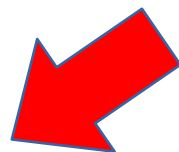
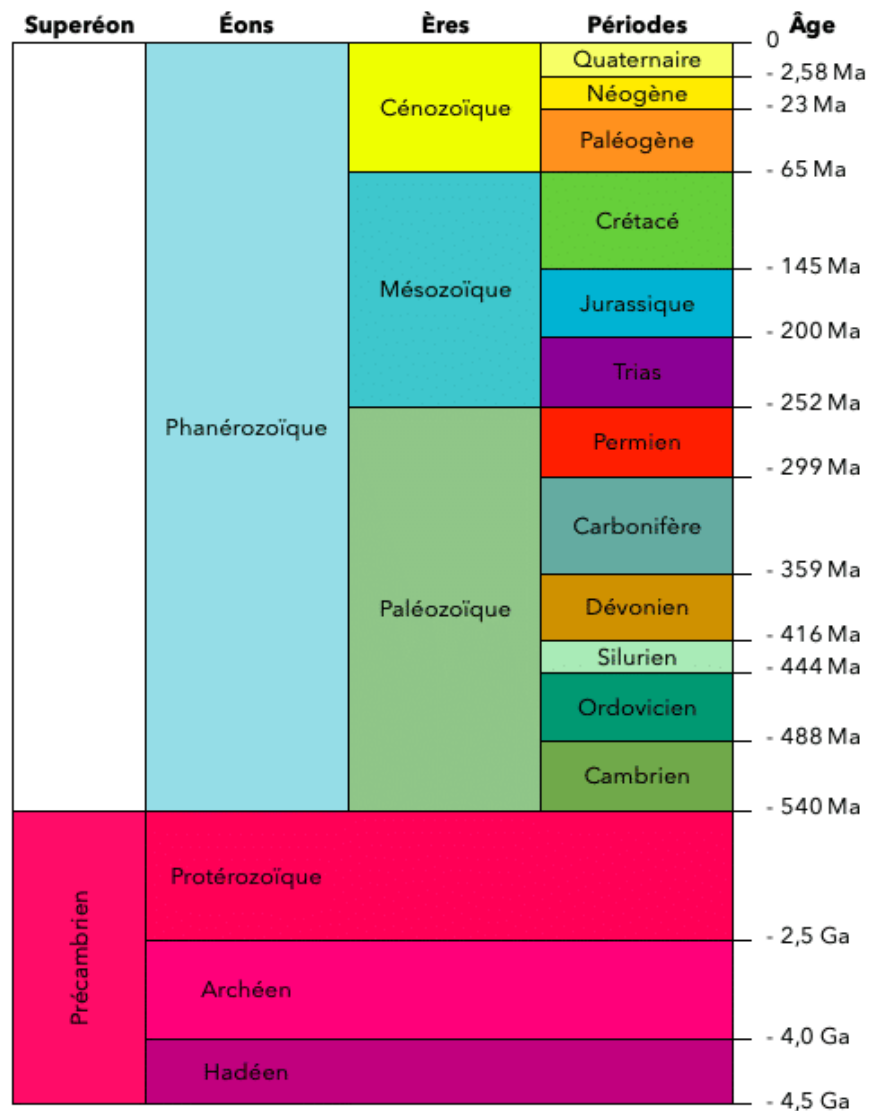


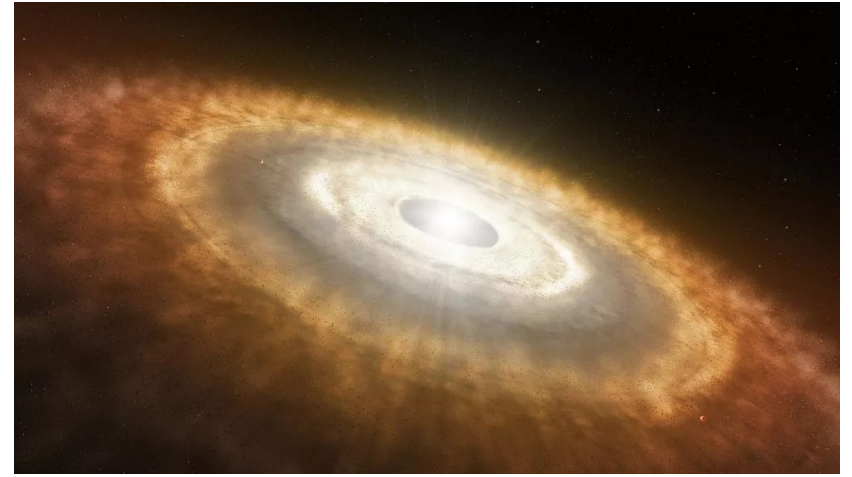
Leçon 1 :
La Terre primitive

Échelle du temps géologique simplifiée



Les débuts du système solaire

- Naissance du Soleil (premiers solides) : 4,57 Ga
- Naissance de la Terre : 4,54 Ga



Disque protoplanétaire (vue d'artiste)

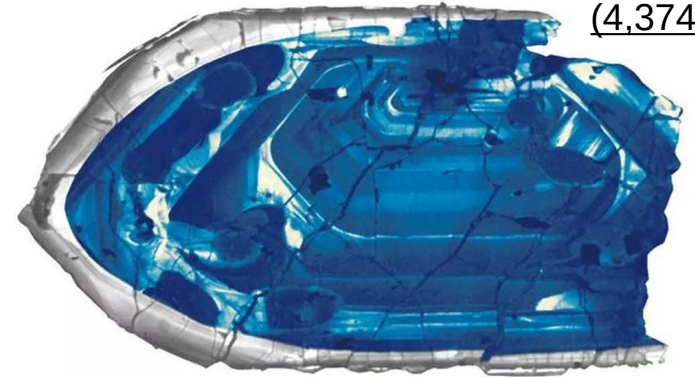
Accrétion

Astéroïde

Planétésimal



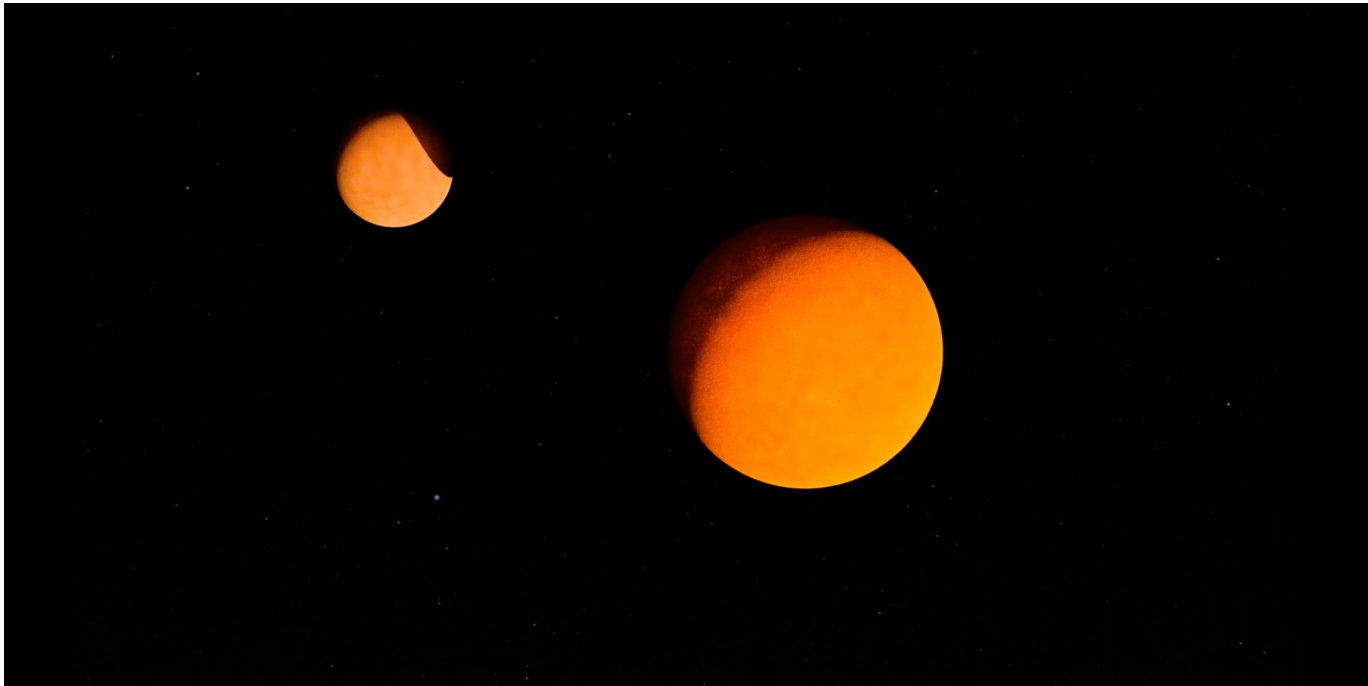
Chondrite carbonée



Zircon de
Jack Hills
(4,374 Ga)

Collision avec Théia

- Compositions chimique et isotopique similaires Terre / Lune
- Entre 4,51 Ga et 4,45 Ga ? => Naissance de la Lune



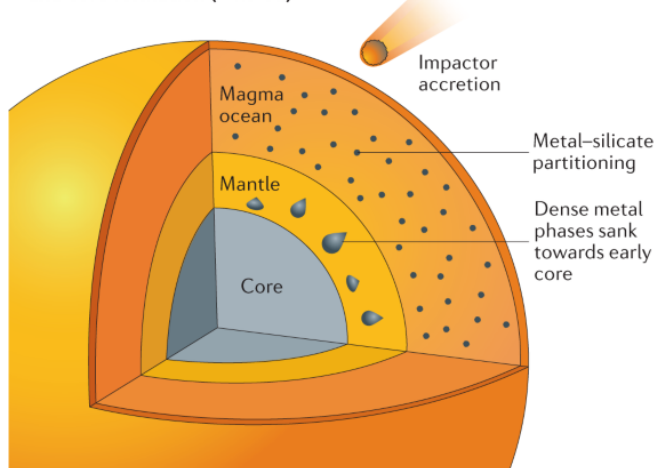
Vidéo de simulation
NASA (2022)

Océan magmatique

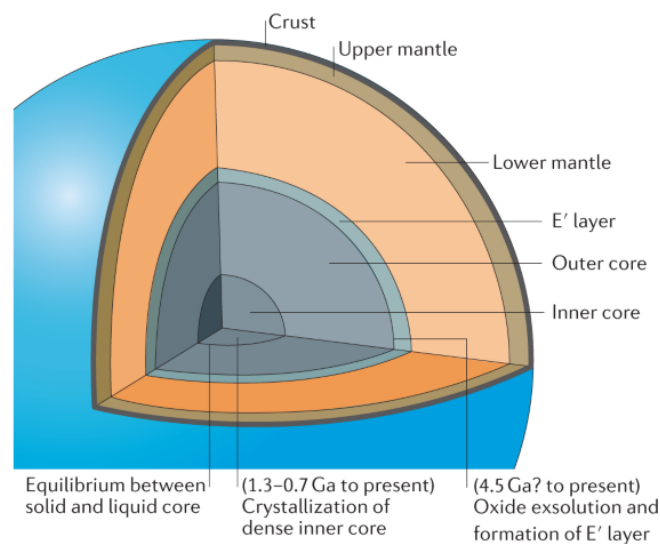
Différenciation

- Ségrégation des éléments en fonction de la densité
- Formation du noyau et du manteau
- Intense bombardement météoritique décroissant après l'océan magmatique : de 4,4 Ga à 3,8 Ga

a Early Earth accretion, metal segregation and core formation (>4.5 Ga)



b Earth internal structure (~4.5 Ga to present)



Océan magmatique (vue d'artiste)

(Hirose et al. 2021)

<https://www.nature.com/articles/s43017-021-00203-6>

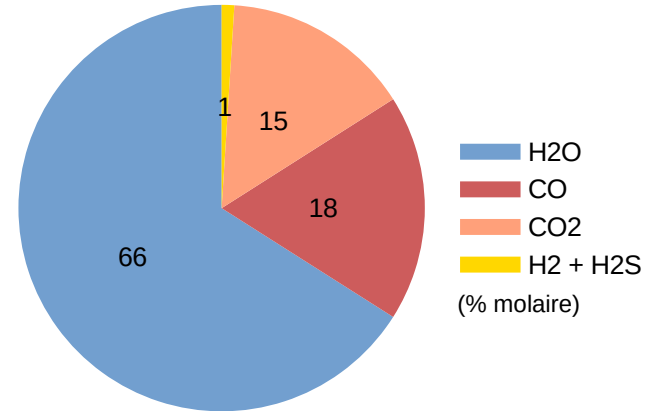
L'atmosphère primitive de la Terre

- Expériences de dégazage de météorites
- Étude chimique et isotopique de zircons très anciens
- Indices indirects, modèles complexes

~~Gaz volcaniques actuels~~

Dégazage

Expérience : Chauffage à 1200 °C d'échantillons de chondrites carbonées (Thompson et al. 2021)

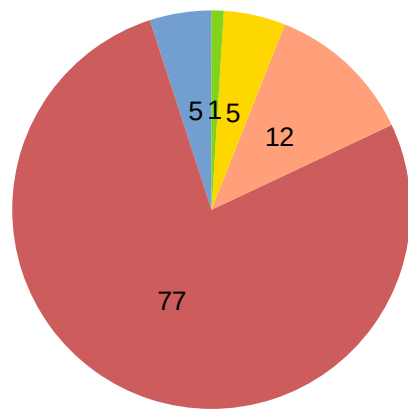


<https://www.nature.com/articles/s41550-021-01338-8>

Scénario

L'atmosphère de l'Hadéen

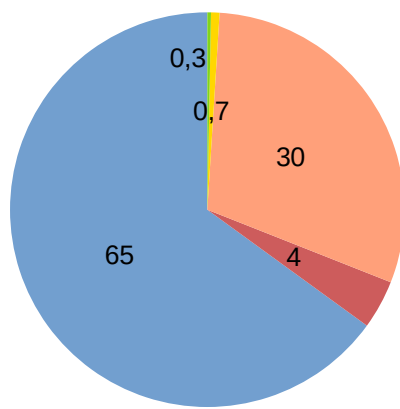
1000 ans après la collision avec Théia (4,51-4,45 Ga)



P = 130 à 150 bar
T = 1800 à 2500 K
Durée = 10³ à 10⁶ ans

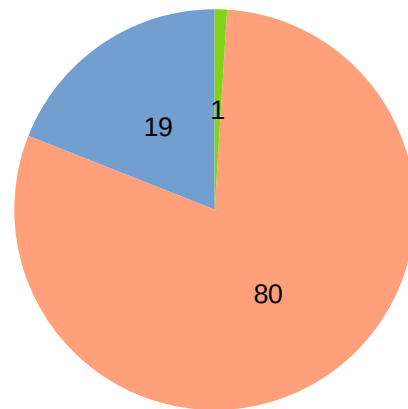
L'eau est très soluble dans le magma

Après la cristallisation du manteau



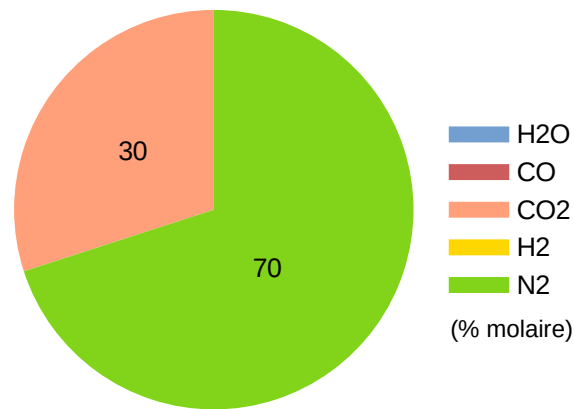
P = 300 à 500 bar
T = 900 à 1600 K
Durée = 10⁵ à 10⁷ ans

Pendant la condensation des océans



P = 120 à 180 bar
T = 450 à 550 K
Durée = 10⁶ à 10⁷ ans

Dissolution du CO₂ et carbonatation de la croûte (4,3-4,0 Ga)



P = 0,8 à 2 bar
T = 273 à 323 K



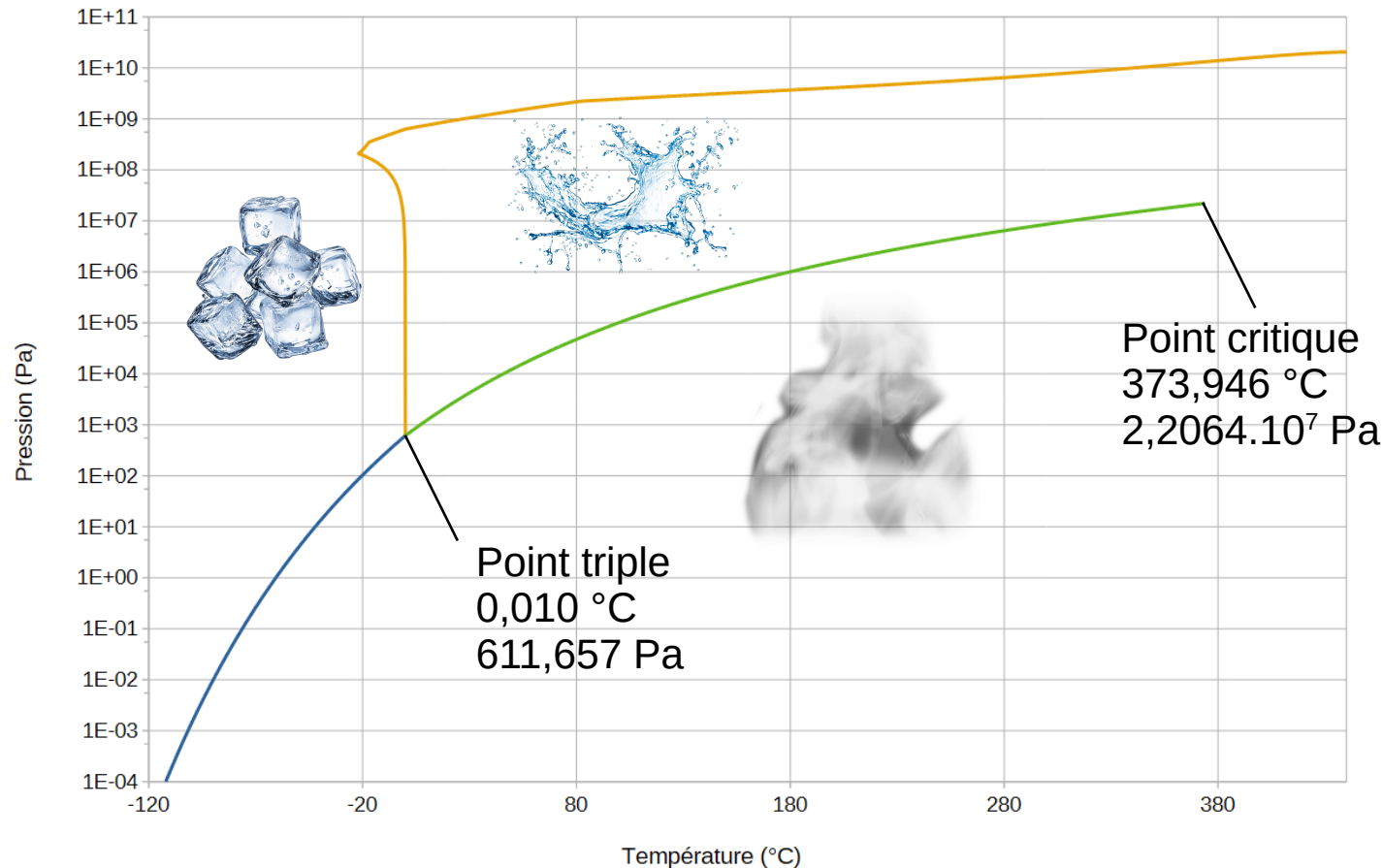
Le CO₂ est très soluble dans l'eau et réagit avec les roches



Nombres très approximatifs

Savoir déterminer l'état de l'eau

Diagramme PT de l'eau



Certains zircons de Jack Hills ont des rapports isotopiques qui montrent que leur magma contenait des matériaux ayant été auparavant altérés par de l'eau liquide à basse température

L'atmosphère de l'Archéen



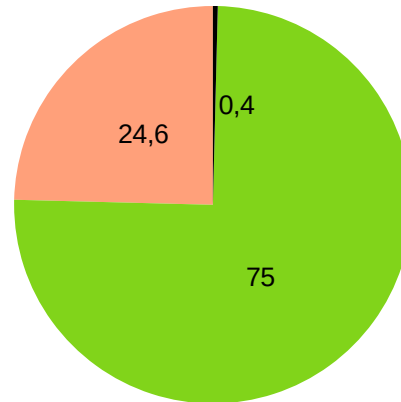
Gneiss d'Acasta (Collection : H. Martin, Université Clermont-Auvergne)

- Plus anciennes roches terrestres conservées, complexe d'Acasta (Canada) : 4,03 Ga



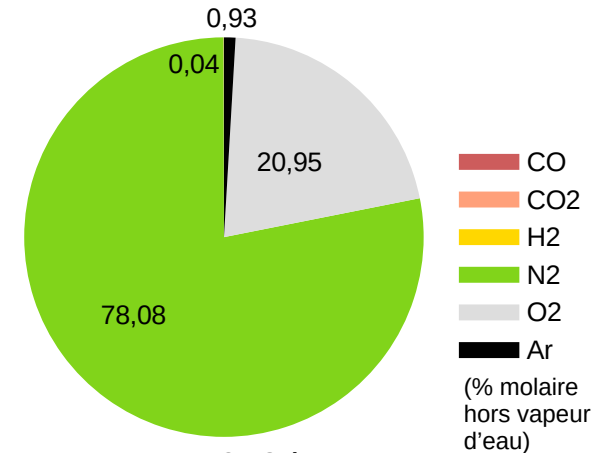
Estimations très
approximatives

Atmosphère du début
de l'Archéen (3,8 Ga)



P = 0,8 à 1,2 bar
T = 8 à 30 °C

Atmosphère actuelle

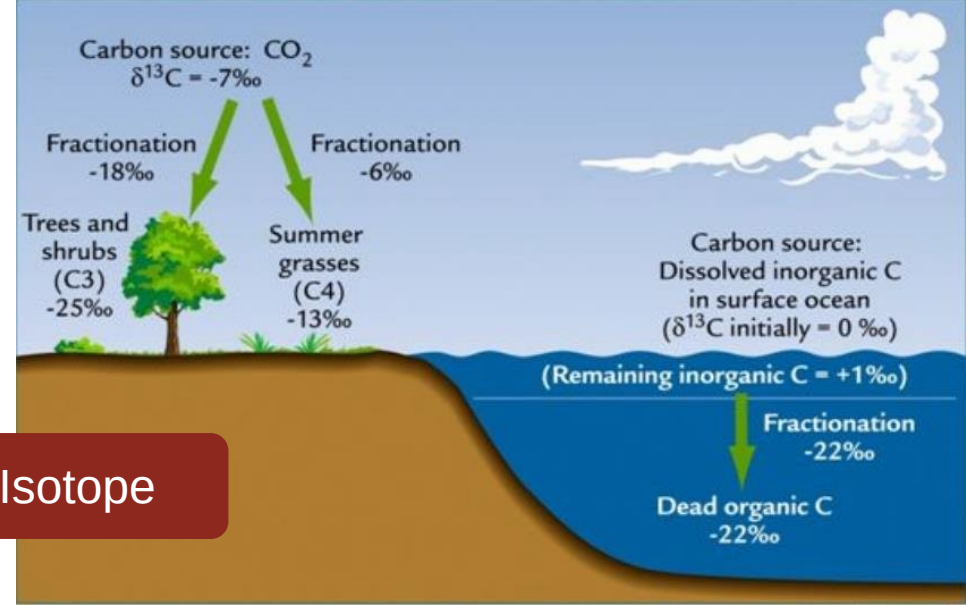


P = 1,013 bar
T = 15 °C

Apparition de la vie ?

- Eau liquide indispensable à la vie
- Terre habitable $\neq$ Terre habitée
- Apparition la plus précoce possible 4,4-4,3 Ga ?
- Comment la détecter ?
- Biosignature = caractéristique chimique ou physique pouvant servir d'indice raisonnable de présence de vie passée ou présente
- **Concordance des indices**

Isotope

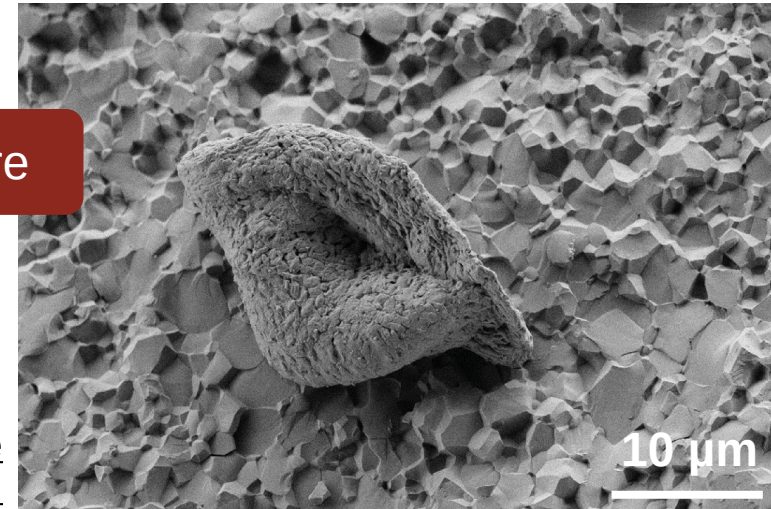


Forme

Structure

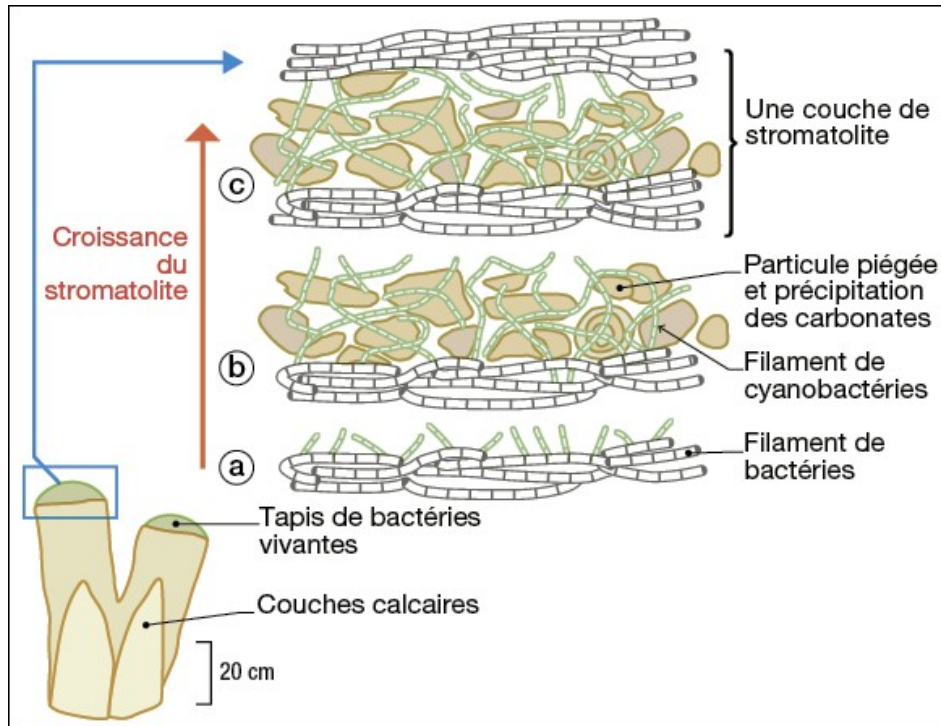
Molécule

Microfossile de
Strelley Pool (3,43 Ga)



Les stromatolites

- Structures sédimentaires laminées, souvent carbonatées, formées par l'activité de tapis microbiens



Mécanisme de formation des stromatolites



Stromatolites actuels de Shark Bay (Australie)

Les plus vieilles traces de vie ?

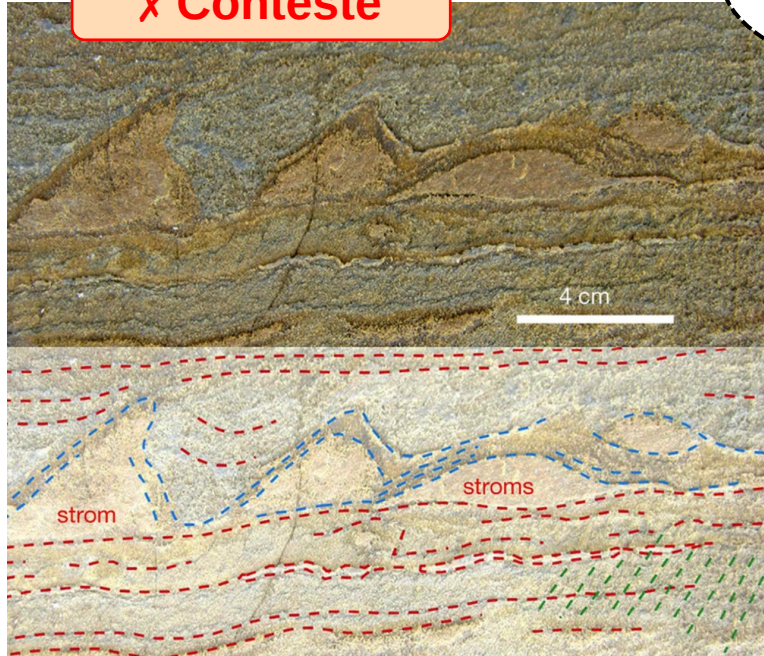
- Dresser Formation (Djokic et al., 2017) : 3,48 Ga
<https://www.nature.com/articles/ncomms15263>
- Isua (Nutman et al., 2016) : 3,70 Ga
<https://www.nature.com/articles/nature19355>

✓ Très solide



<https://www.nature.com/articles/s41586-018-0610-4>

✗ Contesté



Revue générale :
Onstott et al., 2019

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6786346/>

$$\delta^{13}\text{C} = -24 \pm 5 \text{ ‰}$$

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4664351/>

- Deux inclusions de graphite dans un zircon de Jack Hills (Bell et al. 2015) : 4,10 Ga
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00410-017-1382-9>

✗ Contesté

