

Grands cataclysmes de l'histoire de la Terre

Des origines aux unicellulaires

Bernard SILVESTRE-BRAC



Les types de cataclysmes

Un cataclysme terrestre est un événement physique ou biologique qui bouleverse profondément et durablement la structure de la Terre et modifie grandement sa biodiversité.

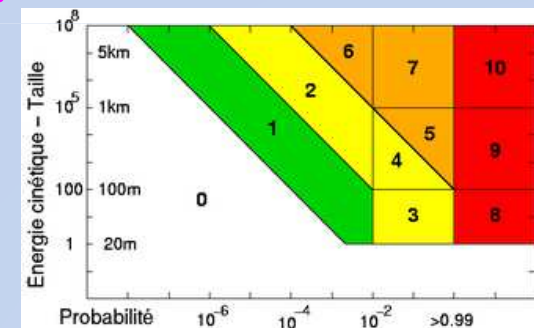
Un **cataclysme** peut être **soudain** ou **plus étalé dans le temps**; ses conséquences durables peuvent **s'échelonner sur qq Ma** ≠ **catastrophe**.

Les facteurs responsables

1) Les chutes d'astéroïdes et de comètes

De nos jours : 84000 météorites/an.

- La plupart ont **moins de 10m** de diamètre
Très rarement **> 10m** de diamètre

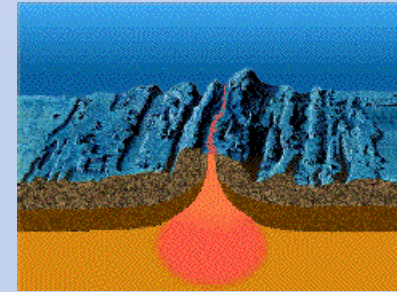


Surtout pendant le premier 1 G ans : Millions/an.
Astéroïdes de diamètre 200km : 10 à 20 impacts;
Astéroïdes de diamètre 300km : 3 à 11 impacts;
Astéroïdes de diamètre 500km : 6 impacts;

2) La tectonique et la dérive des continents

Théorie d'A. Wegener (1912), améliorée par H. Hess (1962).

La tectonique des plaques et le double tapis roulant au niveau des dorsales océaniques.



Les dorsales partagent la croûte terrestre en d'immenses **plaques lithosphériques**. Celles-ci se déplacent, se déforment, s'entrechoquent.

- Modification de la forme des continents;
- Modification de la longueur des côtes;
- Modification du relief.



3) Le volcanisme (1511 volcans actifs pour 60 éruptions/an).

Sans doute le phénomène le plus prépondérant.

Dû à la radioactivité naturelle des roches continentales et océaniques.

Présent de façon continue depuis l'origine jusqu'à nos jours.

Essentiellement 4 types de volcanisme.



*Cône de scories,
Krakatoa, 2009*



*Coulée de lave,
Hawaï*



*Dôme de lave,
Paluweh, 2012*



*Nuées ardentes,
Merapi, 2006*

Les éruptions volcaniques sont classées par le volume de matière éjectée (échelle VEI de 0 à 8) :

Volcan normal : 1 à 10 km³. Plusieurs éruptions par siècle (Pinatubo).

Supervolcan : 1 000 à 5 000 km³. Quelques par Ma (Yellowstone, Toba).

Trapps : 1 000 000 km³. Quelques par 100 Ma (OnTong, Deccan).

4) Les variations astronomiques

Variations du climat = variations d'insolation.

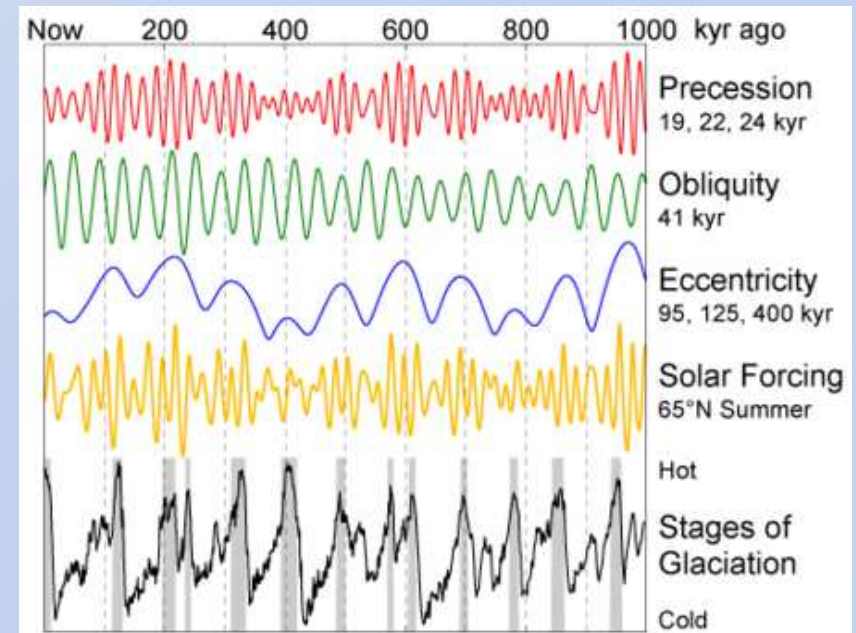
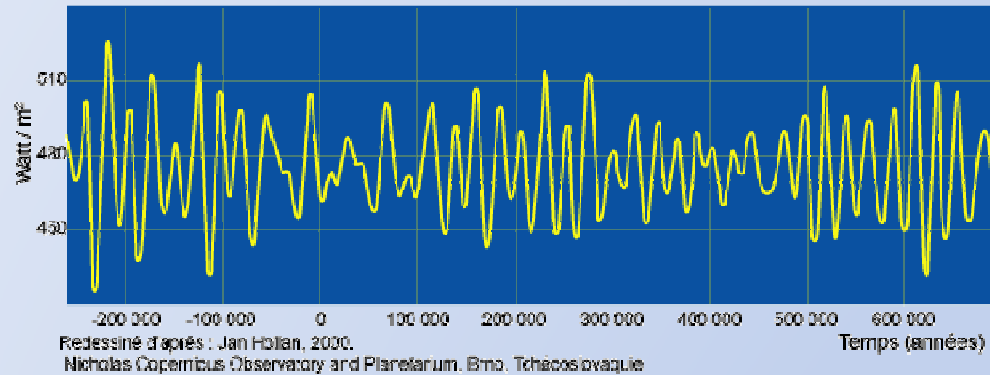
Causes **astronomiques** ⇒ paramètres de **Milankovic**.

Variation de **l'excentricité de l'orbite**; Actuelle: 0,017 ; $0,005 \leq e \leq 0,058$.

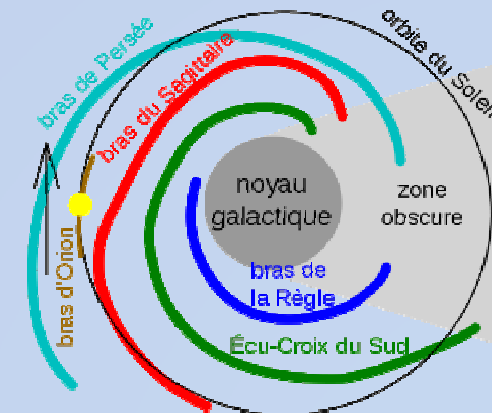
Variation de **l'obliquité de l'axe des pôles**; Actuelle: 23,44° ; $22,1^\circ \leq \theta \leq 24,5^\circ$.

Précession des équinoxes; modification des saisons.

Superposition des effets = Paramètres de Milankovic



Variations climatiques dues au passage du soleil dans les bras de la galaxie.



5) La vie

La vie existe sur Terre depuis 3,5 G ans.

Elle **évolue sans cesse** (Théorie de Darwin).

Dans son interaction avec l'environnement, certaines formes de vie **peuvent perturber gravement** d'autres formes de vie.

Les conséquences dramatiques puis bénéfiques

- Changement de la composition chimique des océans et de l'atmosphère

Astéroïdes, volcanisme, vie.

- Modification du relief et du niveau des mers

Tectonique, volcanisme.

- Modification de l'albédo terrestre

Tectonique, volcanisme, astronomie, vie.

- Modification du climat dû à l'effet de serre

Astéroïdes, tectonique, volcanisme, astronomie, vie.

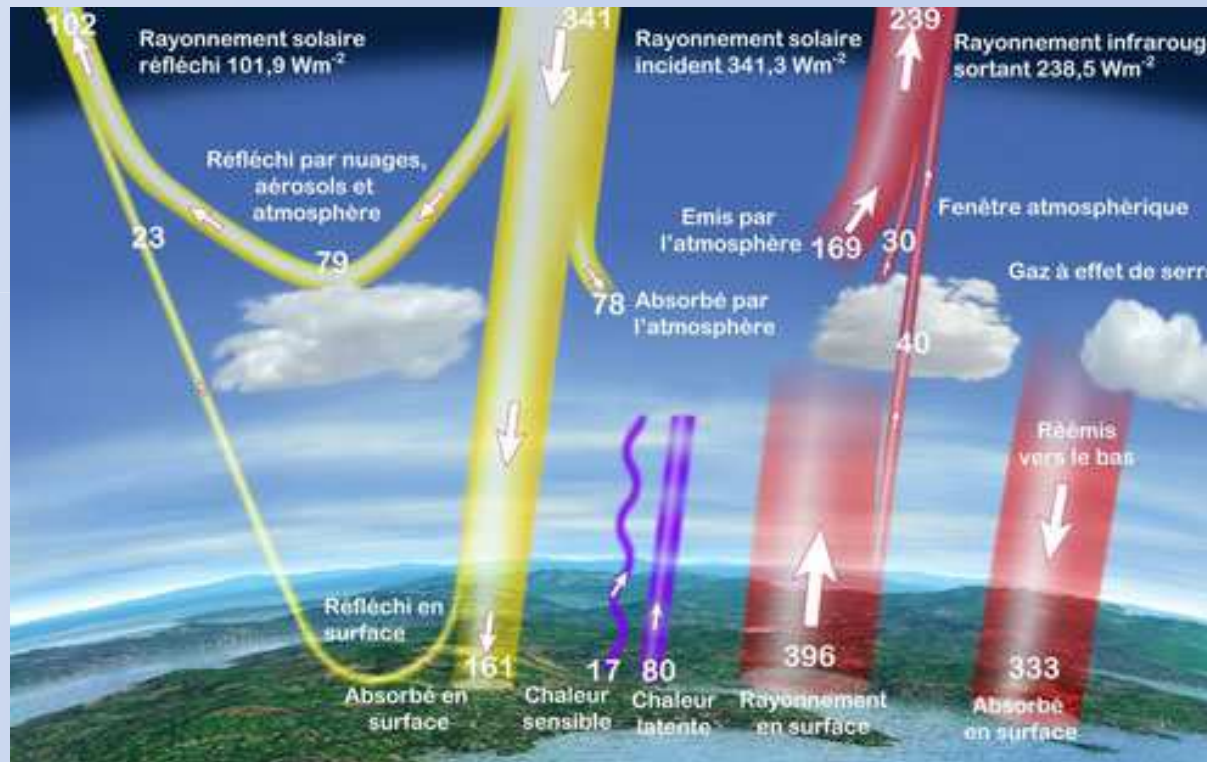
L'effet de serre pour les Nuls

Le Soleil est un corps à 5800° ; il émet dans le **visible**.

La Terre est un corps à 15° ; elle émet dans l'**infra-rouge**.

C'est l'**atmosphère** qui gère les **bilans de chaleur**. Elle reçoit $78+17+80+(396-40) = 531 \text{ W/m}^2$. Elle en dilapide $169+30 = 199 \text{ W/m}^2$. Le reliquat $(531-199) = 332 \text{ W/m}^2$.

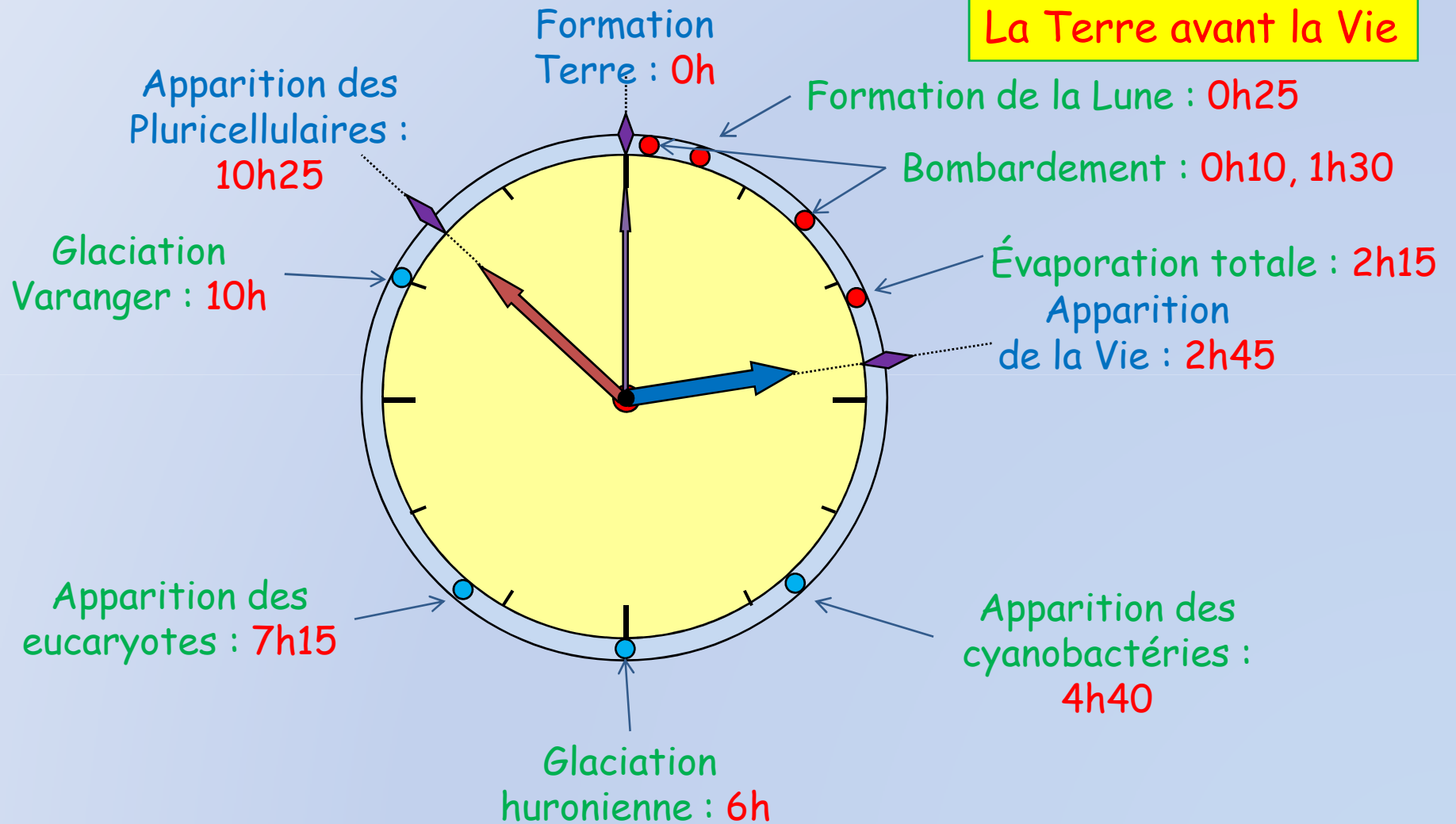
Il est rendu à la surface terrestre : **c'est L'EFFET DE SERRE**.



Contribution à l'effet de serre : H_2O : 60%, CO_2 : 26%, O_3 : 8%, $\text{CH}_4+\text{N}_2\text{O}$: 6%

PRG relatif des GES : CO_2 : 1, CH_4 : 25, N_2O : 298, SF_6 : 22800 !

La longue histoire de la Terre



La Terre avant la Vie

Le règne des unicellulaires

La Terre avant la Vie (4,56G ans BP - 3,5G ans BP)

Le Bombardement céleste

Météorites, Astéroïdes, Comètes sont tombés en masse
Surtout de 4,56Ga à 4,3Ga puis de 4,1 à 3,9Ga (GBT)

Bienfaits de ce bombardement:

Origine de l'eau terrestre : 1,386 Gkm³

Dégazage du manteau;

Chondrites carbonés riches en eau;

Comètes.

Peut-être apparition de la vie?

Formation de la Lune

Scénario basé sur les analyses des roches lunaires et sur les simulations numériques dans les années 2000.

Il y a 4,4 G ans, Impact géant entre la Terre et Théia.

Choc à 40000km/h sous un angle oblique.

Éjection d'une partie de Théia + manteau terrestre.

Formation d'un anneau, puis accrétion (2% de la matière).

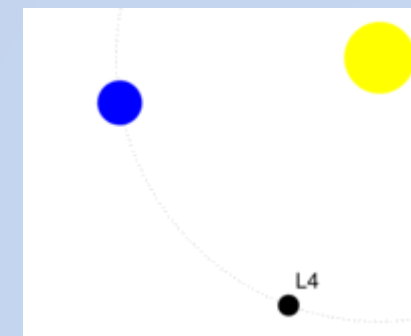
Lune = 80% Théia + 20% manteau terrestre.

Bienfaits de cette formation:

Terre plus massive;

Stabilisation de l'inclinaison de l'axe de rotation;

Existence des marées.



Épisodes d'évaporation totale

Choc d'un astéroïde de 500km à 72 000km/h!

Peut-être 6. Le dernier il y a 3,7 G ans.

La croûte se détache et provoque un «tsunami de croûte»

Débris projetés à 1000km d'altitude, $\theta = 5\ 000^\circ$.

La roche se transforme en «vapeur de roche» qui s'étale à 300m/s et le nuage persiste pendant 1 an.

L'eau des océans bout et s'évapore à 5cm/mn.

DISPARITION DE L'EAU LIQUIDE SUR TERRE.

Après 1 000 ans, la pluie retombe sur Terre en 2 000 ans à raison de 3m/an.

Bénéfice de ces épisodes

L'eau des océans s'est enrichie de nombreux minéraux acquis au contact de la roche en fusion, en particulier le sel, qui vont être déterminant pour la vie naissante.

Le règne des unicellulaires (3,5Ga BP - 0,6Ga BP)

Pendant 2Ga, l'atmosphère terrestre est réductrice :

N, H₂O, CO₂, NH₃, CH₄, H₂S...

Le soleil rayonnait 20% de lumière en moins,

mais effet de serre important.

Pendant 0,8Ga, la vie était limitée aux organismes procaryotes anaérobies.



Apparition de la vie

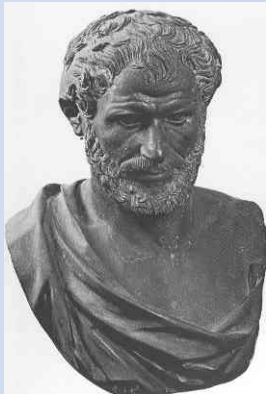
Premiers organismes vivants dans les stromatolithes : 3,5G ans

QUESTION NON RÉSOLUE

Une **vingtaine** de théories !

Les théories *non scientifiques*

- Les **mythes**;
- Les **religions**;
- Le **créationnisme**;
- Les **extraterrestres**.



Aristote

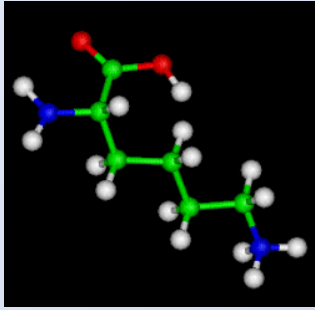


Pasteur

Une théorie **démentie** :

La *génération spontanée*

- Date des grecs : **Aristote**.
- **Perdure** jusqu'au XIX^e siècle.
- **Quelques accros** à la théorie.
- La mort de cette théorie : **Pasteur**.



lysine

Les théories *célestes*

(acides aminés détectés dans les nuages interstellaires)

La **panspermie** : vie apportée de l'espace par

- les **nuages interstellaires**;
- les **comètes**;
- les **météorites**.



Arrhenius en 1906

Les théories *terrestres*

La **soupe primitive**

Théorie de Oparine - Haldane

Réactions chimiques dans une atmosphère réductrice →
sucres, acides aminés.



Effets catalyseurs

- ✓ **des éclairs permanents** (orages en continu).
- ✓ **un volcanisme actif, un océan très chaud** (chaleur de l'accrétion).
- ✓ **un brassage intense par les marées** (la lune est très proche).
- ✓ **chutes de météorites très fréquentes** (fin de l'accrétion).

Apparition des cyanobactéries

Apparues il y a 2,8G ans.

Association d'une cellule primitive contenant de la chlorophylle et une contenant de la phycocyanine?

1^e forme de photosynthèse

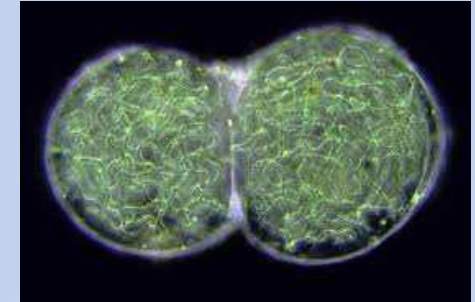
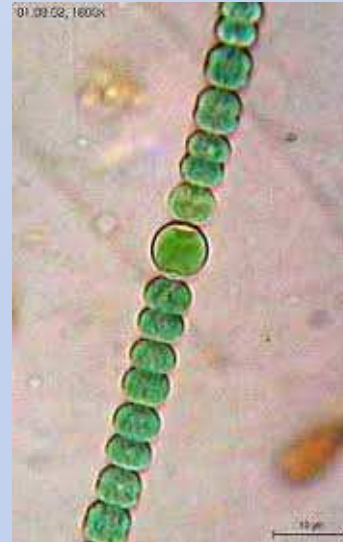
(utilise H₂S comme capteur d'électrons).

Développement très rapide.

De nos jours, 150 Genres et 7 500 espèces.

Bienfaits des cyanobactéries :

Nouvelles formes de vie de type aérobie.



La glaciation huronienne

Épisode de glaciation totale entre 2,4G ans BP et 2,1G ans BP.

Épaisseur de glace 1000m, $\theta = -50^{\circ}\text{C}$.

La glace descend du pôle lentement, puis tout s'accélère.

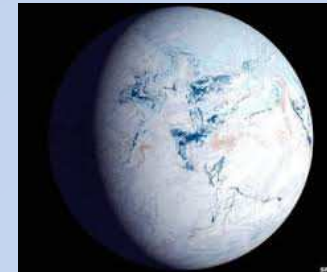
Analyse des blocs erratiques sur 7 sites puis du champ magnétique.

Causes:

Formation d'un continent unique (Rodinia); son érosion consomme du CO₂

Grande oxydation : cyanobactéries → O₂ → disparition du CH₄

→ Effet de serre très diminué → refroidissement → changement d'albédo.



La fin de la glaciation

La Terre est complètement gelée...enfin presque!

Il y a le volcanisme toujours actif !

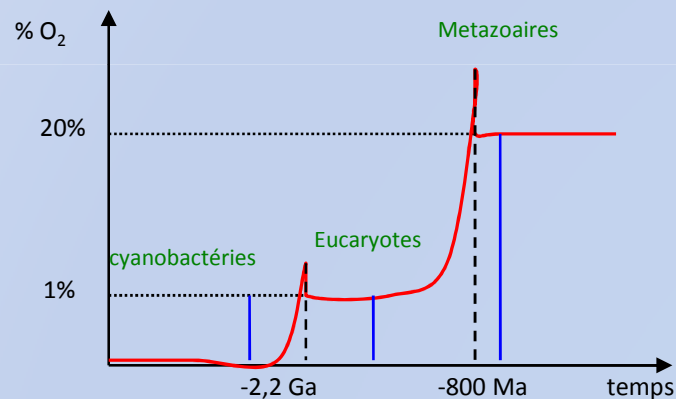
Les cyanobactéries ont dû mourir en masse, mais se sont réfugiées près des sources chaudes.

Les volcans rejettent du CO_2 dans l'atmosphère, le Mn de la mer est oxydé $\text{Mn} + \text{O}_2 \rightarrow \text{MnO}_2$; → l'effet de serre ↑ → La θ se réchauffe → dégel.

L'évaporation est très intense et produit des hypercyclones

(vents à 10 000km/h) → brassage de l'eau → remontée des nutriments

→ Prolifération des cyanobactéries → O_2 ↑



Bienfaits de la glaciation

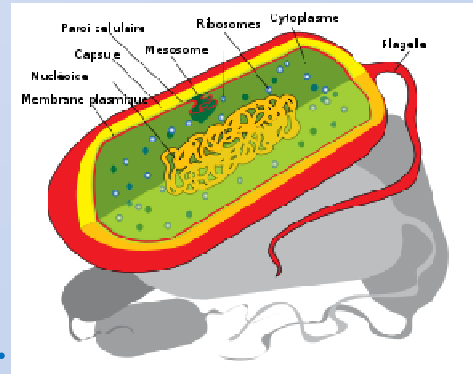
Abondance de O_2 → formidable réserve d'énergie.

NAISSANCE DES EUCARYOTES (entre 2G ans BP et 1,6G ans BP).

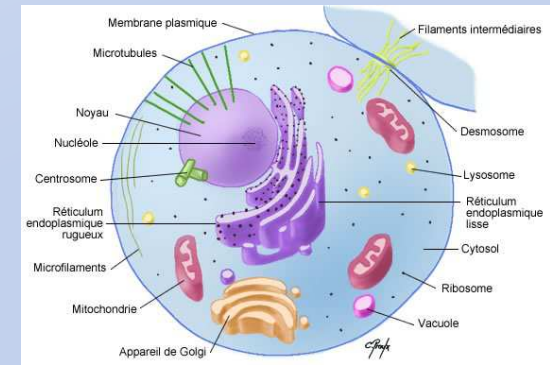
Apparition des eucaryotes

Il y a environ 1,8 G ans.

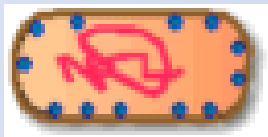
L'apparition a été **progressive**:
peut-être 100M ans - 200M ans.
Longue histoire mal connue!



procaryotes



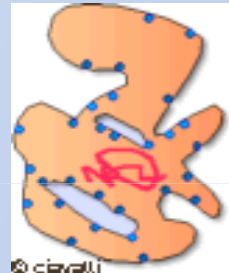
eucaryotes



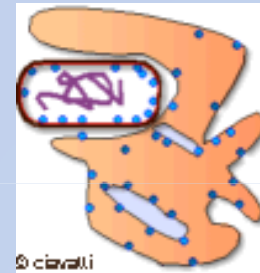
1. Cellule procaryote



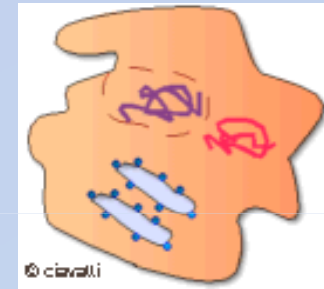
2. Perte de la paroi



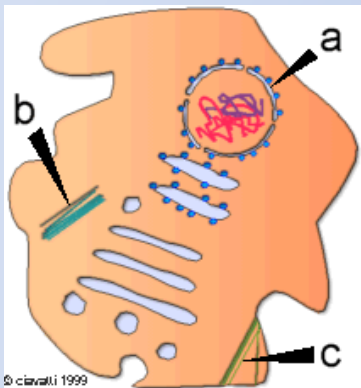
3. Augmentation taille membrane



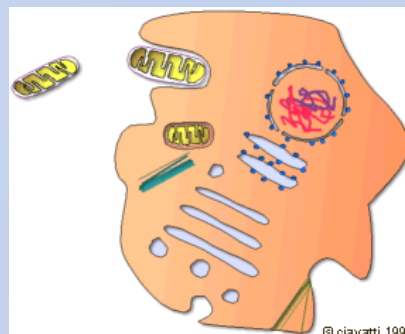
4. Phagocytose d'une archée



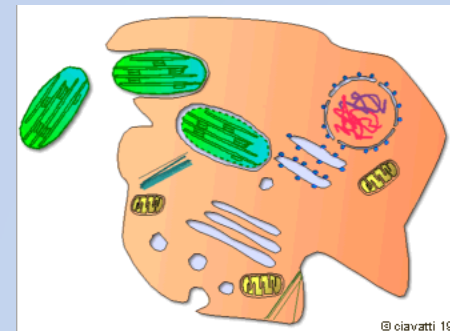
5. Mise en commun informations



6. Apparition De la membrane nucléaire



7. Phagocytose de bactéries



8. Phagocytose de cyanobactéries

© Silvestre-Brac : Cataclysmes1

La glaciation Varanger

Bis repetita de la glaciation huronienne.

Trois épisodes successifs : «Terre boule de neige» 765M ans BP

Puis moins sévères il y a 710M ans et 635M ans.

Sédiments glaciaires surmontés d'un épais manteau de carbonates.

Découverte : sur tous les continents, datation précise.

Localisation : au voisinage de l'équateur.



Causes

Il y a 800M ans, **dislocation du supercontinent Rodinia** → Ouverture des océans

→ Plus de vapeur d'eau → Plus de pluies contenant des CO_2 → CO_2 piégé dans les océans donnent des carbonates → diminution importante du CO_2 → **moins**

d'effet de serre → refroidissement → augmentation de l'albédo →

Refroidissement encore plus important.

Fin de la glaciation

Bis repetita de la glaciation huronienne.

Encore et toujours le **VOLCANISME** : rejet de CO_2 → effet de serre ↑ → θ ↑ → Albédo diminue → dégel.

Bienfaits de la glaciation

Le taux d'oxygène se **stabilise à 20%**.

Une molécule miracle : **le COLLAGÈNE**.

Naissance des êtres **PLURICELLULAIRES**.

(plantes et métazoaires).

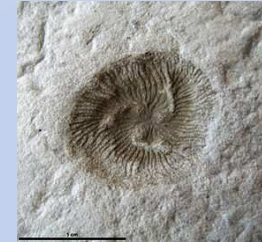


La Vie prend **une nouvelle forme** : **LES PLURICELLULAIRES**

Arkarua
635Ma BP.



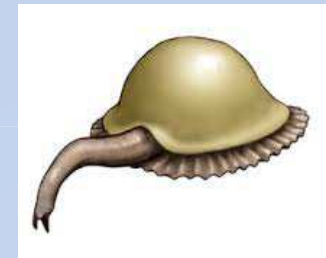
Tribachidium
635Ma BP.



Pteridinium
590Ma BP.



Kimberella
590Ma BP.



C'est une **nouvelle page** qui s'ouvre dans l'histoire de La Terre : celle du **règne des Pluricellulaires**.

Celui-ci sera entaché aussi d'épisodes cataclysmiques

MAIS....C'EST UNE AUTRE HISTOIRE !!