



# BioGeoPal - L3

## Cours n° 5: Quelques grandes étapes de l'Histoire de la Vie



# Que peut-on apprendre en reconstituant l'Histoire de la Vie?



*La Biodiversité actuelle,  
Grande Galerie de l'Evolution*

D'où vient la biodiversité actuelle?

Quels sont les modalités de l'Evolution : y a-t-il un sens ou l'histoire de la vie est-elle une suite de contingences ?

Comment la vie répond-elle à des grands changements environnementaux ?

La vie a-t-elle changé le cours de l'histoire de la Terre?

→ **Les archives paléontologiques vont apporter de précieuses informations**

# I. L'apparition de la Vie : Où, quand et comment ?

## A. Les conditions de la Terre primitive

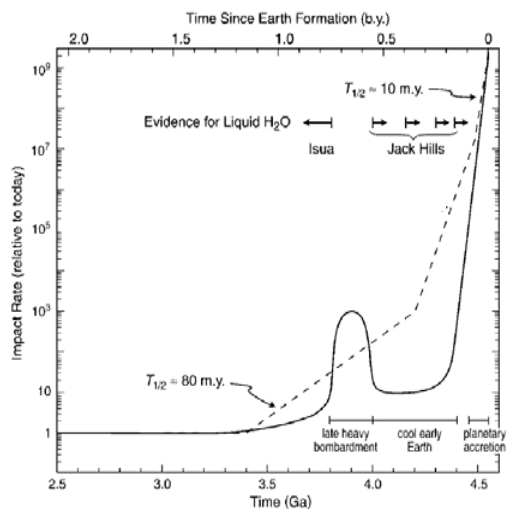
4,55 - 4 Ga	4 - 2,5 Ga	2,5 - 0,54 Ga	0,54 Ga - Actuel
Hadéen	Archéen	Protérozoïque	Paléozoïque, Mésozoïque, Cénozoïque
Précambrien = Cryptozoïque			Phanérozoïque

Figure 13.1. Principales divisions chronologiques (lithosphère et biosphère) de la planète Terre.



### -Age de la Terre : 4.55 Ga

-**Hadéen, 4.55 - 4 Ga: Bombardement météoritique intense**, vaporisation totale des océans et d'une partie de la croûte (cf. cratères de la Lune; impacteurs de 100 km (\10km à la crise K/T) = Enfer pour la Vie (Hadès). 1<sup>ères</sup> traces de croûte et d'océans à 4.4 Ga (Zircons).

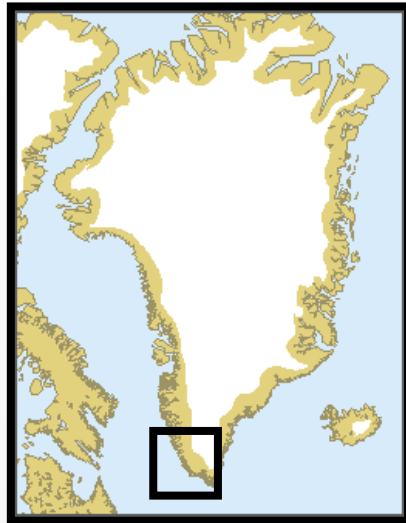


Archéen, 4 – 2.5 Ga: Plus vieilles roches à 3.8 Ga à Isua (Groenland); Premiers fossiles de microorganismes.

Protérozoïque, 2.5 Ga – 650 Ma (explosion cambrienne): Evolution chimique de l'atmosphère, notamment O<sub>2</sub>

## B. Quand est apparue la Vie?

### Les fossiles chimiques d'Isua (3.8 Ga)



Isua, Groënland  
Age: ~3.8 Ga



Interprétées dans un premier temps comme des roches sédimentaires métamorphosées

Inclusions de Carbone (graphite)

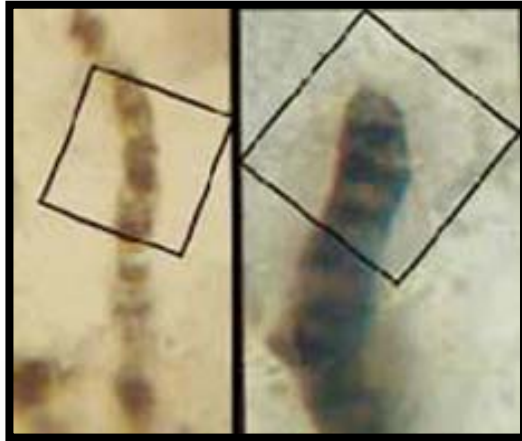
Compositions isotopiques pauvres en  $^{13}\text{C}$  ( $\delta^{13}\text{C}$  entre  $-25$  to  $-6\%$ ) interprétées comme une biosignature

### **Mais**

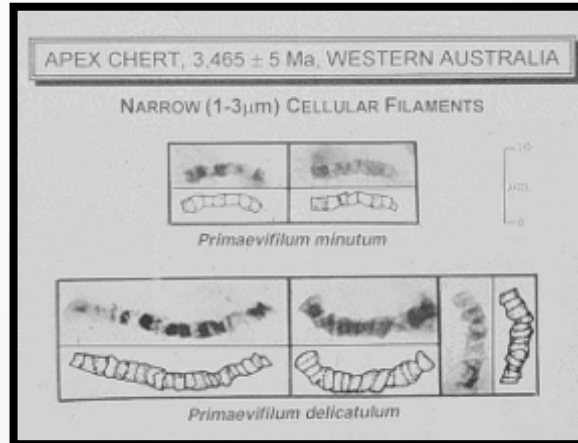
Ce sont des roches ignées métamorphosées

Des réactions métamorphiques, abiotiques, peuvent conduire au même fractionnement isotopique du C

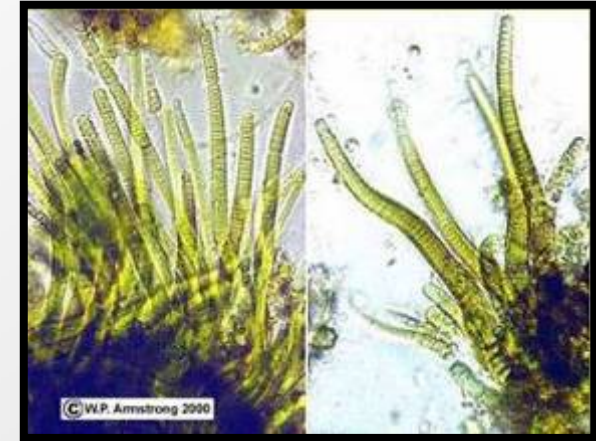
## Premiers fossiles bactériens (Australie, Afrique du Sud) : 3.5 Ga



Filaments simples



Septa: comme files de bactéries



cyanobactéries modernes

La morphologie est elle suffisante cependant? Très discuté...

Constructions sédimentaires microbiennes = stromatolites : à partir de 2.7 Ga, peut être 3.5 Ga



*Stromatolites modernes*



*Stromatolites Archéen*

Conclusions:

Des organismes « élaborés » sont présent très tôt dans les archives géologiques.

La Vie est forcément apparue avant

Il a fallu très peu de temps pour faire naître la Vie (entre 4 Ga et 3.5 Ga –grand maximum).

## C. Comment la Vie est elle apparue?

**Organisme vivant= unité autorépliquative qui peut évoluer**

Vie que l'on connaît : Enzymes pour catalyser / acides nucléiques pour stockage de l'information

Problème : Pour faire des enzymes, il faut acides nucléiques. Pour répliquer acides nucléiques, il faut des enzymes

→ **Théorie du monde à ARN**

Mécanismes d'apparition de ces molécules = chimie prébiotique.

# La chimie prébiotique: où et comment?

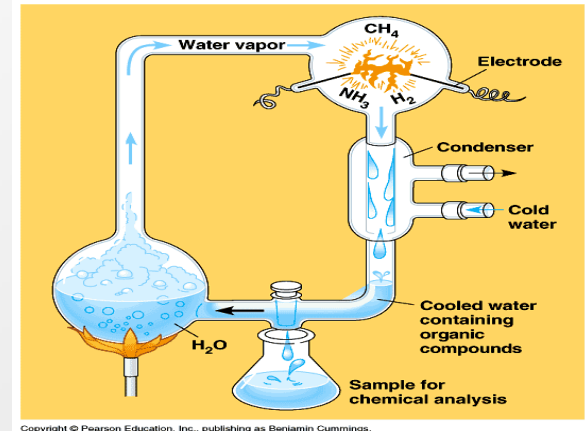
Différentes théories :

-**La soupe primitive:** Réactions chimiques dans les eaux de surface au contact de l'atmosphère. Cf. *expériences de Miller*

→ 4 acides aminés protéiques, formaldéhyde, acide cyanhydrique



-**Chimie prébiotique dans environnements hydrothermaux.**  
Apparition d'une vie hyperthermophile au même endroit?



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

-**Apport de molécules organiques extraterrestres** par les comètes et les météorites

→ 8 acides aminés protéiques dans météorite de Murchison, jusqu'à 2% de matière organique



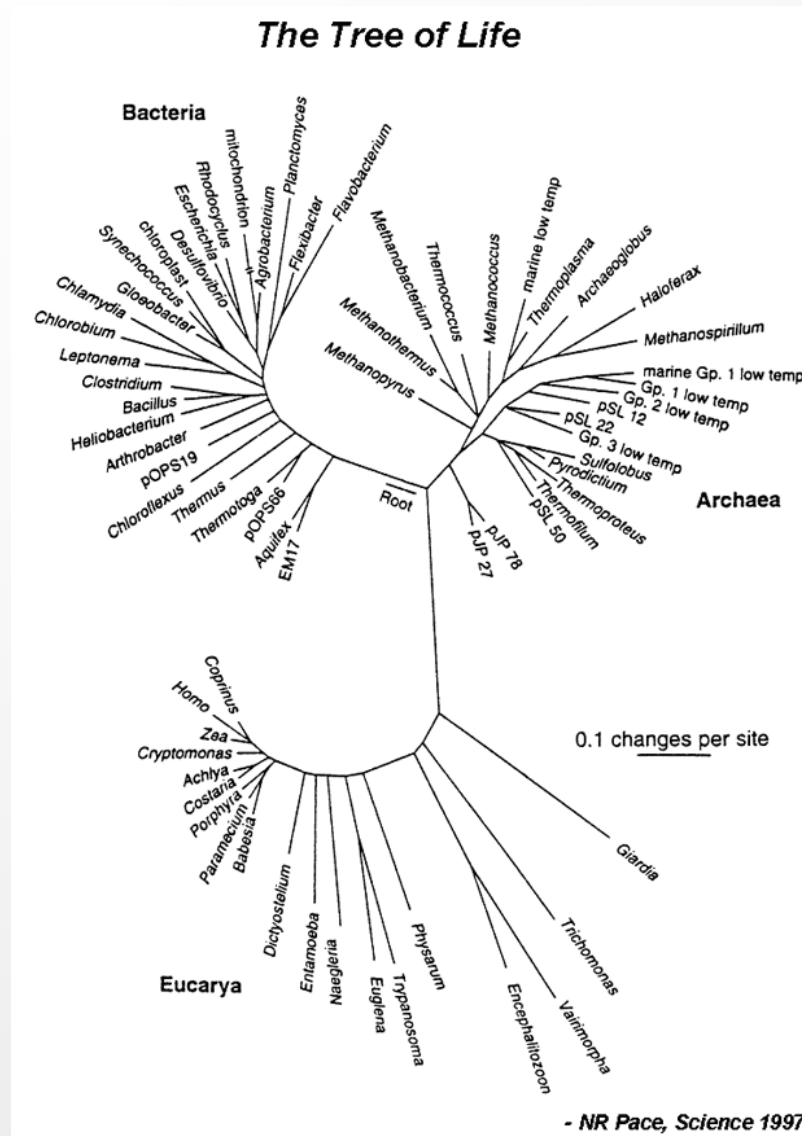
- **Panspermie** : La vie existe depuis plus longtemps dans l'univers et se dissémine à travers l'univers

Après la chimie prébiotique, il faut encore : faire apparaître des cellules, faire apparaître des systèmes de réplication, faire apparaître le code génétique etc: comment cela se produit et combien de temps cela prend-il?

## D. La notion d'ancêtre commun

Grande diversité actuelle d'êtres vivants, de métabolismes etc...

**Mais** arbre du vivant : 1 nœud = 1 ancêtre → **LUCA**= The last universal common ancestor



Après toutes ces étapes, on est passé par un stade dont découlent toutes les formes vivantes connues aujourd'hui= LUCA.

N.B: Pas forcément une cellule



## II. La vie au Précambrien

### A. Les conditions à la surface de la Terre au Précambrien

#### ★ Evolution de la **composition chimique de l'atmosphère**

Pas d'oxygène avant 2.3 Ga

1% de la valeur actuelle à -2 Ga

10% de la valeur actuelle à -600 Ma

= photosynthèse oxygénique par Cyanobactéries (Stromatolites)

→ Modification des cycles géochimiques de nombreux éléments (Fe, C, S, N...)

→ Diversification des métabolismes possibles à la surface de la Terre

→ On pense que

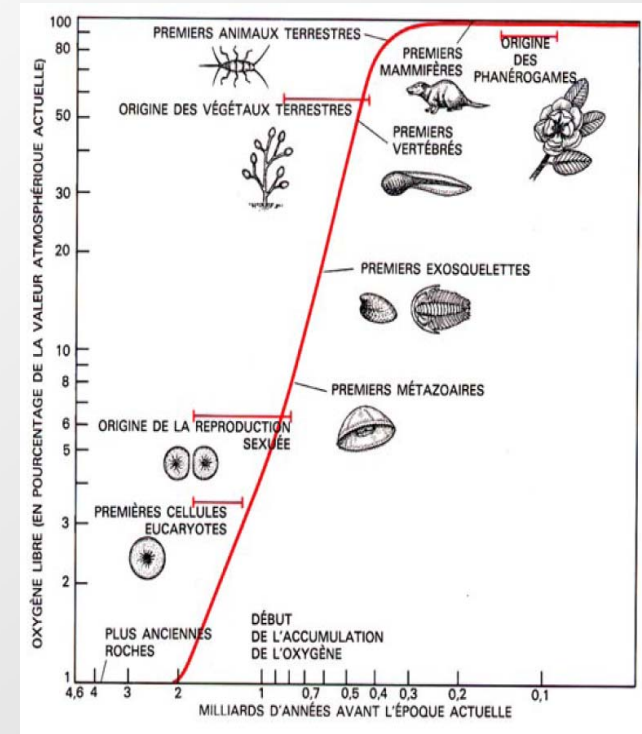
Eucaryotes ont besoin de **1%** de la  $pO_2$  actuelle

Métazoaires avec carapace: **10%**

#### ★ Evolution de la **température** à la surface de la Terre

Il y a 4 Ga, Soleil ne dispensait que 72% de l'énergie actuelle: qu'est ce qui assurait l'effet de serre?

Plusieurs épisodes de glaciations gigantesques au Précambrien (Snow Ball Earth: 2.45 Ga ; et plusieurs entre 800 et 650 Ma): impact certain sur la Vie



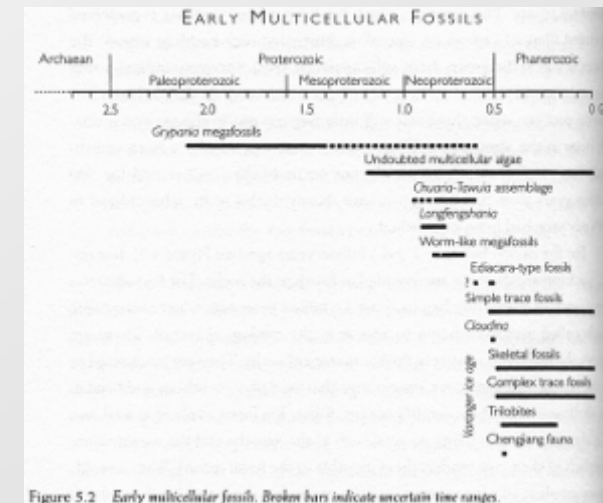
## B. La Terre précambrienne était dominée par des microorganismes procaryotes



Nombreux métabolismes anaérobies puis aérobie

Procaryotes moteurs de l'évolution chimique de la Terre (ex. O<sub>2</sub>)

O<sub>2</sub> indispensable pour apparition des Métazoaires



**1<sup>er</sup> Eucaryotes:**

**2 Ga : Grypania= Premier fossile d'eucaryote admis**

**2.7 Ga : Premiers fossiles chimiques d'eucaryotes (stéranes)**

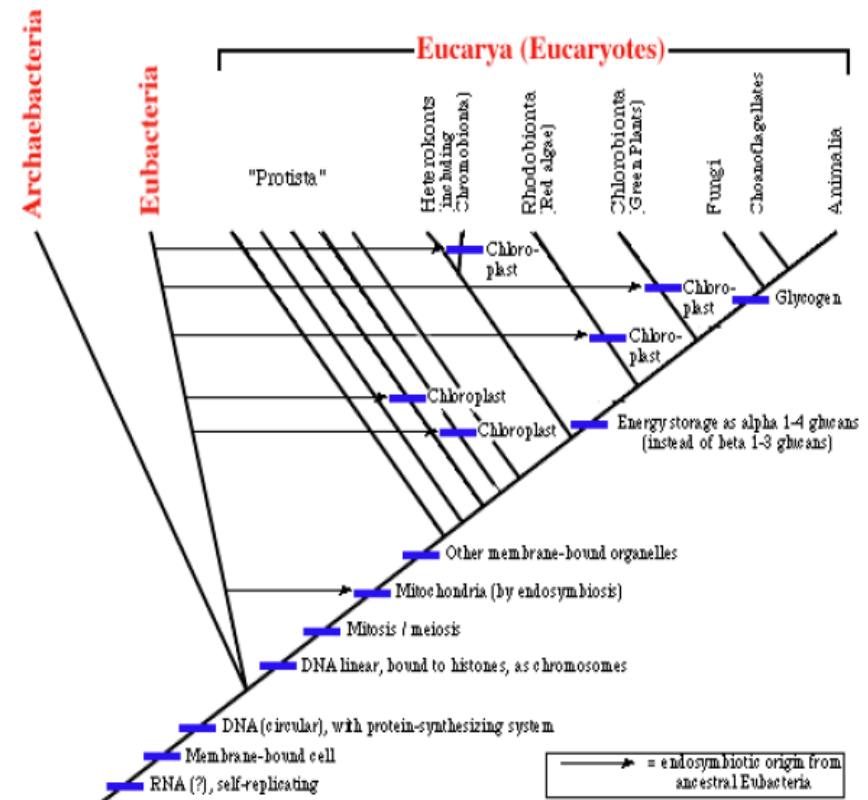
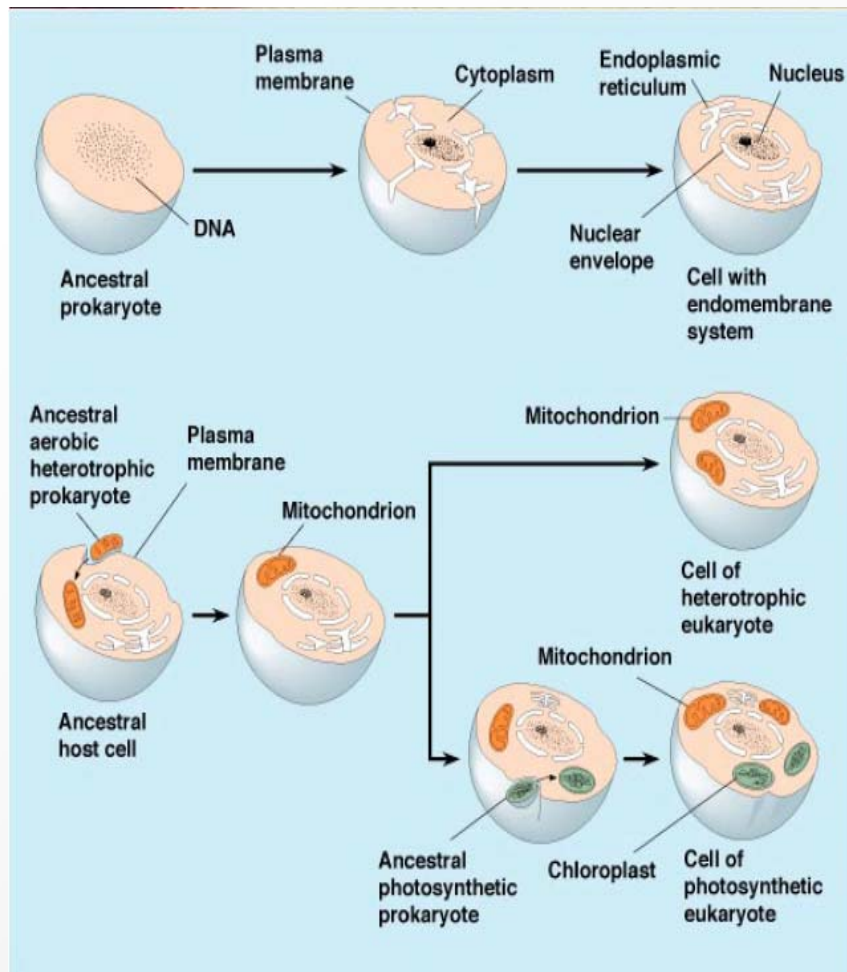
**Premiers Métazoaires?**

**Ediacara – 600 Ma**



Grypania, 2 Ga

## C. L'apparition des plastes et mitochondries chez les eucaryotes – théorie de l'endosymbiose



Acquisition de mitochondries par les cellules eucaryotes: -3 à -2 Ga??  
= protection contre toxicité de l'oxygène?

Acquisition de plastes plus tardive: -1.2 à -2 Ga. Une ou plusieurs fois ?

### III. L'explosion Cambrienne, le Big Bang de l'Evolution animale

#### A. Juste avant l'explosion Cambrienne : Faune d'Ediacara et faune tomotienne

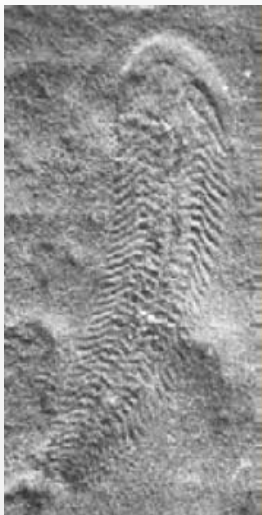
Ediacara, Australie, **-580 Ma**. Faune retrouvée dans une 20<sup>ne</sup> de sites dans le monde



*Dickinsonia*



*Tribachidium*  
Echinoderme primitif?



*Spriggina*  
Ver?



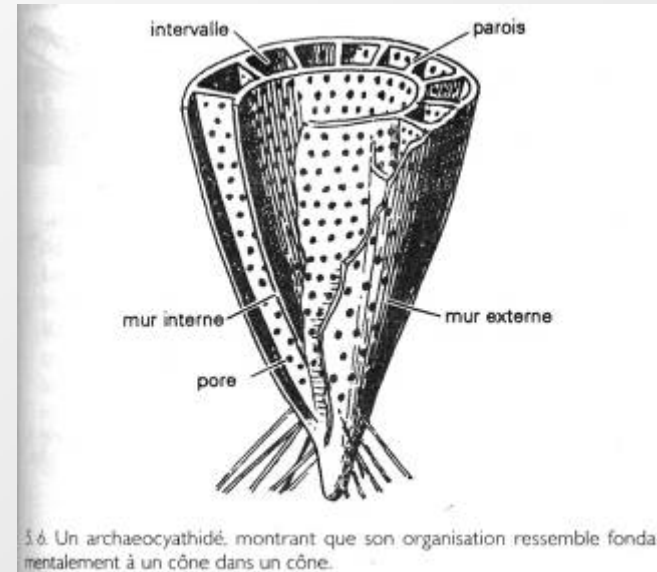
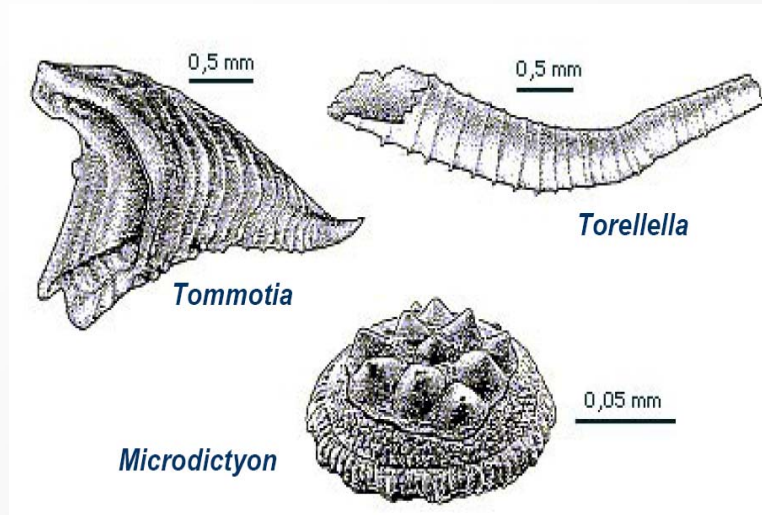
Certains auteurs cherchent affinités avec les métazoaires actuels, mais pas facile.

D'autres proposent que ces fossiles étaient des métazoaires disparus et sans équivalents actuels.

⇒ « expérience avortée de la Vie »

Tommot, Sibérie, -530 Ma. Fin Précambrien- Début Cambrien. Faune retrouvée partout.

Faune tommotienne ou « faune à petites coquilles »: **minéralisation des squelettes**



Affinités avec organismes actuels??

Parmi les plus abondants, les **Archéocyathes**: embranchement propre, **disparition fin du Cambrien**

## B. La faune de Burgess : une faune de la base du Cambrien

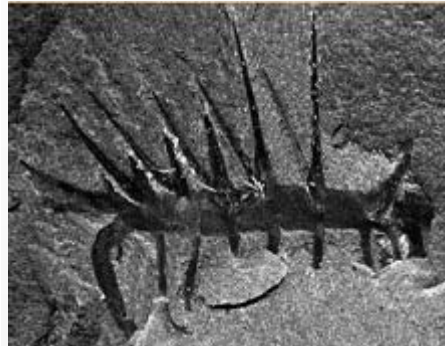
**Burgess**, Colombie Britannique (Canada), **520-505 Ma**, retrouvée partout dans le monde



*Olenoides*



*Pikaia*



*Hallucigenia*



*Anomalocaris*



*Opabinia*



Trilobites = forme phare.

On retrouve presque **tous les grands groupes connus** (Eponges, Algues, Brachiopodes, Echinodermes, Mollusques ...)

Mais aussi des **phylums qui n'existent plus**

Arthropodes: 4 plans d'organisation (Uniramés, Crustacés, Chélicérates, Trilobites)  
À Burgess: 20 autres types fondamentaux d'organisation!!

Ediacara : 580Ma  
Tomot : 530 Ma  
Burgess : 520 Ma

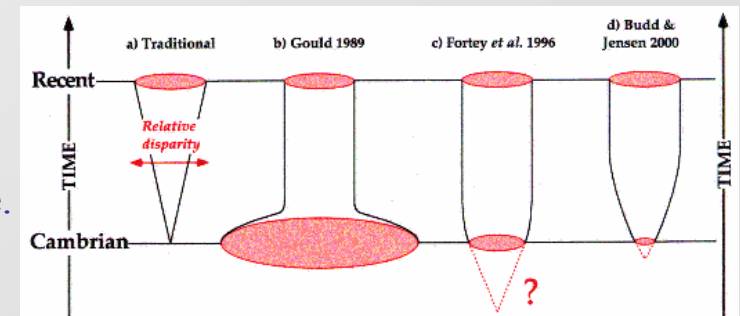
## C. Causes de l'explosion cambrienne

- Dioxygène atmosphérique atteint une teneur critique
  - Nutriments plus abondants ?
  - Après un épisode de glaciation intense (Snow Ball Earth)
- } Environnement
- Apparition du squelette modifie les plans d'organisation.
  - Des nouveautés évolutives permettent des grands changements  
Génome plus plastique ?
  - Apparition de la prédation impliquant l'apparition de nouveaux plans d'organisation afin de s'adapter
- } Gènes

## D. Un point singulier dans l'histoire de la Vie

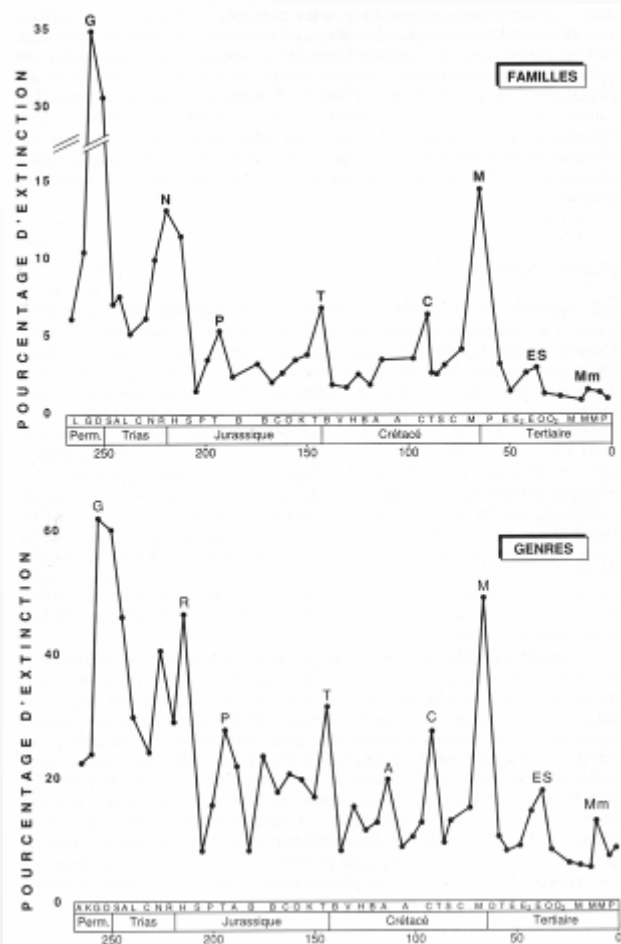
Apparition de nombreux plans d'organisation, plus rien ensuite.

Diversification des espèces, mais plus de nouveaux grands phyla



## IV. Les épisodes d'extinction/radiations au Phanérozoïque

### A. Rappel- diagnostic et cause des extinctions



-Concurrence entre espèces? Exemple : formation de l'isthme de Panama à la fin du tertiaire, il y a 3 Ma (cf. cours n°3).

-Volcanisme, notamment de trapps (hiver nucléaire)?

-Impact d'une comète ou d'un astéroïde (hiver nucléaire)?

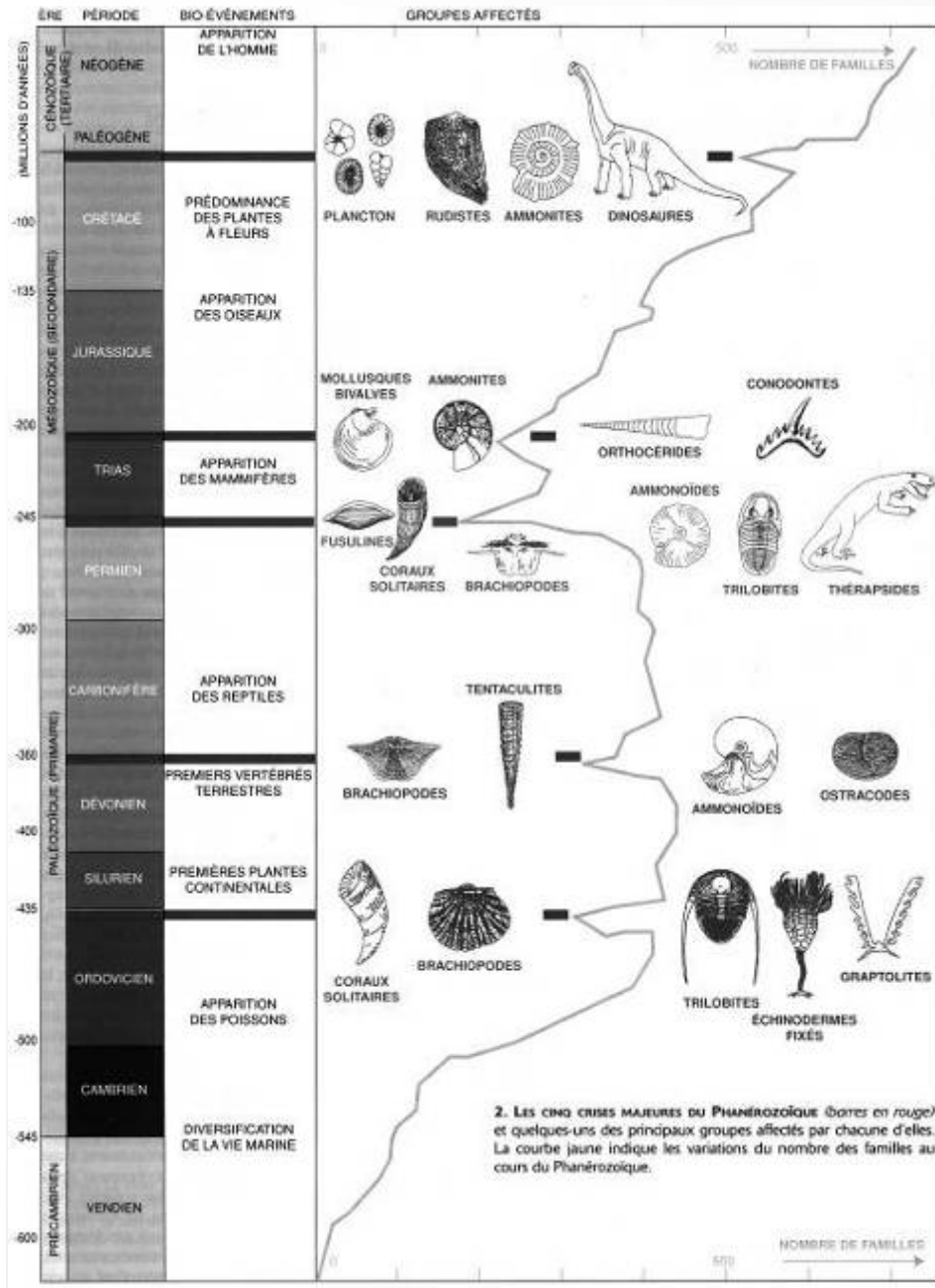
-Modification de la circulation des courants océaniques?

-Retrait des mers (eustatisme)? Assèchement du plateau continental, changements de températures etc..

Court laps de temps, groupes extrêmement variés et adaptés à des modes de vie très divers et dans le monde entier.



## B. Recensement des grandes extinctions



-L'apparition d'oxygène et le premier épisode de Snow Ball Earth 2.5-2.2 Ga

-Cambrienne 560-500 Ma.

Disparition des faunes d'Ediacara, de nombreux phyla de Burgess.

-Fin Ordovicien 440 Ma

Graptolites frôlent la disparition. Trilobites céphalopodes, brachiopodes et échinodermes fixes sont très affectés.

-Dévonien 370 Ma

Entre Frasnien et Famennien. **Tentaculites** disparaissent.

-Permo-Trias, 250 Ma. La plus catastrophique de toutes.

**Graptolites, Trilobites, Tétracoralliaires (Rugeux), Tabulés, Goniatite, Fusulines** disparaissent.

-Fin du Trias, 202 Ma.

**Orthocéridés et Cératidés** disparaissent.

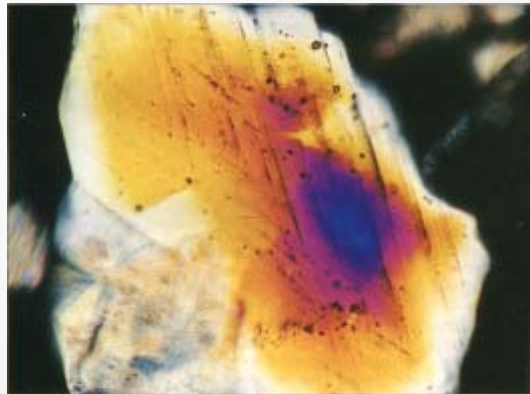
-Crétacé-Tertiaire, 65 Ma.

**Disparition des dinosaures** (pas tout a fait vrai car oiseaux sont des dinosaures), **reptiles volants** (ptérosaures), reptiles marins (**plésiosaures**), nombreux **foraminifères planctoniques** dont **Globotruncana, rudistes, ammonites, bélemnites**.

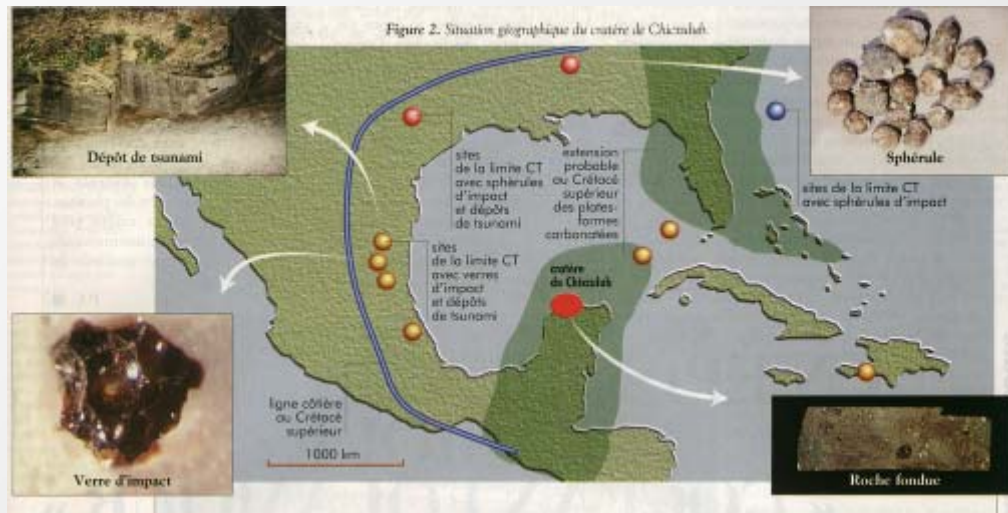
# La crise K/T (65 Ma)



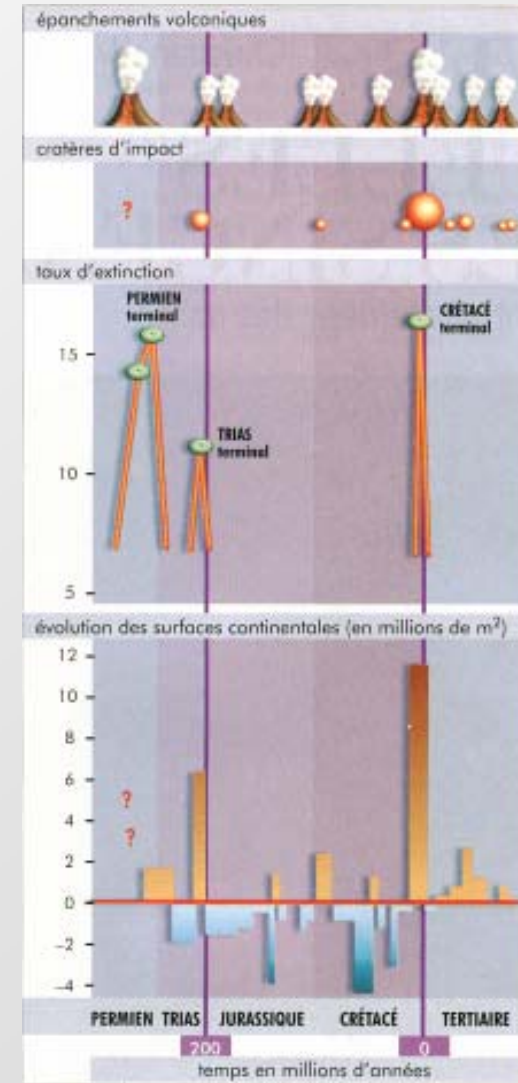
Fine couche noire d'argile à la limite K/T enrichie en Iridium à Hendaye



Quartz choqué



Le cratère est mis en évidence par des cartes d'anomalies gravimétriques



## D. Conséquences à long terme des extinctions biologiques

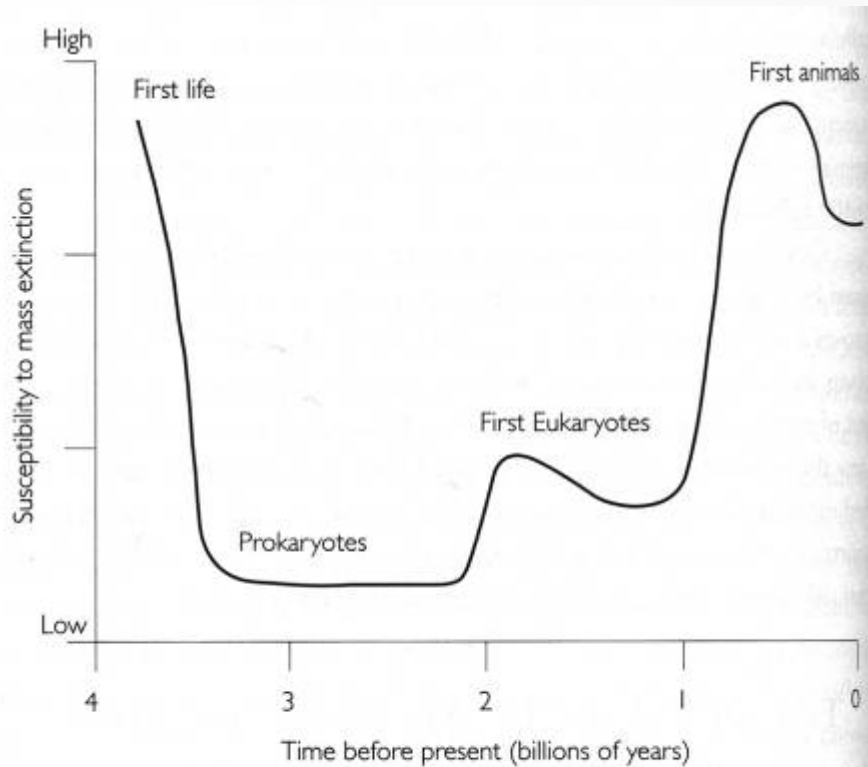
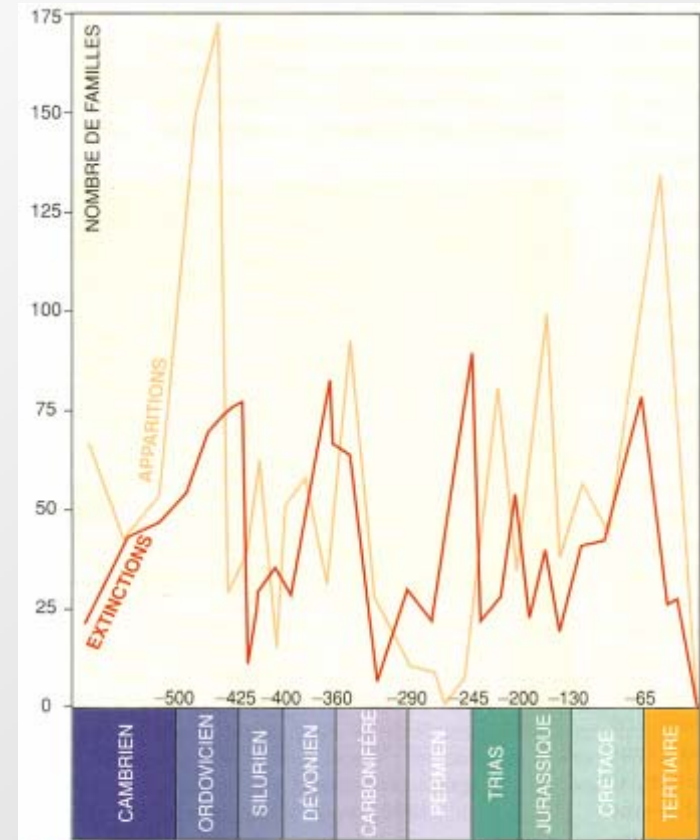


Figure 8.4 Hypothesized curve of extinction "risk," or susceptibility, through time. Extinction risk is highest soon after a new evolutionary type appears and then lessens as diversification occurs. Diversification is insurance against extinction.



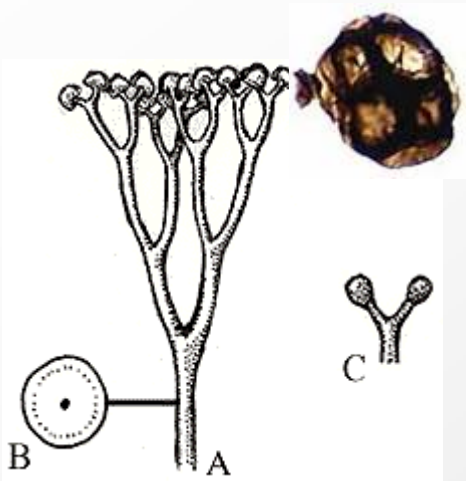
9. EXTINCTIONS ET RADIATIONS ADAPTATIVES. Après les pics de radiation initiaux du Cambrien et de l'Ordovicien inférieur, chacun des cinq pics majeurs d'extinction a été suivi d'un nouveau pic de diversification.

Radiations évolutives, offrent une opportunité à l'innovation évolutive.

Selon moment auquel se fait la catastrophe, on a des conséquences plus ou moins fortes.

## V. La colonisation des continents- « la sortie des eaux »

### La colonisation des continents par les végétaux (Silurien-Dévonien)



*Cooksonia et Aglaeophyton,*  
*Premières plantes vasculaires*



*Baragwanathia*

Grands traits de l'évolution des végétaux :

-**cuticule**  $\Rightarrow$  développement de **stomates**

-**Lignine** permettant une croissance en hauteur et compétition pour la lumière.

-eau et nutriments difficiles d'accès : **symbiose** avec champignons endomycorhizateurs.

-**protection des cellules reproductrices**, œuf, anthérozoïdes et spores, contre l'évaporation; reproduction par ovules fécondés à l'intérieur de la plante.

-**Réduction du thalle** et du gamétophytes au profit du cormus (sporophyte).

- Développement d'une paroi de **sporopollénine** résistante à la dessiccation pour les spores...

# La sortie des eaux des vertébrés 375-380 Ma (Dévonien)

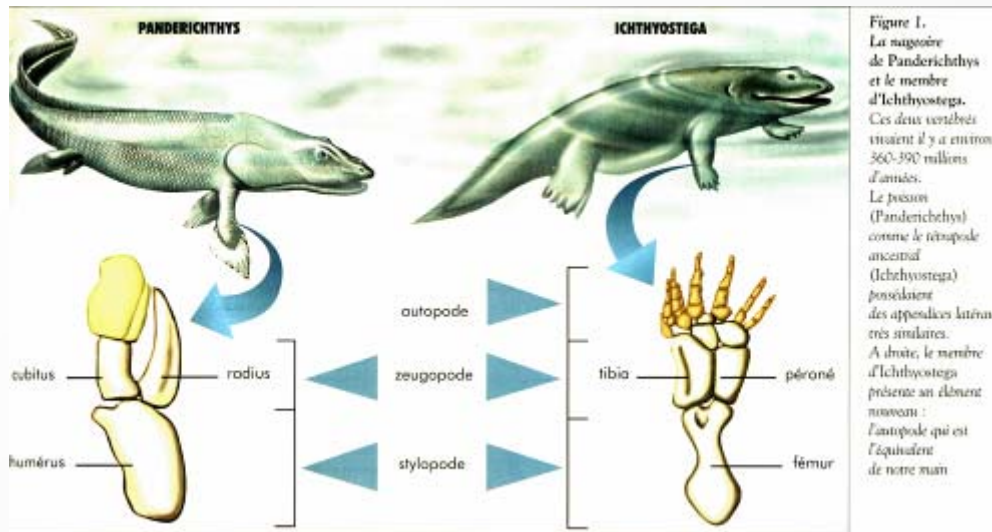
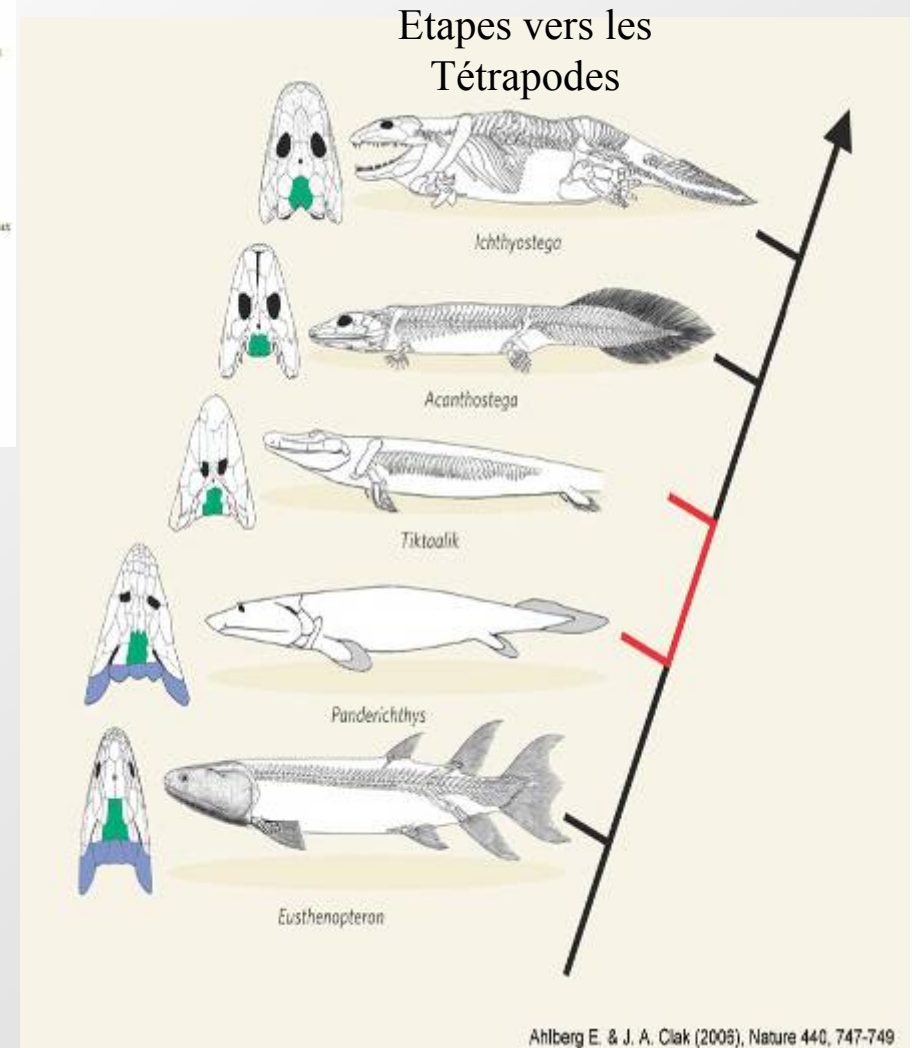
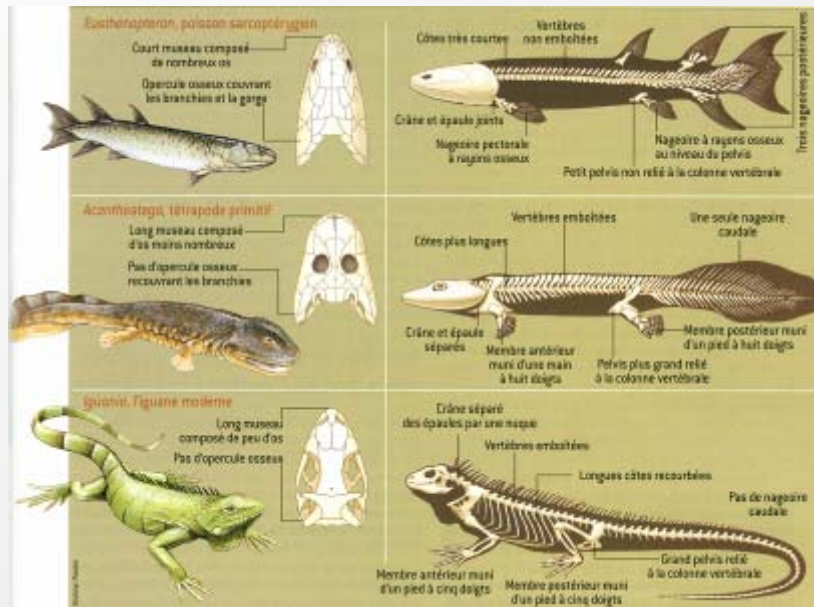


Figure 1. La nageoire de Panderichthys et le membre d'Ichthyostega. Ces deux vertébrés vivaient il y a environ 360-390 millions d'années. Le poisson (Panderichthys) comme le tétrapode ancestral (Ichthyostega) possédait des appendices latéraux très similaires. À droite, le membre d'Ichthyostega présente un élément nouveau : l'autopode qui est l'équivalent de notre main.



Chez les Vertébrés: Transition sarcoptérygien → Tétrapode illustrée par Panderichtys/Acanthostega

## Conclusions

Va t'on vers une complexification croissante ? Pas clair...

→ simplification secondaire des parasites, disparitions drastiques et aléatoires au cours de l'histoire de la vie.

Si on refait le film de la vie, a t'on le même résultat ?

→ Si on trouvait de la vie ailleurs...