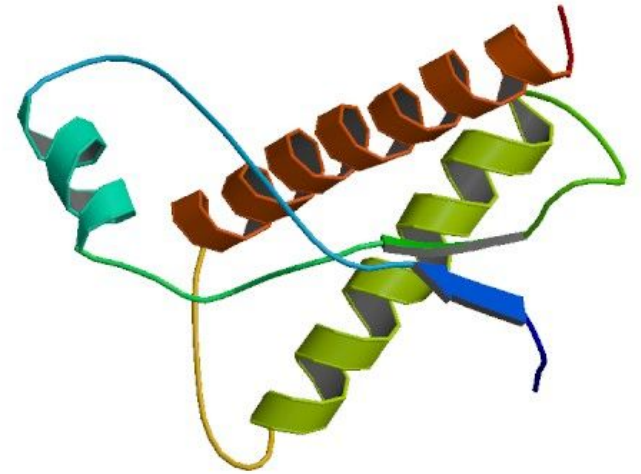
- Atomes nécessaires : C, H, N, O, P, F, S ...
- Energies issues de la lumière : ultra violets intenses aux origines ou de la chaleur des sources hydrothermales..
- Présence d'atomes (métaux des astrophysiciens, formés par les étoiles)
- Catalyses sans enzymes : surfaces minérales (argiles, pyrite de fer).
- Un exemple :



- Les molécules « prébiotiques » sont plutôt simples.
- Mais la formation des molécules plus complexes reste inconnue.

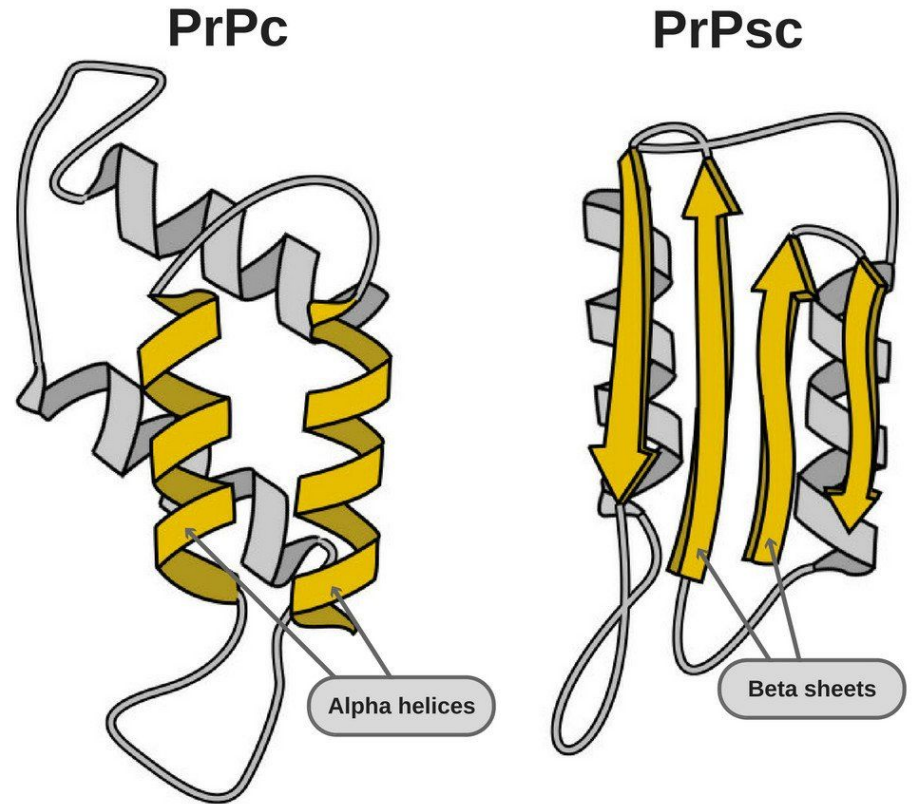
Un exemple : les prions

- Il existe une protéine normale, nécessaire à la vie : la protéine PrPC.
- Cette protéine est synthétisée par les voies normales de la synthèse des protéines (ADN et ARNs)



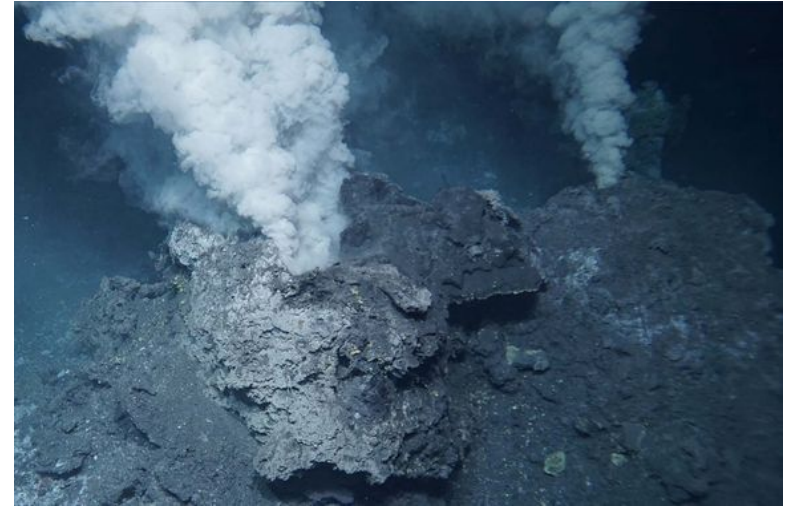
Transformation pathogène

- Simple réarrangement de forme.
- Reproduction sans molécule informative contrairement aux virus
- Reproduction autocatalytique et nécessité du prion normal.



Les molécules dites « pré-biotiques »

- Fabriquées à haute température dans les fosses hydrothermales (fumeurs blancs)
- Dans le milieu inter-planétaire : matière retrouvée dans des météorites et le milieu interstellaire dans les comètes.
- Grande diversité des molécules formées (plus que nécessaires).
Comment s'est fait l'organisation :
 - Sélection darwinienne.



Et ensuite

- Par suite d'essais et échecs successives : (sélection darwinienne) apparition de catalyseurs biochimiques.
- Mais : absence de « mémoire », tout doit être toujours recommencé.
- La mémoire : apparition des ARN (Comment?)

Synthèse pré-biotique de l'ARN

- John Sutherland et al. (2009).
- Synthèse d'un nucléotide contenant de la pyrimidine et du ribose à partir de cyanamide, cyanoacétylène, glycol-aldéhyde, glycéraldéhyde et de phosphate inorganique c'est à dire d'éléments non biologiques.
- La synthèse se fait en deux semaines.
- Ensuite polymérisation des unités élémentaires sur des minéraux (montmorillonite) → ARN

Univers à ARN

- Deux propriétés :
 - Code source
 - **Et** fonction enzymatique (ribozyme).
- Questions de recherche :
 - 1- comment de petits fragments d'ARN peuvent-ils se recombinaer et donner des ARN ayant des propriétés supérieures à d'autres.
 - 2- Permet la sélection de biochimies de plus en plus complexes.
 - 3- L'environnement modifie ces effets de sélection.

Mécanismes complexes

- Synthèses des protéines:
 - ADN + ARN
 - ARN messenger
 - ARN ribosomal
 - ARN de transfert
 - Enzymes
 - Substrats tirés de l'environnement
- Comment s'est formé l'ADN ?

Autre fonction indispensable : les membranes

- Processus initial encore mal connu.
- Nécessite des acides gras et un pH adéquat.
- Peuvent se former assez facilement près des sources hydrothermales (fumeurs blancs)
- Membrane synthétisée par Chen et al. 2005.

Encapsulation

- Ces « membranes » forment des vésicules qui emportent avec elles des molécules complexes comme par exemple des ARN primitifs.
- Ces organites pourraient être à l'origine de LUCA, lui-même à l'origine des procaryotes, archées et eucaryotes.

La cellule eucaryote

- Découverte de l'existence d'un procaryote en symbiose (2012) : précurseur des eucaryotes ?
- La cellule eucaryote : « Reine » de la symbiose :
 - Mitochondrie (bactérie aérobie)
 - Réticulum endoplasmique (cyanobactérie)Tous deux synthétisent des protéines.

Arbre évolutif du vivant

- Deux schémas, **le « classique »** :
 - 1- LUCA →
 - Procaryotes
 - Archées
 - Eucaryotes

Last Universal Common Ancestor

Schéma plus récent (2015 - 2021)

- LUCA → Bactérie + Archées → Eucaryotes
- Une archée aurait « avalé » une bactérie, lui apportant des fonctions qu'elle ne possédait pas : utilisation de l'oxygène interne de l'archée et production d'une nouvelle membrane par exemple.
- C'est l'origine des mitochondries.
- *prometheoarchaeum syntrophicum* : Hiroyuki Imachi Nature 2020.

- Cette association serait à l'origine des eucaryotes résistants à l'oxygène puis utilisateurs de l'oxygène exogène.
- NB : pas besoin de lumière pour le développement de ces archées.

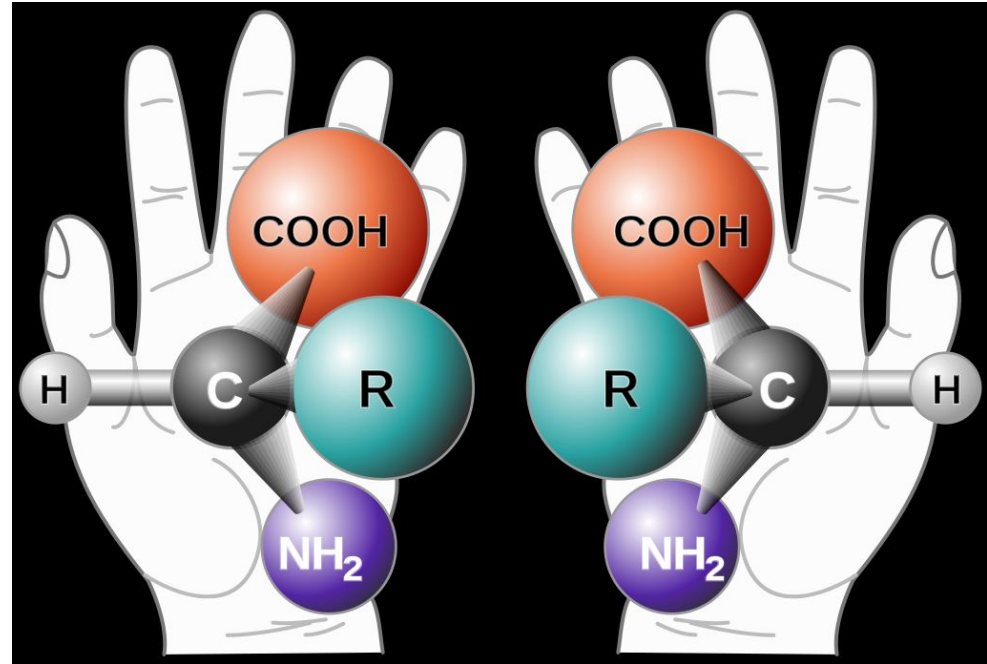
Autres biochimies
extra-terrestres possibles.

Les biochimies alternatives

- Sur Terre : la chimie du carbone avec azote, hydrogène et oxygène.
- La biochimie du silicium :
 - Même tétravalence
 - Permet la captation et la transmission d'énergie.
 - Instabilité dans un milieu contenant de l'eau ou du carbone
 - Intégration difficile des molécules dans les métabolismes.

La chiralité

- Acides aminés : type L (lévogyre)
- Sucres (glucose) : type D (dextrogyre)
- Des mondes inverses seraient possibles.

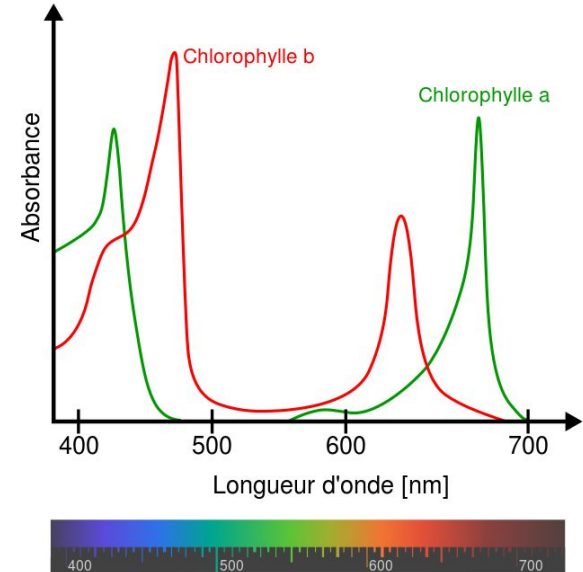


Remplacement de l'eau

- Autres solvants : acide sulfurique, ammoniac...
- Mais moins de diversité de réactions biochimiques.

Une autre photosynthèse

- Sur Terre : la chlorophylle absorbe les longueurs d'onde du rouge et du bleu → couleur verte
- D'autres molécules ont précédé la chlorophylle : absorbent le vert et jaune : couleur pourpre



Conclusions

- On comprend mieux les mécanismes de formation de molécules complexes auto-reproductives.
- On comprend la formation des membranes.
- Comment les deux « fonctions » se sont-elles associées ?
- Comment s'est formé l'ADN ?
- Quel est la nature de LUCA ?