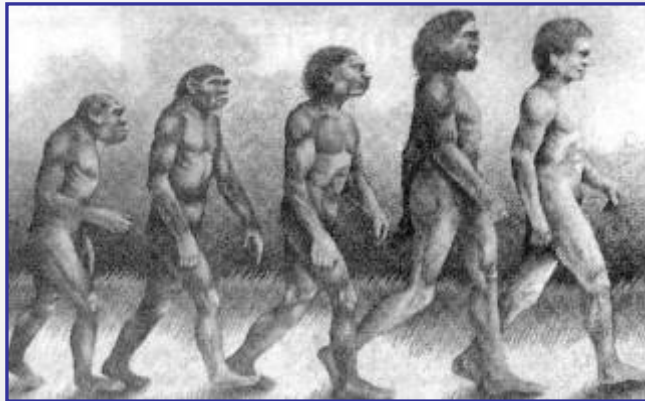


CAPES SVT

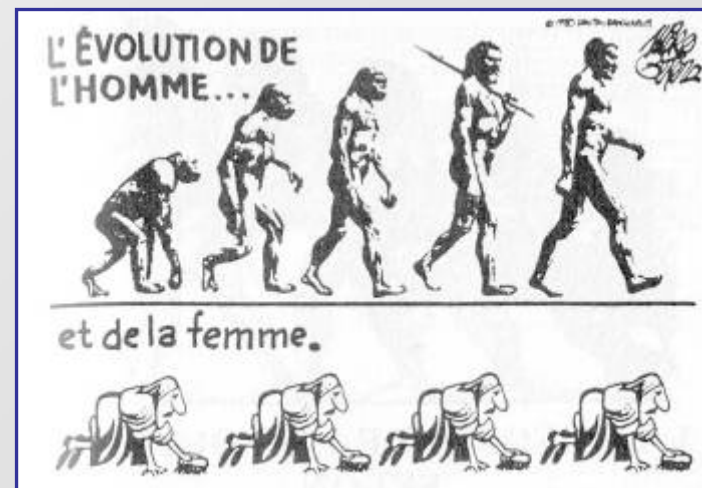
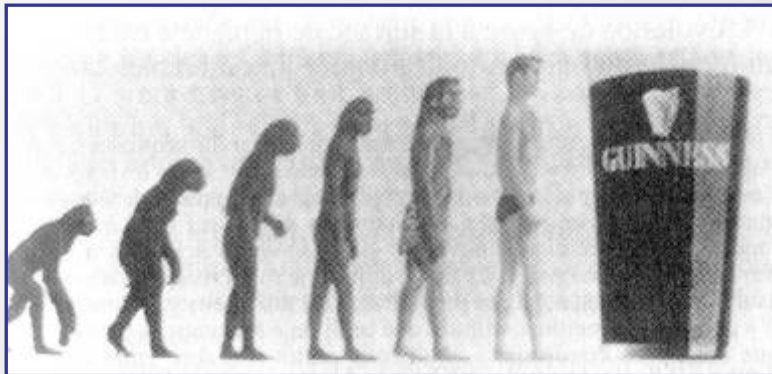
Les grandes étapes de l'Histoire de la Vie

Karim Benzerara

karim.benzerara@impmc.jussieu.fr



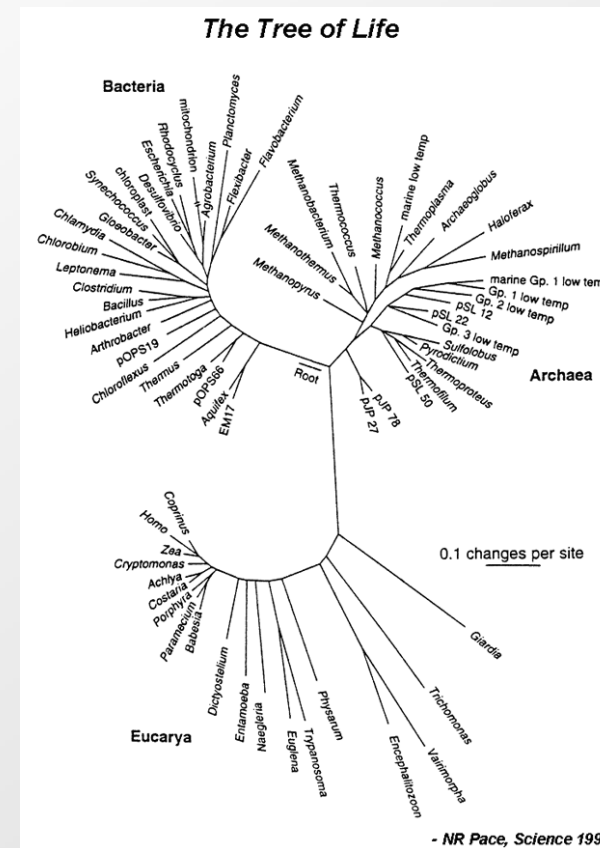
De Gould, La vie est belle



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**

Introduction

I. De l'apparition de la vie aux premiers métazoaires : un monde microbien pendant les 6/7 de l'histoire de la Terre

A. Les conditions de la Terre primitive

B. Les premières traces de vie fossile: Quand la vie est elle apparue?

C. Chimie prébiotique et monde à ARN: Comment la vie est-elle apparue ?

D. La notion de dernier ancêtre commun universel - LUCA

E. La diversification des métabolismes microbiens et l'apparition des premiers eucaryotes– la coévolution Terre-Vie

Transition: Un point singulier, irréversible: l'oxygénation de l'atmosphère. Premier eucaryote 2.3 Ga, puis apparition des Métazoaires. Théorie de l'endosymbiose.

II. L'explosion Cambrienne, le Big Bang de l'évolution animale

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

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

C. Les causes de l'explosion cambrienne

D. L'explosion Cambrienne, un point singulier dans l'histoire de la Vie

Transition: Grands plans d'organisation mis en place mais de nombreux ont disparu aussi. Disparition des espèces se font continuellement mais il existe des phases d'accélération

III. Les grandes extinctions biologiques

A. Définition d'une extinction en masse: les faits.

B. Recensement des grandes extinctions

C. Les causes des grandes extinctions en masse

D. Exemple de crises: crise Permo-Trias et crise K/T

D. Conséquences à long terme des extinctions biologiques

Transition: « La vie en catastrophe » est un des aspects de l'Histoire de la Vie. Elle est cependant régie aussi par d'autres mécanismes qui ont aboutit à des évènements majeurs conduisant par étapes à la vie telle qu'on la connaît aujourd'hui

IV. Les grandes étapes de l'évolution au Phanérozoïque

A. La colonisation des continents par les végétaux

B. La sortie des eaux des vertébrés

C. L'origine des innovations évolutives dans le monde animal

Conclusion

Bibliographie

PLS, Fev 2006, La sortie des eaux

La Recherche, Dec 1996, La Météorite, les dinosaures et le plancton

La Recherche, L'histoire de la Vie- 3 milliards d'années d'évolution

Dossier PLS, Janv 1997, L'évolution

Dossier PLS, Juillet 2000, La valse des espèces

Géochimie, P. Vidal Dunod

Brahic et al., Sciences de la Terre et de l'Univers, 1999 Vuibert.

Lethiers, Evolution de la biosphere et evenements geologiques. 1998 (GBSP)

Gargaud, L'environnement de la Terre primitive, Presses Universitaires de Bordeaux

Babin, Principes de Paléontologie, Armand Colin

Elmi-Babin, Histoire de la Terre, 1994 Masson.

Bignot, Introduction à la Micropaléontologie (GBSP)

Gall : Paléoécologie, paysages et environnements disparus.1998 (Masson)

Hors liste mais incontournable: "La Vie est belle" (et tous les autres...), S.J Gould

Paléontologie générale

Serveur Cours Paris 7 Pal L3 http://step.ipgp.jussieu.fr/wiki/index.php/Serveur_de_cours#BioG.C3.A9oPal

Serveur Paris 7 Geobio L3 http://step.ipgp.jussieu.fr/wiki/index.php/Serveur_de_cours#G.C3.A9obiologie

Leçons 2007 – PALEONTOLOGIE (et Bio)

Comparaison des classifications traditionnelles et des classifications phylogénétiques

Espèce et spéciation

Les arguments en faveur de l'évolution biologique

Les mécanismes de l'évolution du vivant

L'évolution à la lumière des arguments paléontologiques

L'évolution des Hominidés

Les informations apportées par les fossiles

Intérêt des foraminifères fossiles

Intérêts des mollusques fossiles

Fossiles et paléoclimatologie

La reconstitution des paléoclimats

La reconstitution des paléoenvironnements : méthodes et exemples

Les informations paléoécologiques apportées par les fossiles

Microfossiles et paléoenvironnements

La biostratigraphie : bases et applications

Les méthodes de datation en géologie

Un exemple de coupure en géologie : la crise Crétacé-Tertiaire

Un exemple de coupure en géologie : la crise Permo-Trias

Les grandes extinctions

Les grands traits de l'histoire de la planète Terre

Le rôle de la biosphère dans les processus géologiques

Le rôle des êtres vivants dans la formation des roches sédimentaires

Le rôle des organismes photosynthétiques dans la formation des roches

Les formations bioconstruites

Les bassins houillers français

L'étude microscopique des roches sédimentaires et ses enseignements

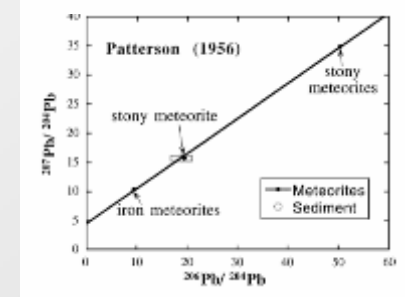
I. De l'apparition de la vie aux premiers métazoaires

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.

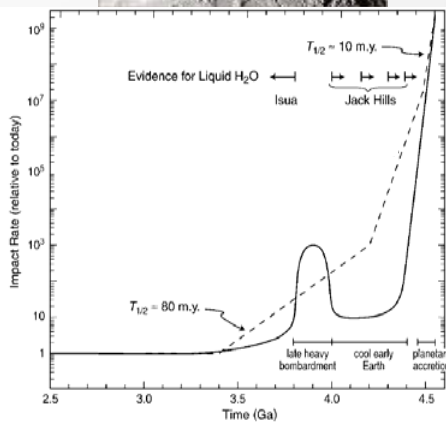
$$\frac{(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}) - (^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_0}{(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}) - (^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_0} = \frac{(e^{235t} - e^{235t_0})}{137.88(e^{238t} - e^{238t_0})}$$



-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^{ères} traces de croûte et d'océans à 4.4 Ga (Zircons).**

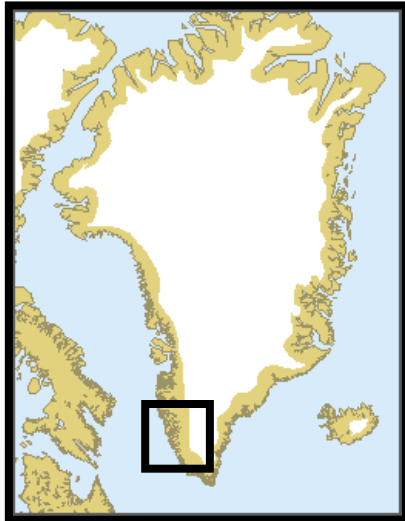


Archéen, 4 – 2.5 Ga: Plus anciennes roches; extraction des 3/4 de la croûte continentale. Pas d'O₂. T_{océans} = 70°C à 3.5 Ga (20°C à 800 Ma).

Protérozoïque, 2.5 Ga – 650 Ma (explosion cambrienne): Evolution chimique de l'atmosphère, notamment O₂

I. De l'apparition de la vie aux premiers métazoaires
B. Les premières traces de vie fossile: Quand la vie est elle apparue?

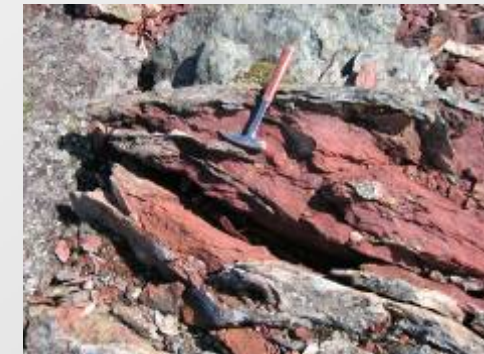
Les fossiles chimiques d'Isua (3.8 Ga)



Isua, Groënland
Roches métamorphisées dans le faciès amphibolite: 550°C, 5 kbars



Méta - Banded Iron Formations



Métacarbonates

Inclusions de Carbone (graphite)

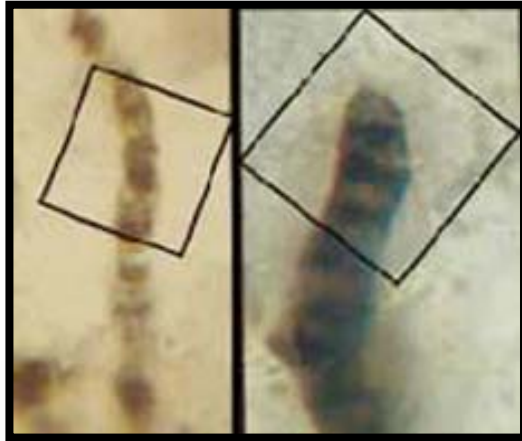
Compositions isotopiques pauvres en ^{13}C ($\delta^{13}\text{C}$ entre -25 to -6%) interprétées comme une biosignature

Mais

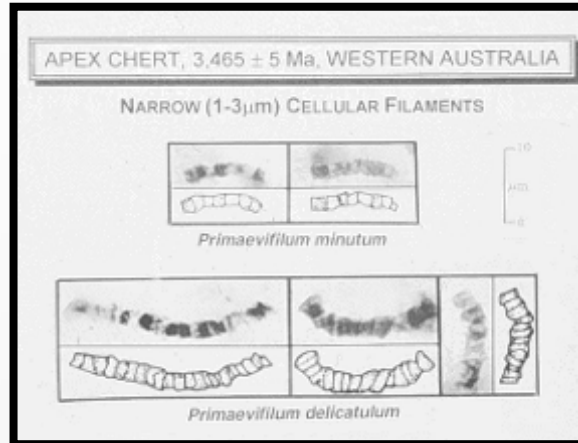
De la contamination par de la matière organique moderne et des réactions métamorphiques peuvent conduire au même fractionnement isotopique du C

De M. Van Zuilen

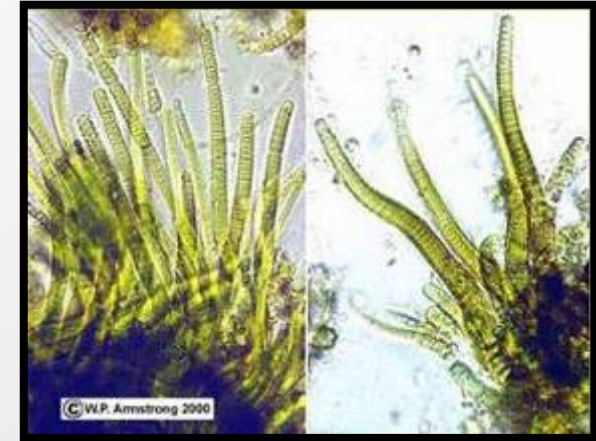
Premiers fossiles bactériens (Australie, Afrique du Sud) : 3.5 Ga



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 de 3.5 Ga



Stromatolites modernes



Stromatolites Archéen

Conclusions

Des organismes « élaborés » sont présent très tôt dans les archives géologiques (si l'on excepte les grandes controverses).

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).

I. De l'apparition de la vie aux premiers métazoaires

C. Chimie prébiotique et monde à ARN: Comment la vie est-elle apparue ?

Voir Gargaud et al.

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**

Thymine synthétisée à partir de l'uracile

ARN=amorces indispensables pour la réplification de l'ADN

Catalyse possible par ARN= ribozymes

Mécanismes d'apparition de ces molécules = chimie prébiotique.

Seul un mélange chimiquement réducteur peut conduire à ces composés

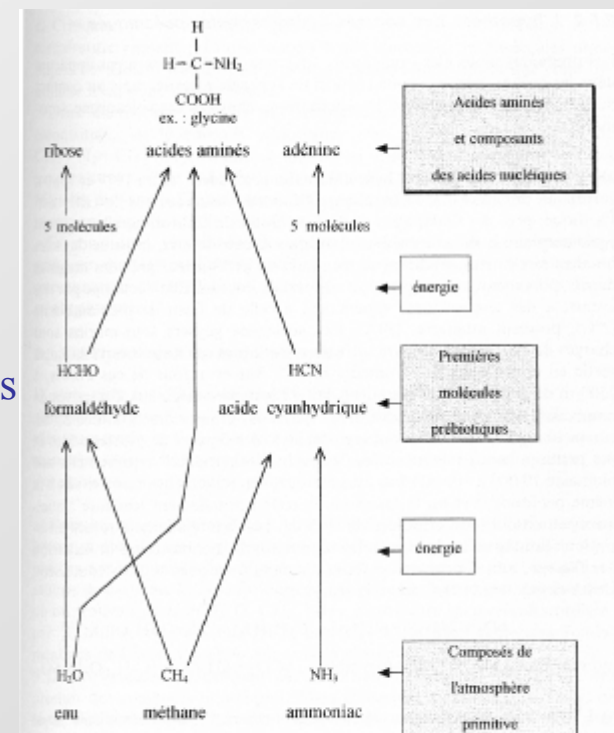
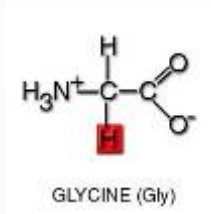


FIGURE 54 : Schéma des réactions possibles aboutissant aux premiers composés organiques importants.

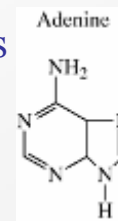
Lethiers

La chimie prébiotique: fabriquer les briques du vivant

Acides aminés



Acides nucléiques

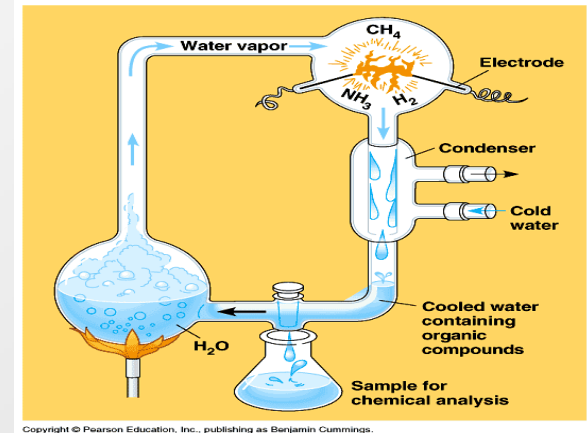


Différentes théories :

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

→ 4 acides aminés protéiques, formaldéhyde, acide cyanhydrique

Problème: Besoin d'une atmosphère très réduite (CH₄, NH₃) ce qui n'a pas été le cas



-**Chimie prébiotique dans environnements hydrothermaux.**

Protection par rapport à la surface, confinement, de la matière organique, de l'énergie et beaucoup de ces environnements sur le Terre primitive.

Problème: faible stabilité de l'ARN à haute température



-**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

Les briques du Vivant sont des molécules banales, communes dans l'Univers

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

Il faut enfin polymériser: pas facile (Energie). Intervention de thioesters. Rôle possible des surfaces minérales (argiles, sulfures)

En revanche, de nombreuses molécules n'ont pas pu être synthétisées.

C'est le cas en particulier :

de **trois acides aminés** fondamentaux, la **lysine**, l'**arginine** et l'**histidine**,
des **acides gras** nécessaires à la confection des membranes cellulaires,
de la plupart des **coenzymes** dont la présence est indispensable aux
fonctions métaboliques.

Les **glucides**, constituants fondamentaux des acides nucléiques, sont **très instables**, et le ribose, qui devrait être le plus abondant car étant la partie intégrante des nucléotides, n'est pas synthétisé de façon significative.

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?

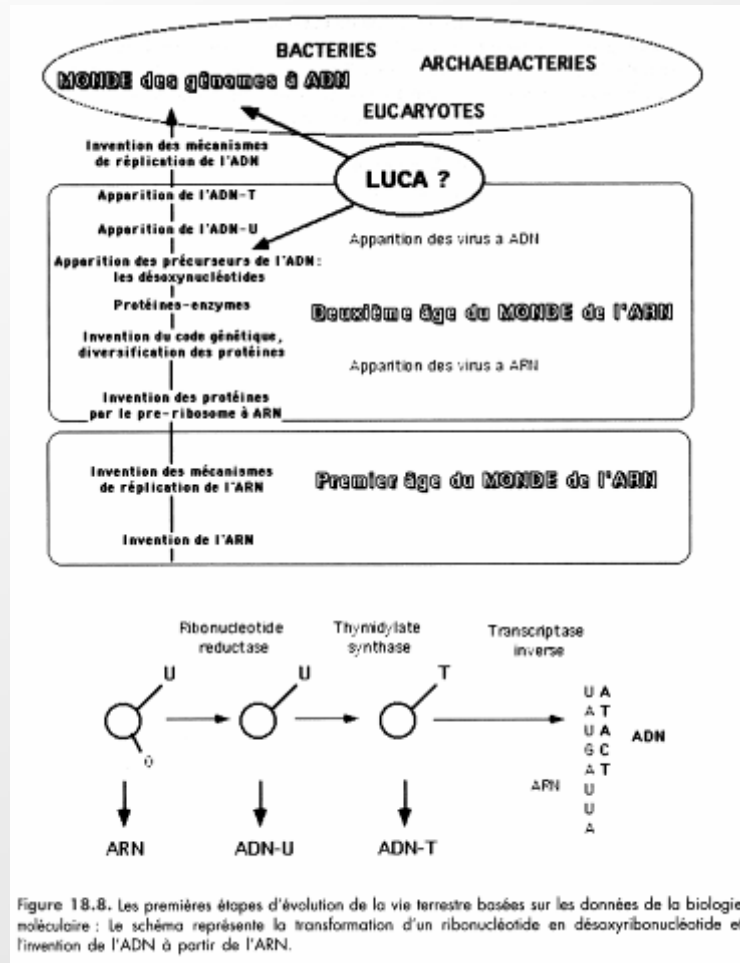


Figure 18.8. Les premières étapes d'évolution de la vie terrestre basées sur les données de la biologie moléculaire : le schéma représente la transformation d'un ribonucléotide en désoxyribonucléotide et l'invention de l'ADN à partir de l'ARN.

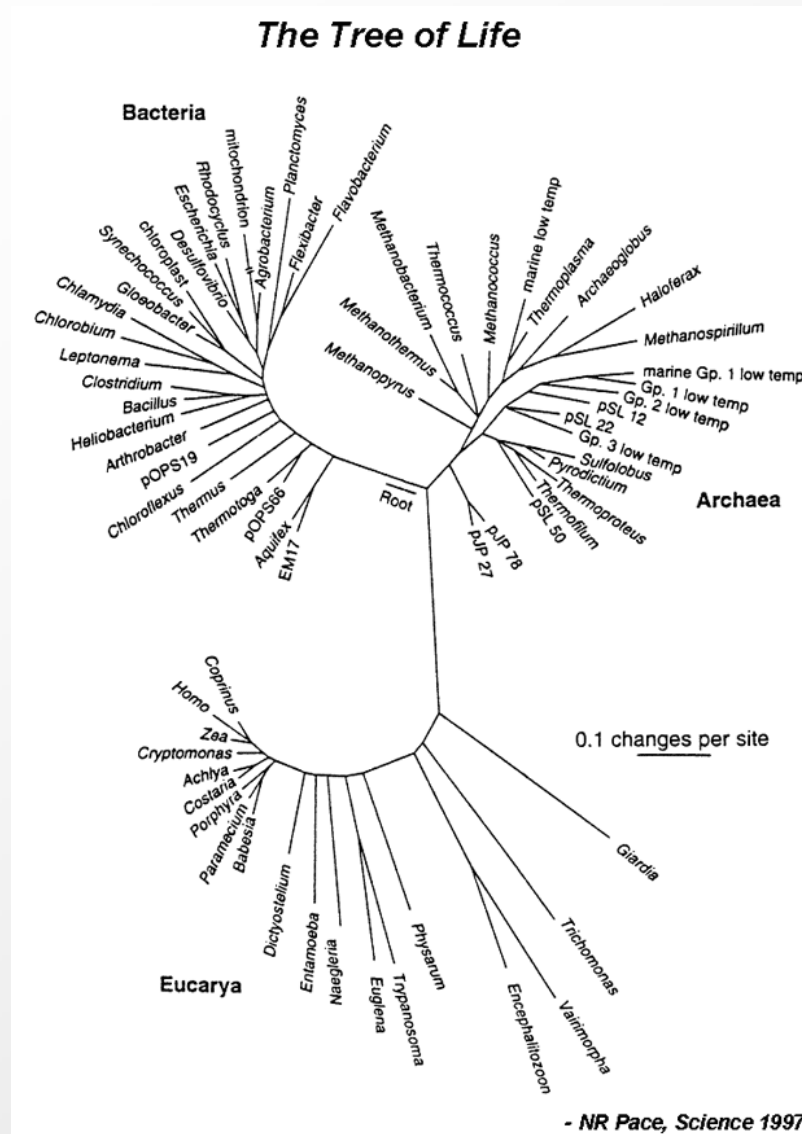
Gargaud et al.

I. De l'apparition de la vie aux premiers métazoaires

D. La notion de dernier ancêtre commun universel - LUCA

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

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



+ Ce n'est pas le premier organisme! C'est le dernier ancêtre commun de tous les êtres vivants actuels. Quel âge??

+ 1 cellule avec tous les équipements de base communs aux phyla actuels ou bien un ensemble de cellules échangeant du matériel génétique

+600 gènes?

+Vraisemblablement de l'ADN (contrairement à la question posée dans figure précédente)

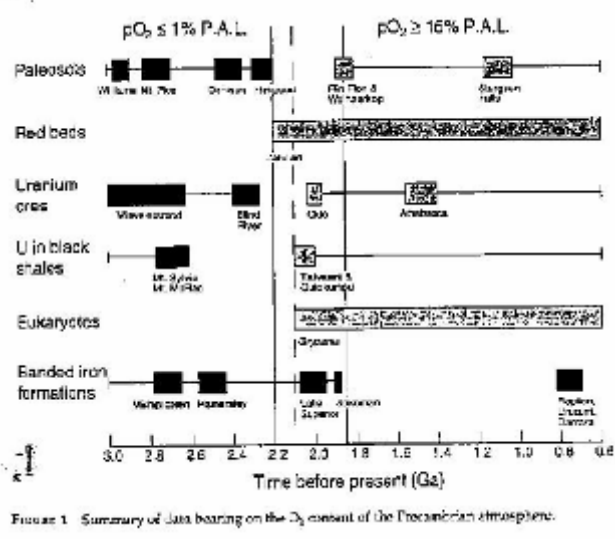
+Vraisemblablement ATPases et force proton motrice pour métabolisme

+Hyperthermophile ou thermophile?

I. De l'apparition de la vie aux premiers métazoaires

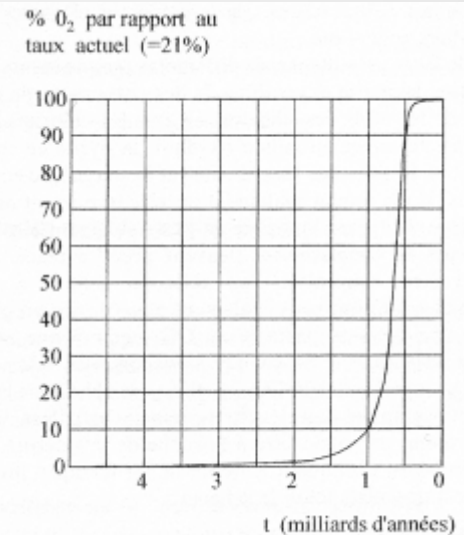
E. La diversification des métabolismes microbiens et l'apparition des premiers eucaryotes– la coévolution Terre-Vie

★ Evolution de la composition chimique de l'atmosphère



Très peu d'oxygène avant 2.3 Ga
 1% de la valeur actuelle à -2 Ga
 10% de la valeur actuelle à 600 Ma -1 Ga

Cause: photosynthèse oxygénique
 (Cyanobactéries dans stromatolites)



+ certaines données isotopiques du soufre



Evolution métabolismes:

1. Chemolithotrophes. Mise en place de chaînes de transport d'électrons (cytochrome = porphyrines avec Fe)
2. Phototrophie (pigments photosynthétiques = porphyrines avec Mg)
3. Photosynthèse oxygénique. Quand?? 2.3 Ga? Avant?

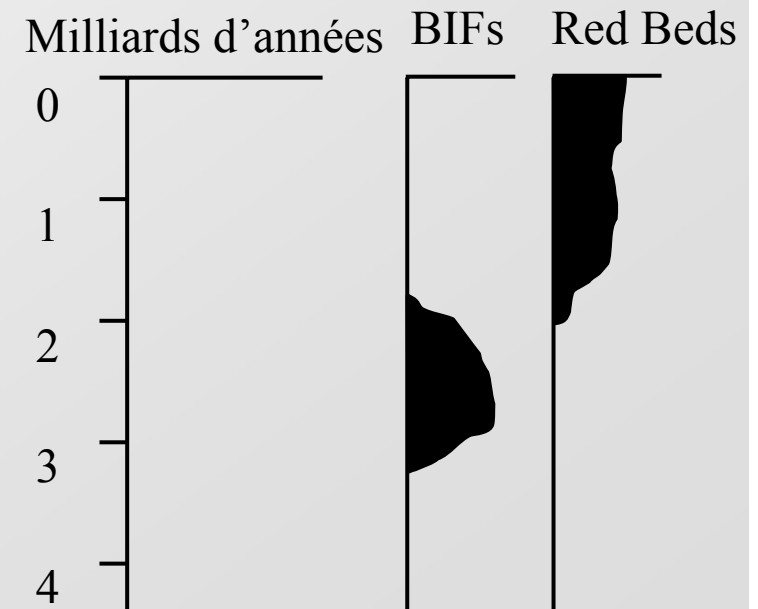
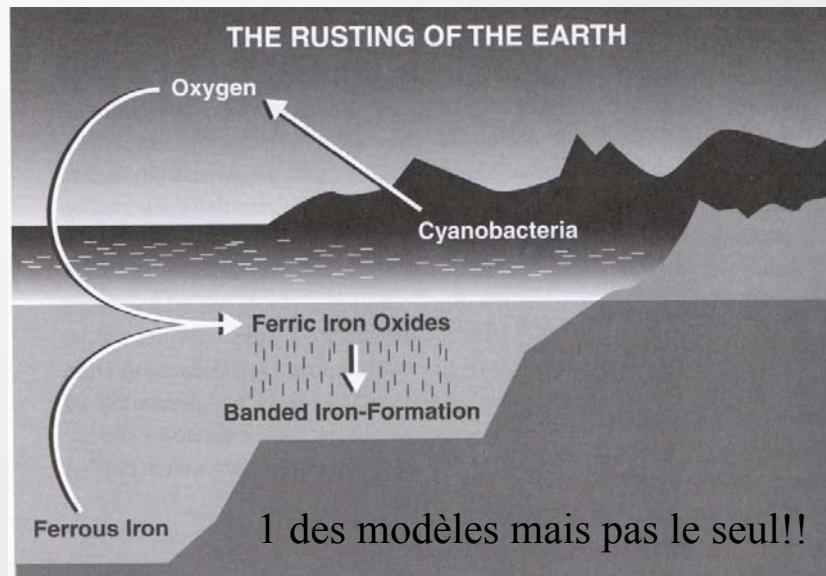
Un point sur les BIFS (=Banded Iron Formations = formations de fer rubanés)

Leur présence montre que l'atmosphère terrestre n'était pas très oxygénée mais en même temps qu'il y avait une certaine oxydation du fer. Quel est le mécanisme de cette oxydation?

Sédiments océaniques présentant **laminations**: **sidérite** et **hématite** (rouge), parfois **magnétite** (noir), et **silice** (blanc). La source de fer est hydrothermale sous forme de Fe(II). Puis le **fer est oxydé au moins partiellement** pour former les BIFs. On connaît ces BIFs entre **3.2 et 1.8 Ga**. Comment se sont ils formés?



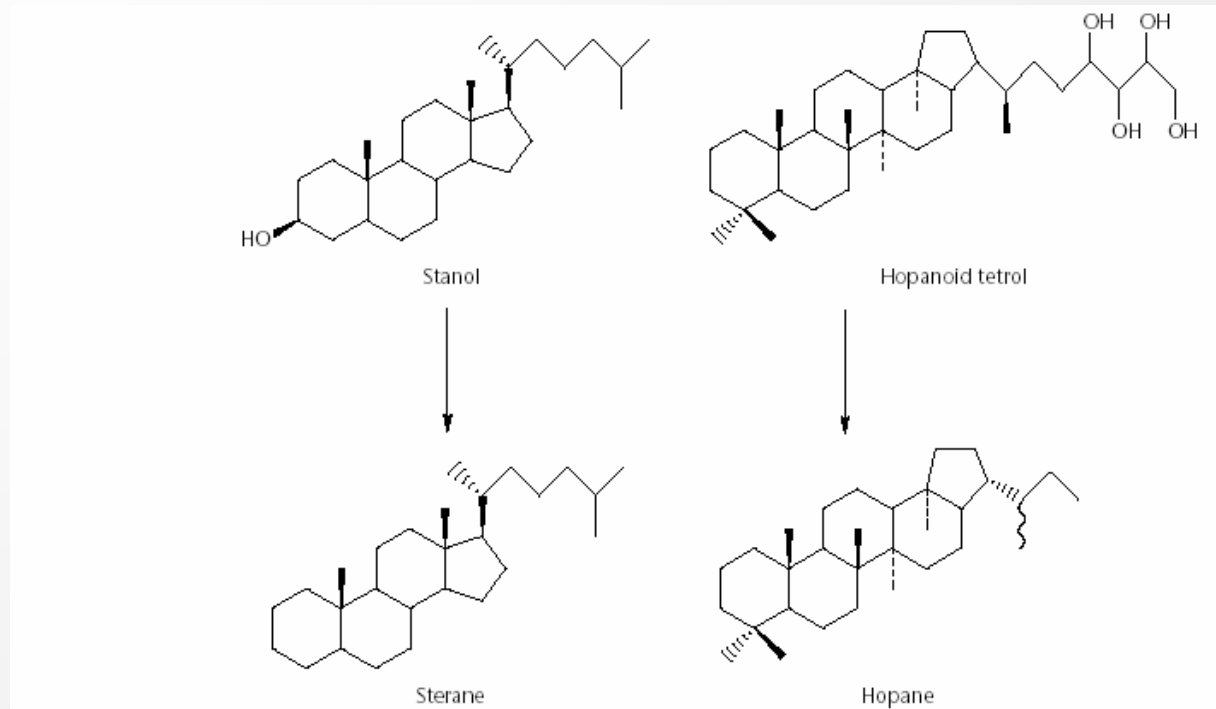
- photolyse de l'eau par rayonnement UV: produit O₂ et oxydation du fer
- production d'O₂ photosynthétique
- oxydation par des bactéries réalisant la photosynthèse anoxygénique



I. De l'apparition de la vie aux premiers métazoaires

Utilisation des biomarqueurs comme fossiles des métabolismes

Exemples de fossiles moléculaires (biomarqueurs) et leur transformation au cours de la diagenèse



Stérols: composants abondants de la membrane des Eucaryotes

Hopanoïdes: composants de la membrane de certaines bactéries. Différentes formes existent, certains seraient caractéristiques des cyanobactéries

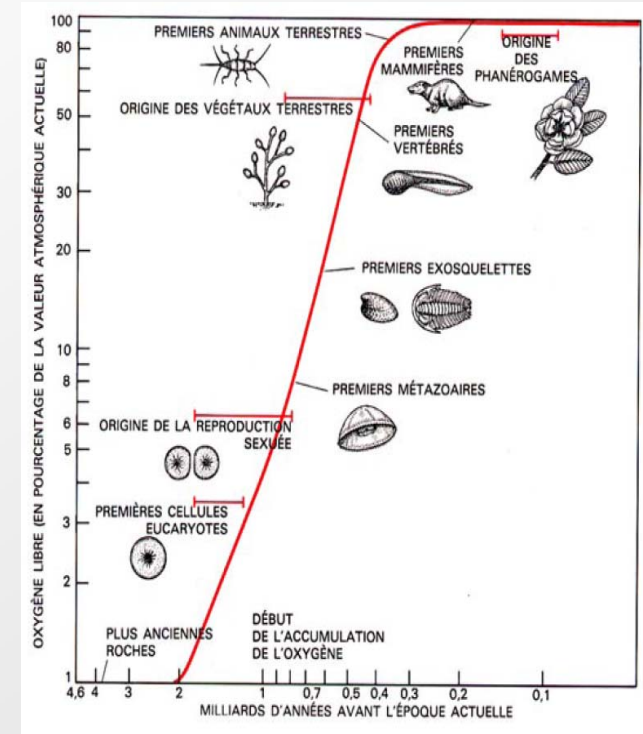
Stéranes et Hopanes peuvent être conservés dans les roches sur échelle des temps géologiques = biomarqueurs (fossiles moléculaires)

A 2.7 Ga, on trouve :

- certaines formes d'hopanes = cyanobactéries
- des stéranes = Eucaryotes

Conséquences:

- Modification des cycles géochimiques de nombreux éléments (Fe, C, S, N, P...): certainement une crise majeure!
- Diversification des métabolismes possibles à la surface de la Terre, et O₂ indispensable pour apparition des Métazoaires
- On pense que
 - Eucaryotes ont besoin de **1%** de la pO₂ actuelle
 - Métazoaires avec carapace: **10%**



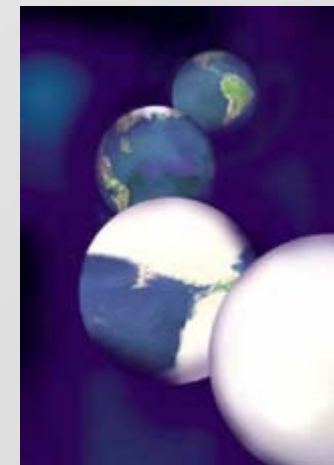
PLS

Parallèlement: plusieurs épisodes de glaciations gigantesques au Protérozoïque:

Snow Ball Earth: Sturtien (710-725 Ma), Marinéen (635-600 Ma). Puis Gaskiers (580 Ma).

Enregistrement sédimentaire de ces glaciations surmontés de carbonates de mer chaude.

⇒ impact certain sur renouvellement des faunes et sur la diversification de la Vie!



Les premier eucaryotes

Organismes actuels:

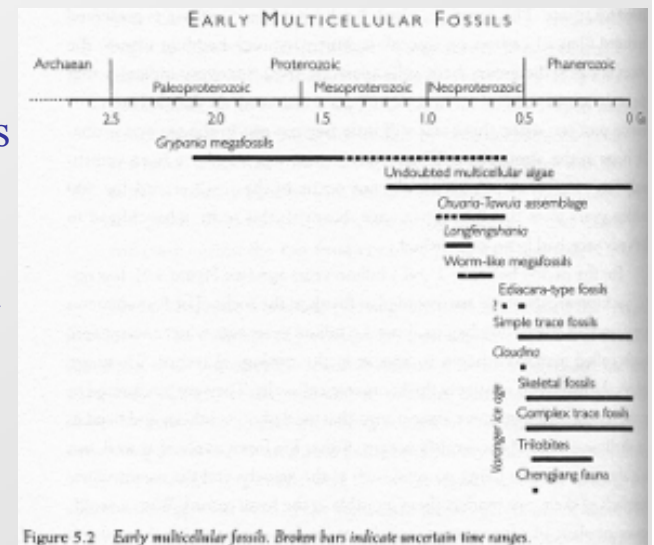
Dernier ancêtre commun des eucaryotes avait des mitochondries mais n'implique rien sur le premier eucaryote!

Fossiles:

2.7 Ga : Premiers fossiles chimiques d'eucaryotes (stéranes) mais des procaryotes peuvent les produire aussi!

2 Ga : Grypania= Premier fossile d'eucaryote admis sur la base de sa taille, mais argument peu solide

Certains proposent que le plus fossile apparenté à eucaryotes modernes= 850 Ma



Grypania, 2 Ga



Acritarches du Protérozoïque 1.5 Ga

Apparition des premiers eucaryotes et mécanismes d'évolution

Gènes eucaryotes de la réplication, transcription et traduction ressemblent à ceux des archaea

Gènes eucaryotes du métabolisme ressemblent à ceux des bactéries

Plusieurs scénarios:

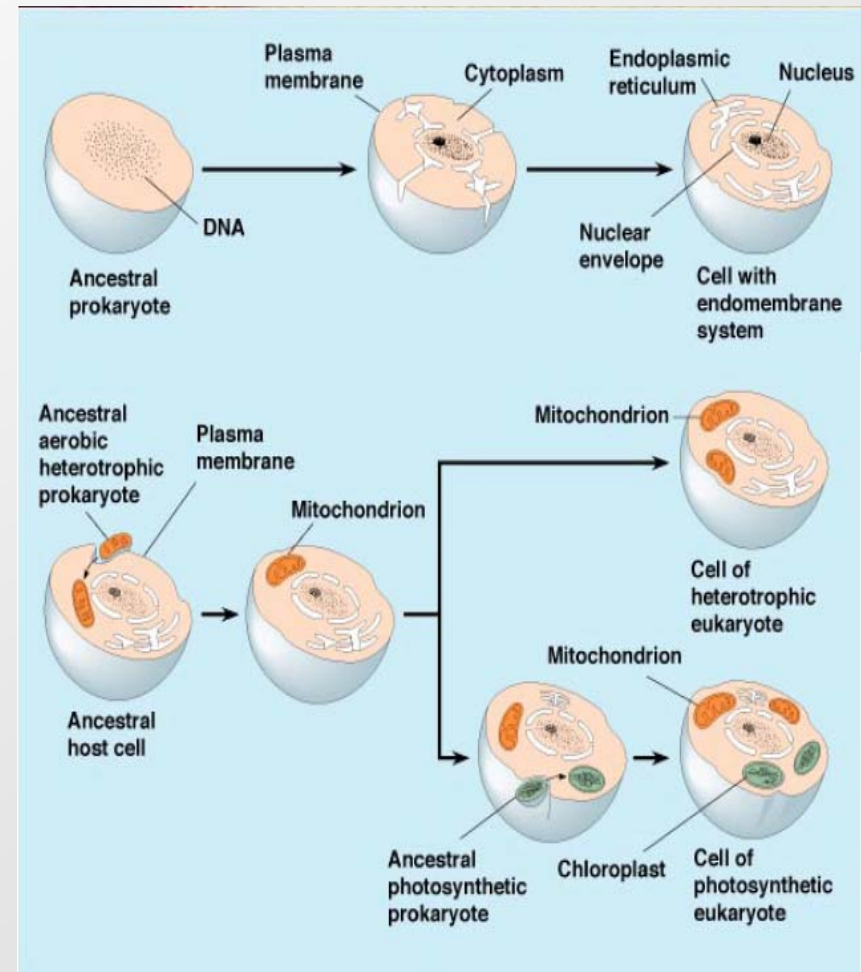
Ancêtre procaryote (Archaea) qui se complexifie. Gènes bactériens proviennent d'importations depuis mitochondries et chloroplastes obtenues par **endosymbiose**

Fusion d'une archaea et d'une bactérie par symbiose

LUCA est un eucaryote. Simplification secondaire donne procaryotes. Puis eucaryotes acquièrent mitochondries et plastes par **endosymbiose**.

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

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



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

A. Juste avant l'explosion Cambrienne : Faune d'Ediacara et faune tomotienne (cf Babin)

Ediacara, Australie, **-575 Ma**. Faune retrouvée dans une 20^{ne} de sites dans le monde (Radiation majeure entre -575 et -542 Ma): Apparition juste après la dernière grande glaciation



Dickinsonia



Tribachidium
Echinoderme primitif?



Spriggina
Ver?

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

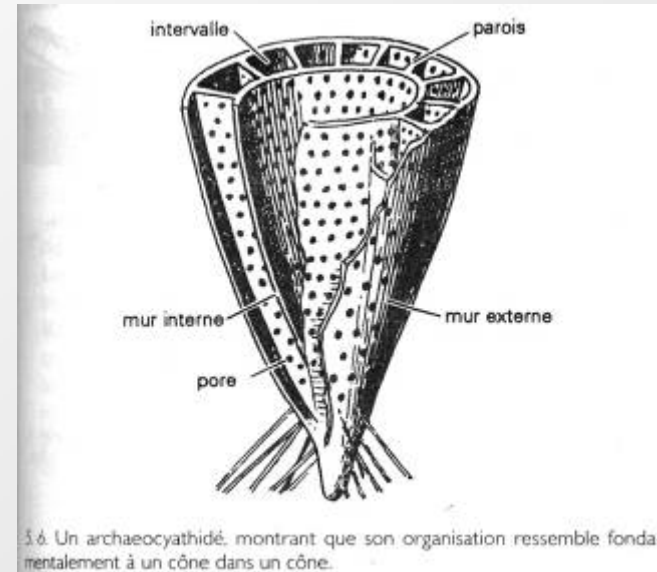
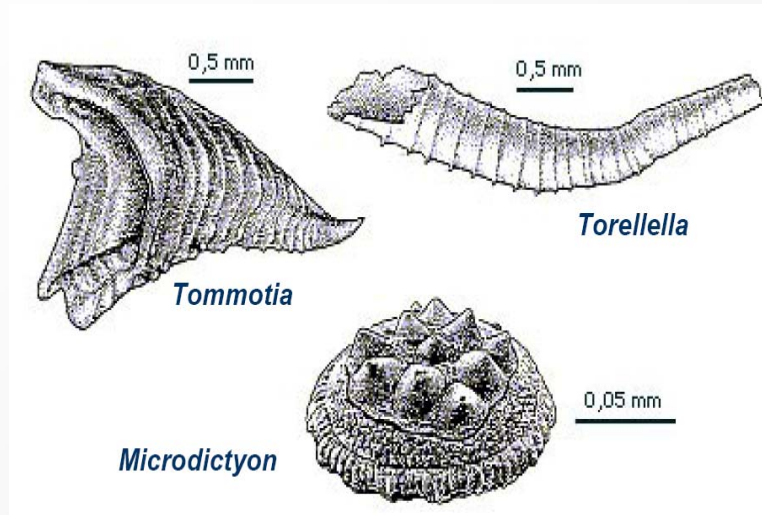
Disparition: prédation? Episode anoxique?

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**

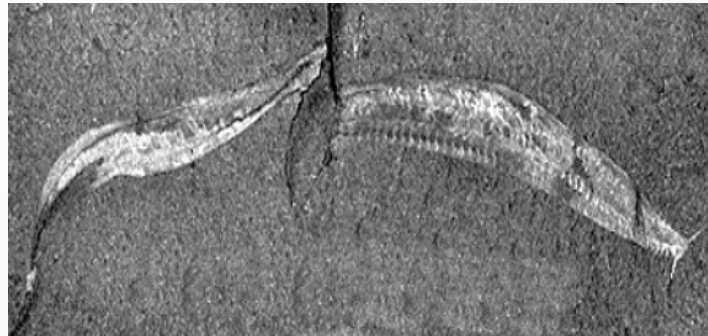
II. L'explosion Cambrienne, le Big Bang de l'Evolution animale

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

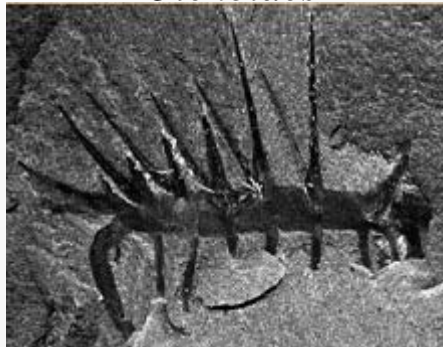
Burgess, Colombie Britannique (Canada), 520-505 Ma, retrouvée partout dans le monde



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

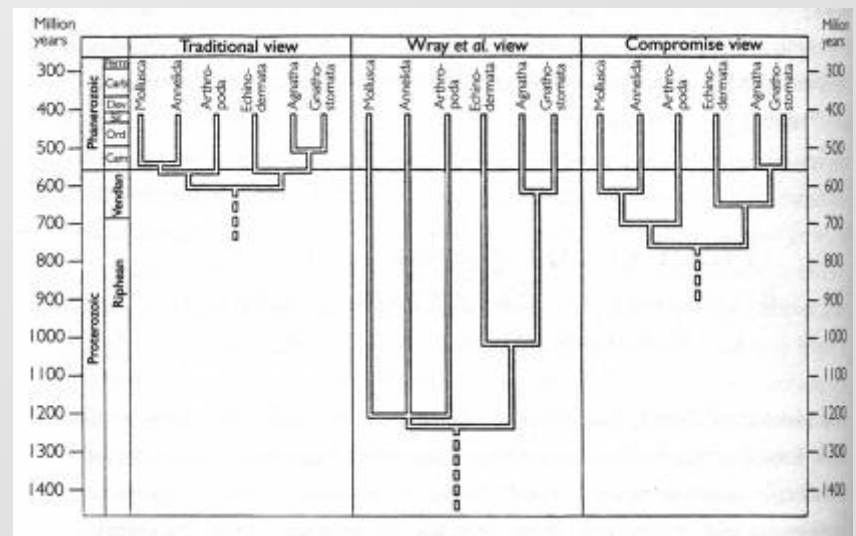
II. L'explosion Cambrienne, le Big Bang de l'Evolution animale

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

Explosion Cambrienne artefact ou réalité?

Vues différentes de la phylogénie des métazoaires. La plupart des paléontologues suivent la vue traditionnelle (gauche) acceptant l'enregistrement fossilifère comme un bon enregistrement. Les horloges moléculaires disent d'après certains que les origines des principaux phyla métazoaires sont beaucoup plus anciennes (centre). Un compromis, intégrant le fait que certaines horloges vont plus vite que d'autres proposent le schéma de droite et suggèrent qu'il faudrait rechercher les premiers métazoaires il y a 750 Ma



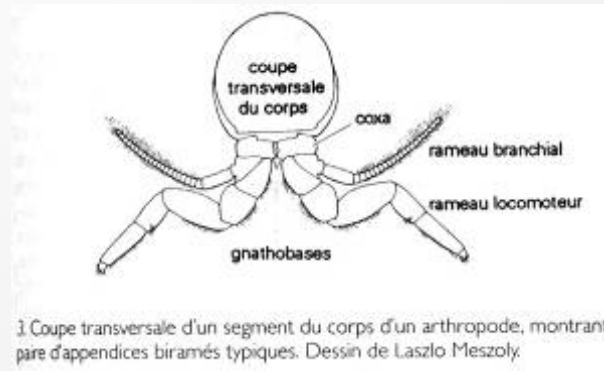
II. L'explosion Cambrienne, le Big Bang de l'Evolution animale

D. L'explosion Cambrienne, un point singulier dans l'histoire de la Vie

Arthropodes: 4 plans d'organisation (Uniramés, Crustacés, Chélicérates, Trilobites)

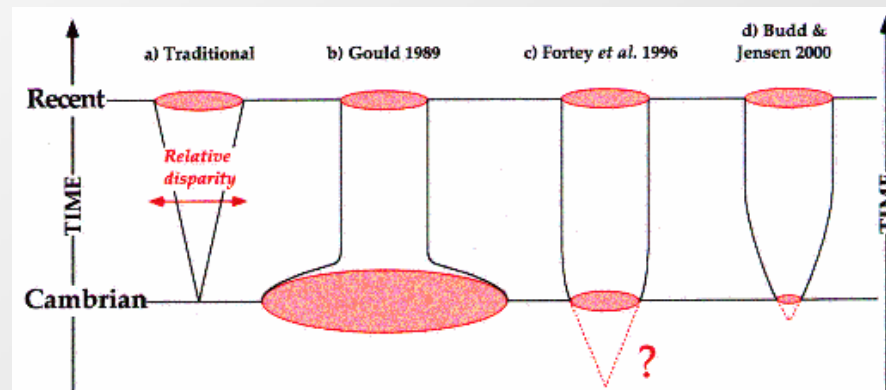
À Burgess: 20 autres types fondamentaux d'organisation!!

Rappel organisation des Arthropodes



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

Diversification des espèces par la suite, mais plus de nouveaux grands phyla



Quatre modèles de l'évolution de la **diversité morphologique** (ou **disparité**) des animaux au cours des temps fossilifères. Ici, le nombre d'espèces, qui définit la *diversité* d'un grand groupe, est opposé à la *disparité*, la variété des *plans d'organisation* qui définissent les grands groupes d'organismes.

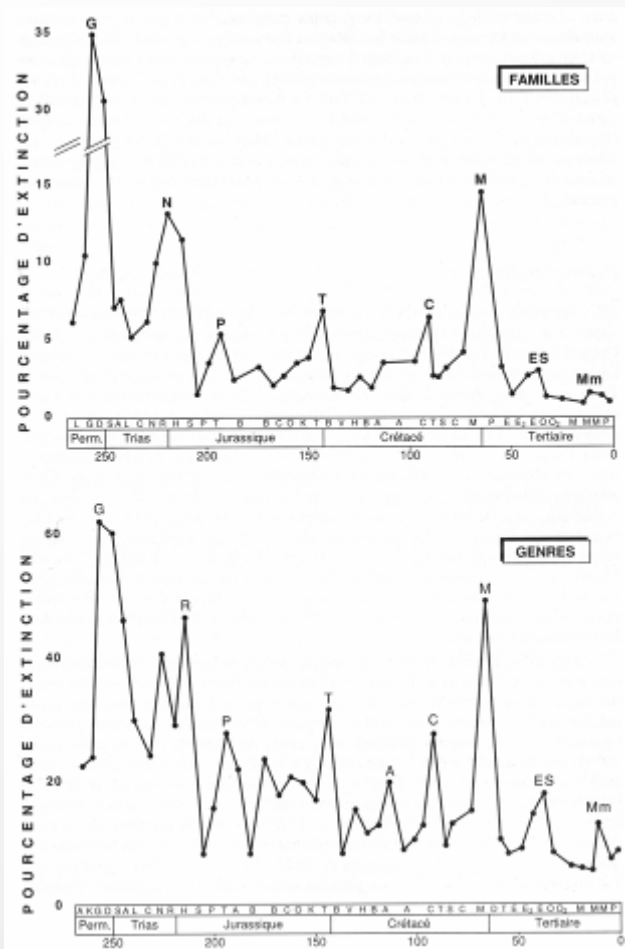
Le modèle traditionnel suppose une augmentation régulière de cette disparité. Pour S. J. Gould, la faune de Burgess montre une disparité supérieure à celle rencontrée ensuite. Pour les deux autres modèles, la disparité a augmenté rapidement avant de se stabiliser avec les quelques plans d'organisation reconnus aujourd'hui.

IV. Les grandes extinctions biologiques

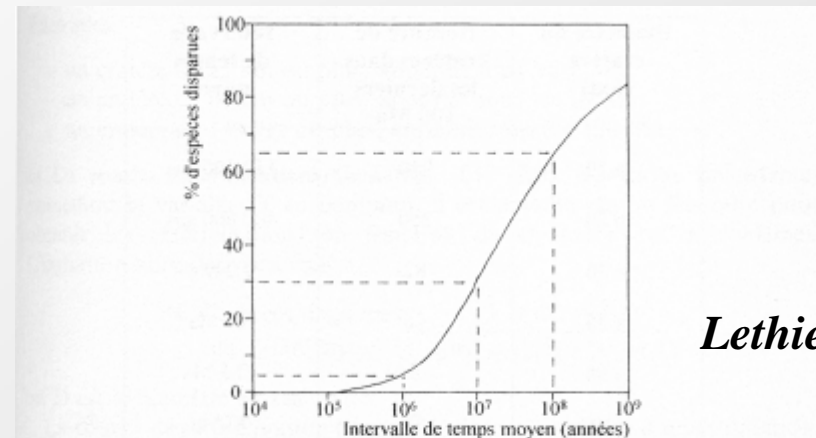
A. Définition d'une extinction en masse: les faits.

Inventaire des espèces, genres, familles: disparitions plus nombreuses que le bruit de fond.

Court laps de temps, groupes extrêmement variés et adaptés à des modes de vie divers et partout.



Babin



Lethiers

FIGURE 58 : Courbe des exterminations pour le Phanérozoïque, donnant le % d'espèces disparues au cours d'une extinction en fonction de l'intervalle de temps séparant deux extinctions successives d'intensité égale ou supérieure (voir le texte). Par simplification, les marges d'erreurs de la courbe ne sont pas figurées (d'après Raup, 1992).

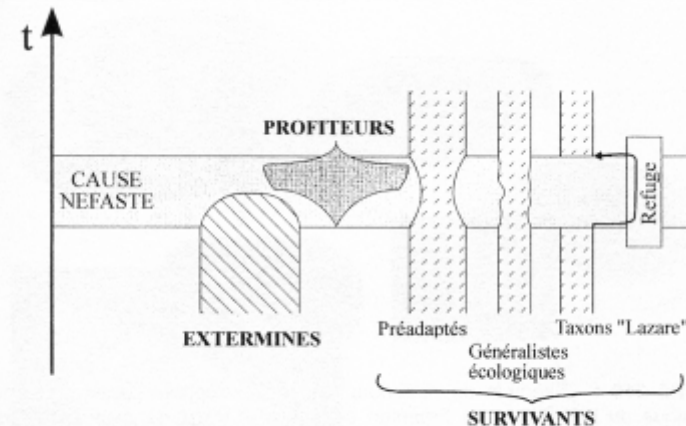
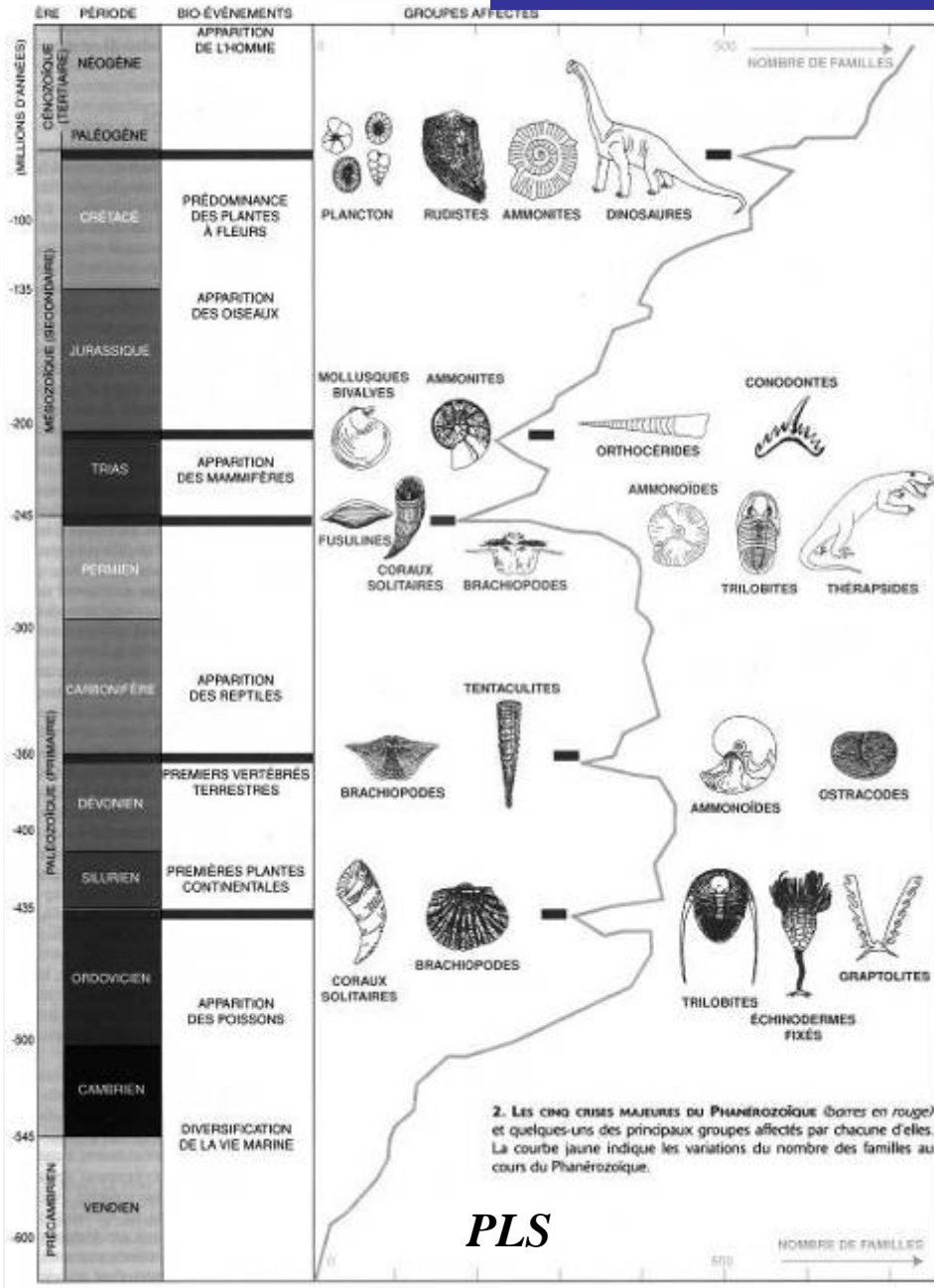


FIGURE 218 : Différentes catégories de taxons en réponse à un événement géologique néfaste, lors d'une crise biologique. Voir le texte.

IV. Les grandes extinctions biologiques

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, Orthis 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**.

Cinq crises biologiques du Phanérozoïque →	Ordovicien terminal	Dévonien supérieur	Limite Permien/Trias	Trias supérieur	Limite Crétacé/Tertiaire
Les groupes disparus + biomasse réduite →	- Milieu récifal	- Ostracodermes - Tentaculites - Milieu récifal exterminé	- Trilobites - Rugueux et tabulés - Fusulinidés - Nbx Brachiopodes articulés - Gigantotraccés - Dendroidea - Milieu récifal	- Conodontes - Conularides - Placodontes - Nothosaures - Rhynchosaures - Labyrinthodontes - Milieu récifal	- Ammonites - Bélemnites - Rudistes (?) - Inocérames (?) - Plancton affecté - Dinosaures - Ptérosaures - Mosasaures - Plésiosaures
Pourcentages de taxons disparus (estimations approximatives) →	20-26% des familles 50-60% des genres ~85% des espèces marines	21-22 % des familles 47-57 % des genres 70-80 % des espèces marines	50-57% des familles 70-83% des genres 85-96% des espèces marines	22-23%des familles 40-53% des genres ~76% des espèces marines	15-16% des familles 40-50% des genres ~76% des espèces marines

FIGURE 29 : Récapitulatif sur les cinq crises biologiques majeures du Phanérozoïque.

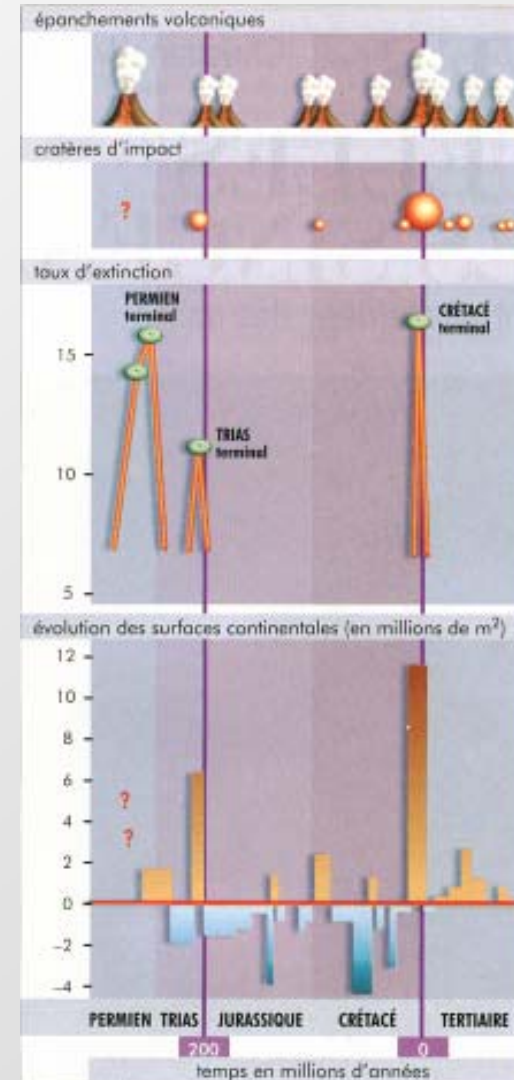
Lethiers

IV. Les grandes extinctions biologiques

C. 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..

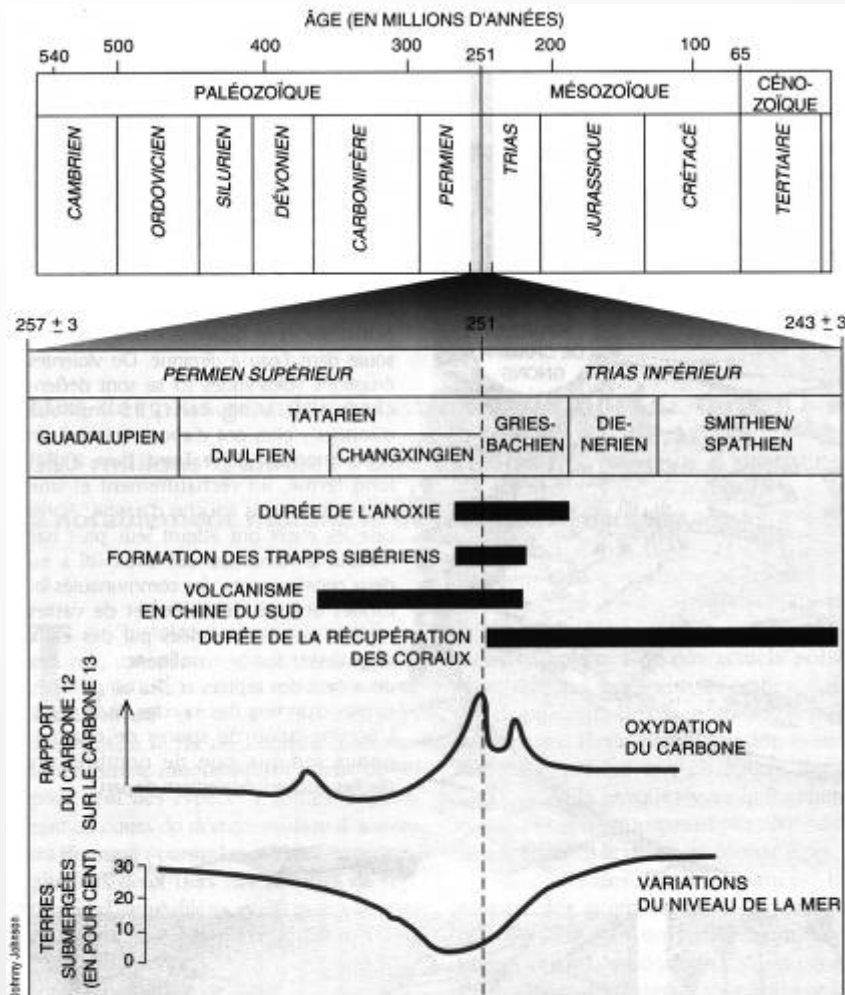
La R Dec 96



IV. Les grandes extinctions biologiques

D. Exemples de crises: crise Permo-Trias et crise K/T

Les différents enregistrements géochimiques, eustatiques, volcaniques et palynologiques lors de la crise Permo-Trias (250 Ma)



4. LA DÉGRADATION DE L'ENVIRONNEMENT à la fin du Permien est attestée par diverses données géochimiques et par les fossiles. Du carbone fut oxydé en grande quantité, le niveau des mers commença à baisser et des éruptions volcaniques eurent lieu là où sont aujourd'hui localisées la Sibérie et la Chine. Certaines zones océaniques se sont appauvries en oxygène. Les coraux ont recommencé à abonder au milieu du Trias seulement.

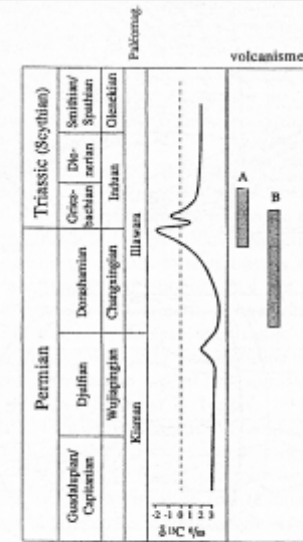


FIGURE 134 : Le rapport $^{13}C/^{12}C$ (par l'indice $\delta^{13}C$) des carbonates au passage Permien-Trias. La courbe synthétique donne l'allure générale obtenue dans différentes coupes géologiques. Les événements paléomagnétiques et volcaniques sont également indiqués. A = trapps sibériens, B = volcanisme pyroclastique de la Chine du Sud. D'après Erwin H. in Walliser O. H. (1996). Stratigraphie en anglais.

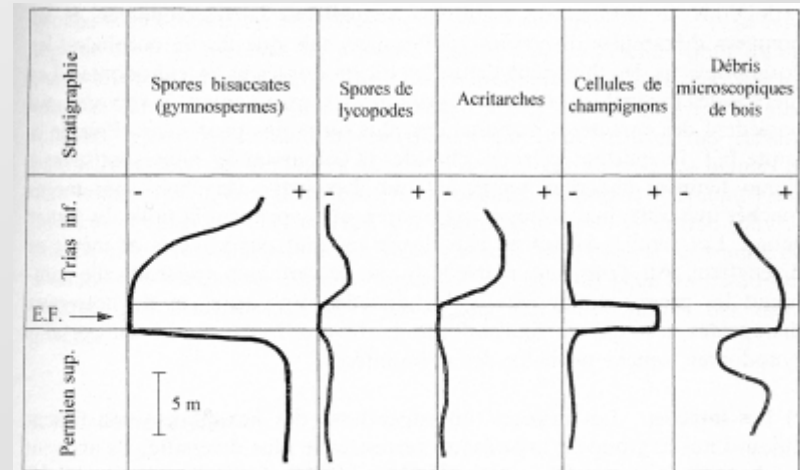


FIGURE 128 : L'événement fongique (E. F.) de la limite Permien-Trias. Tendances schématiques inspirées de données palynologiques quantitatives d'Eshet et al. (1995).

PLS

Lethiers

Lethiers

Cnidaires

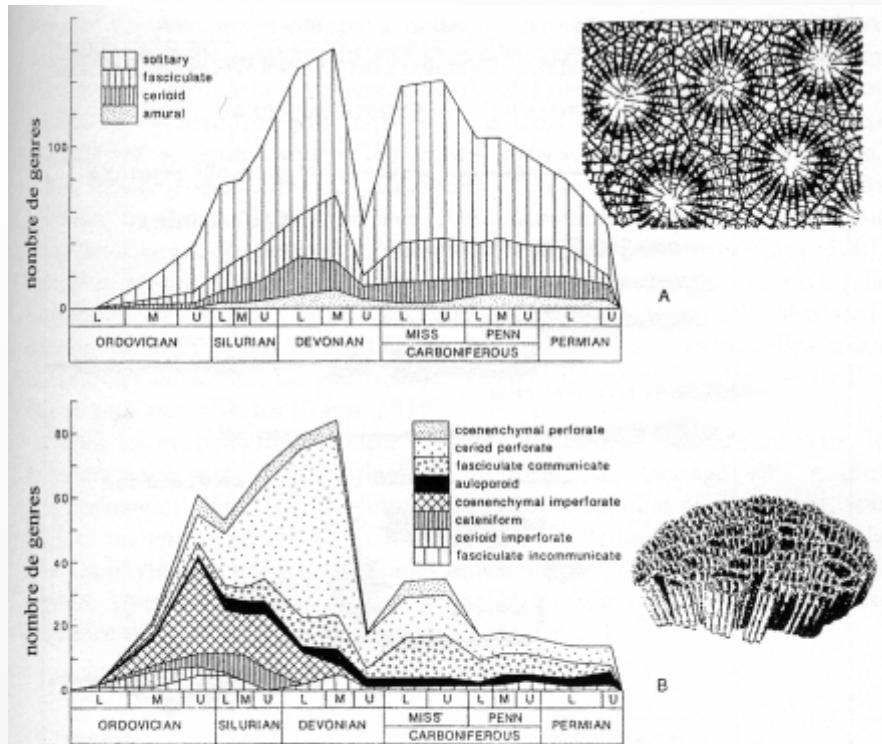


FIGURE 118 : Diversité générique des rugueux (A) et des tabulés (B). Divisions stratigraphiques et catégories structurales des polypiers en anglais. Extrait de C. T. Scrutton in Larwood G. P. (1988).



Exemple de Tabulé: *Favosites sp.*

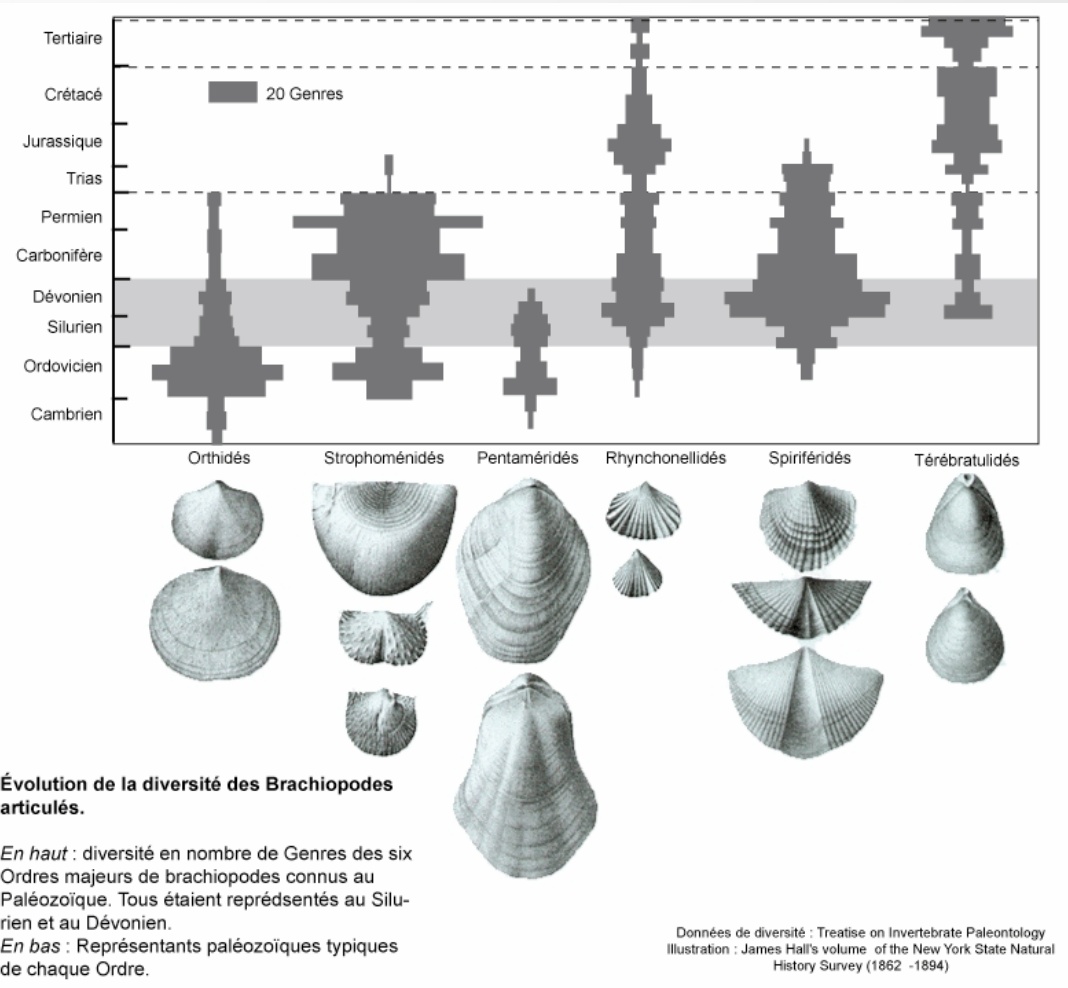


Exemple de Rugueux: *Calceola sandalina*

Brachiopodes



Orthis, Primaire



Céphalopodes

Goniatite (ligne de suture en V)- Primaire, Cératites (l.s. en selle) - Trias, Ammonites (l.s. persillée) - Jurassique et Crétacé

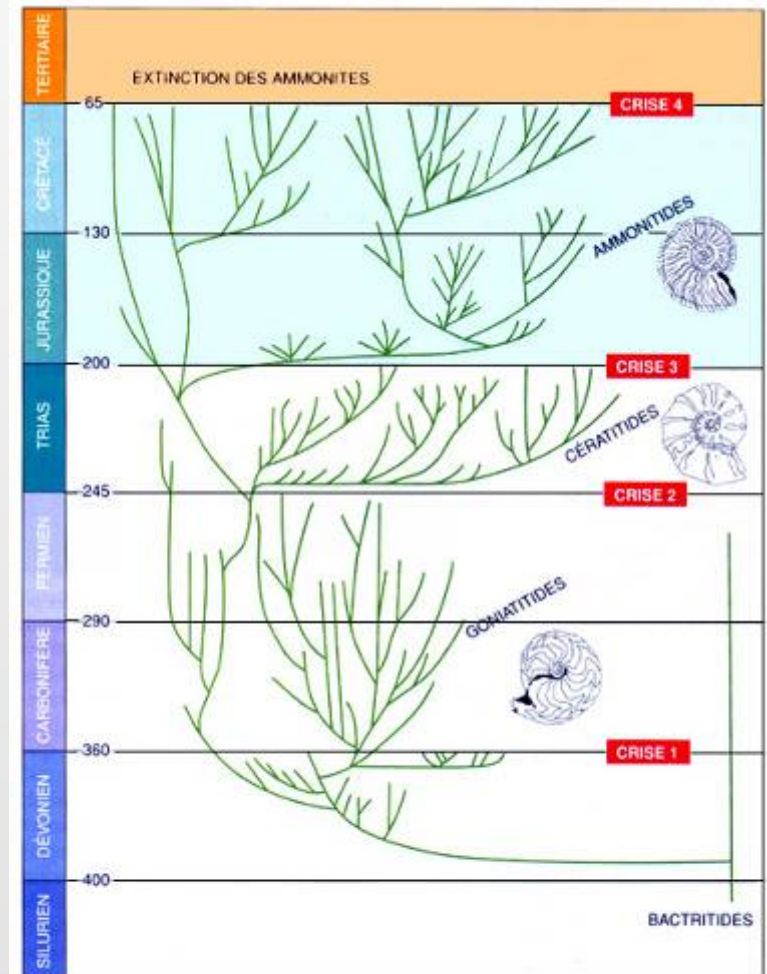
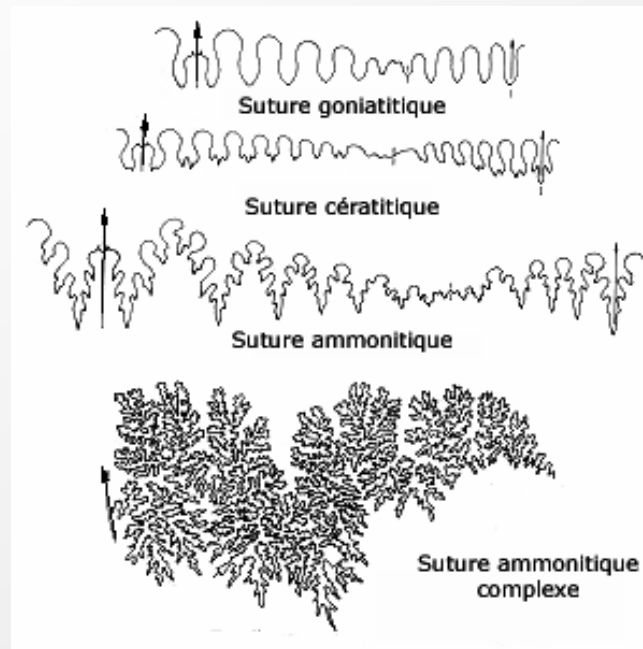
Goniatite (Primaire)



Cératite (Trias)



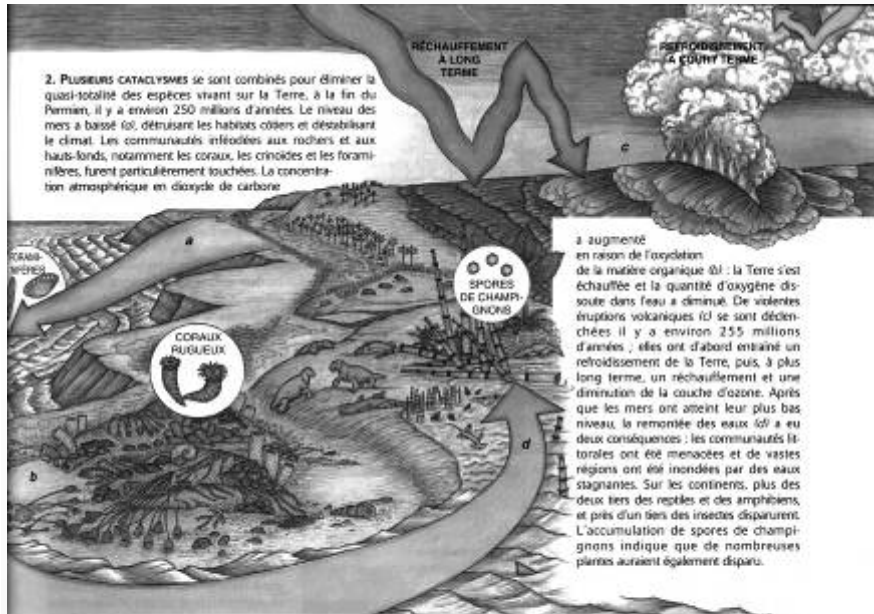
Ammonite (Jur/Crét)



IMPACT DES DIVERSES CRISES sur le parcours évolutif des ammonoïdes depuis leur origine au Dévonien inférieur, enracinée chez les bactritides, jusqu'à l'extinction définitive des ammonites lors de la crise fin-crétacée. Aux extinctions d'espèces succèdent des radiations de nouvelles espèces, à partir des quelques branches restantes (d'après Tintant, 1985, modifié).

Pour la Science dossier hors-série La valse des espèces, Juillet 2000

Synthèse des processus ayant conduit à l'extinction Permo-Trias



- PERMIEN**
- 1 ÉPONGE
 - 2 GRAPTOLITE
 - 3 BRANCHIPODE
 - 4 NAUTILOÏDE
 - 5 ÉPONGE PEPLÉE

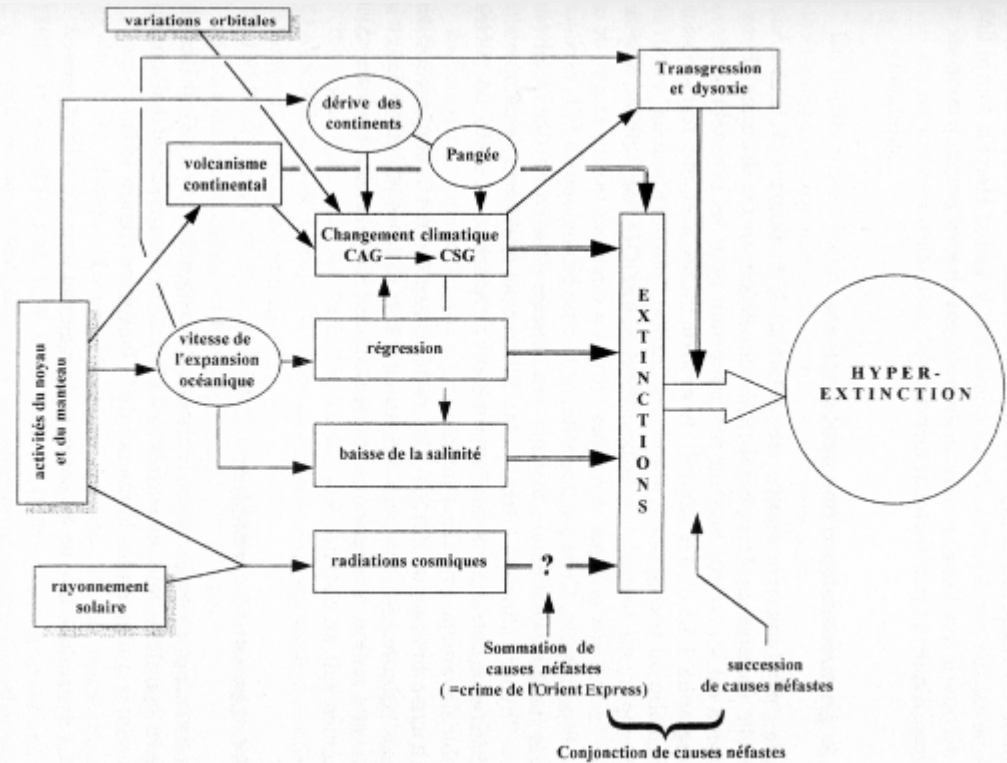
- 6 BRYOZOAIRE
- 7 CORAIL
- 8 TRILOBITE
- 9 ALGUE
- 10 ESCARGOT
- 11 POISSON (Anaspis)
- 12 POISSON (Dasypterus)

- CRÉTACÉ**
- 1 CÉLADONTE
 - 2 AMMONOÏDES
 - 3 BÉLEMNITES
 - 4 ESCARGOT
 - 5 BIVALVE

- 6 OURSIN
- 7 CRABE
- 8 ALGUE
- 9 COQUILLE SAINT JACQUES
- 10 POISSON (Thrinacoselache)
- 11 POISSON (Dasyatis)
- 12 BIVALVE DE MER

3. LA STRUCTURE DE LA VIE MARINE change notablement après l'extinction en masse de la fin du Permien. Au milieu du Permien (à gauche), les mers étaient essentiellement peuplées d'animaux immo-

biles ; les poissons et les trilobites y étaient rares. En revanche, dès le Crétacé (à droite), l'océan avait un aspect moderne, avec des organismes mobiles : des bivalves, des gastéropodes et des poissons.



14 : Schéma synoptique de la crise biologique du Permien-Trias.

La crise K/T (65 Ma)

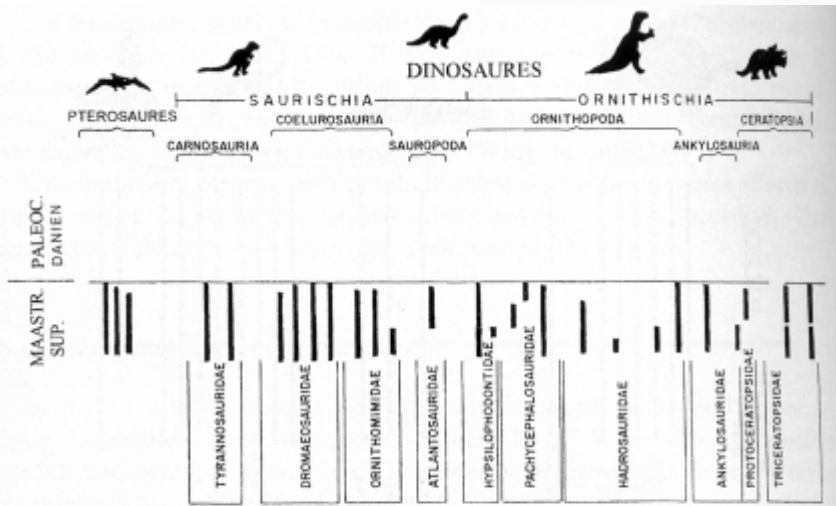


FIGURE 190 : Familles de dinosaures et ptérosaures présents au Maastrichtien supérieur. Les traits verticaux indiquent la répartition stratigraphique des principaux genres. D'après les données de Halstead L. B. modifiées. **Lethiers**

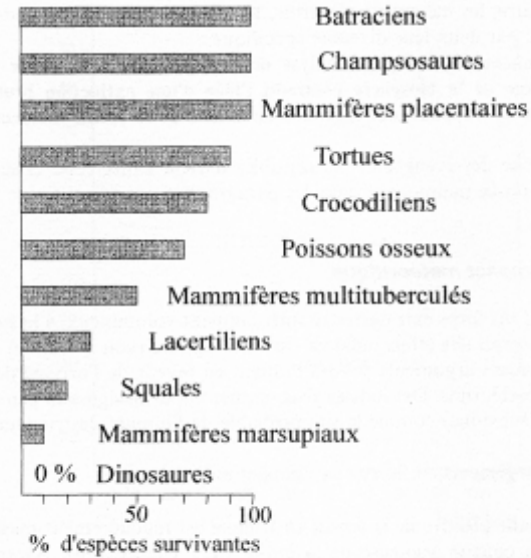


FIGURE 193 : Pourcentage d'espèces survivantes parmi les principaux groupes de vertébrés répertoriés au passage Crétacé-Tertiaire dans le Montana. Les estimations portent sur 107 espèces recensées dont 19 espèces de dinosaures. D'après les données modifiées d' Archibald J. D. in Macleod et Keller (1996).

Lethiers

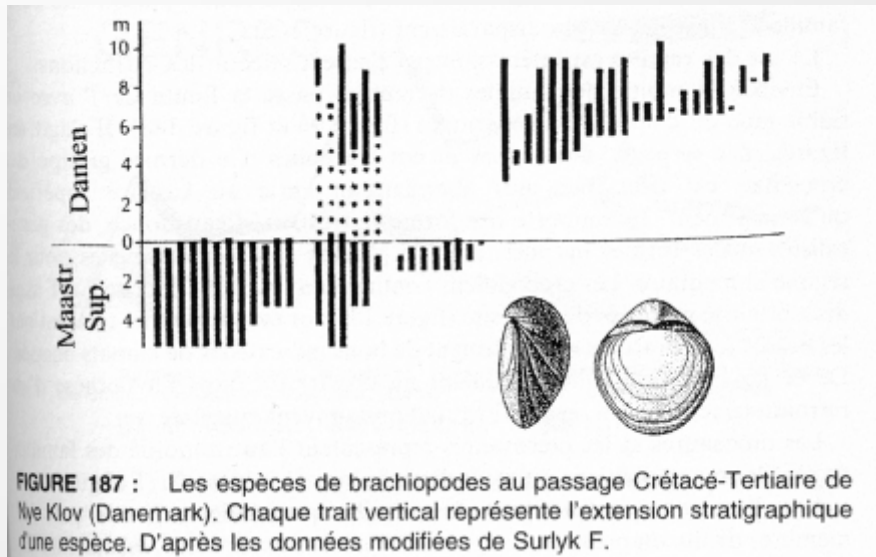


FIGURE 187 : Les espèces de brachiopodes au passage Crétacé-Tertiaire de Nye Klov (Danemark). Chaque trait vertical représente l'extension stratigraphique d'une espèce. D'après les données modifiées de Surlyk F.

Lethiers

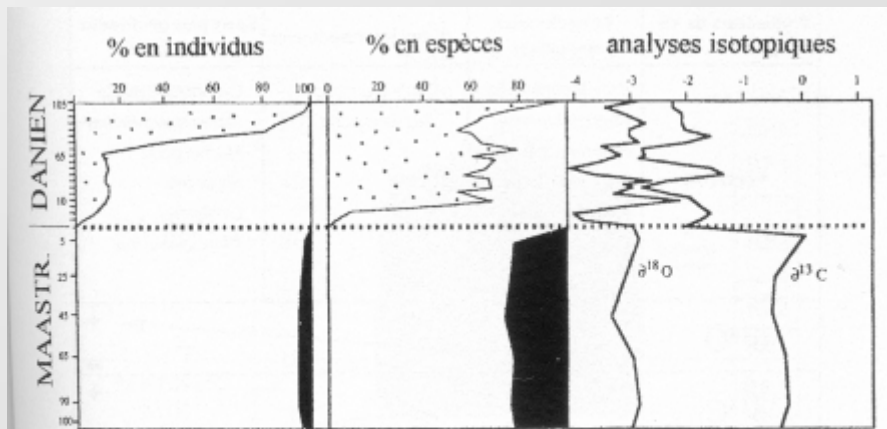
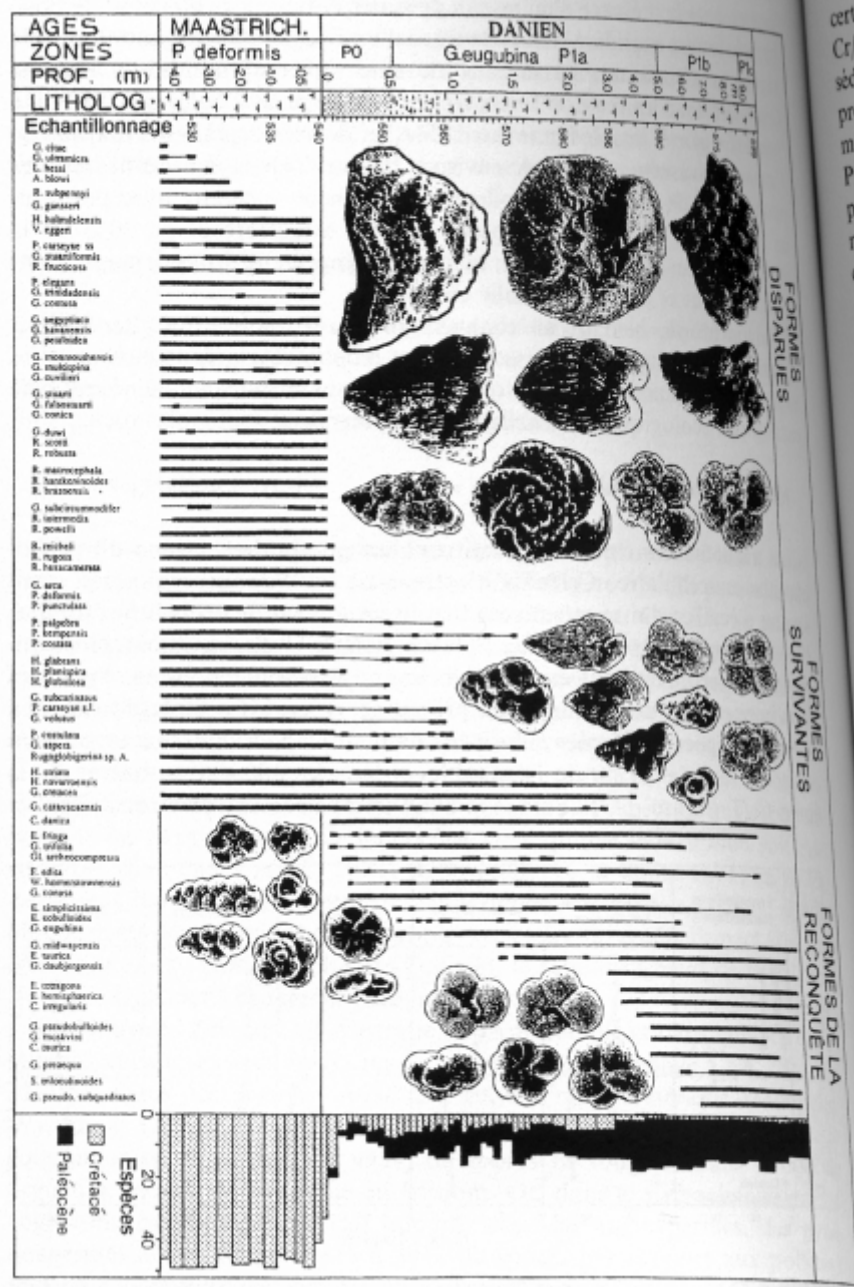


FIGURE 180 : Isotopes stables et changements de faunes chez les foraminifères planctoniques à El Kef (Tunisie). En noir espèces crétacées "profondes et intermédiaires". En blanc : espèces crétacées de surface. En pointillés : espèces tertiaires. Hauteurs en centimètres. D'après Keller (1994).

Lethiers



Lethiers

Les causes de la crise K/T (65 Ma)



La R Dec 96

Fine couche noire d'argile a la limite K/T enrichie en Iridium, spinelles nickelifères et quartz choqués a Hendaye

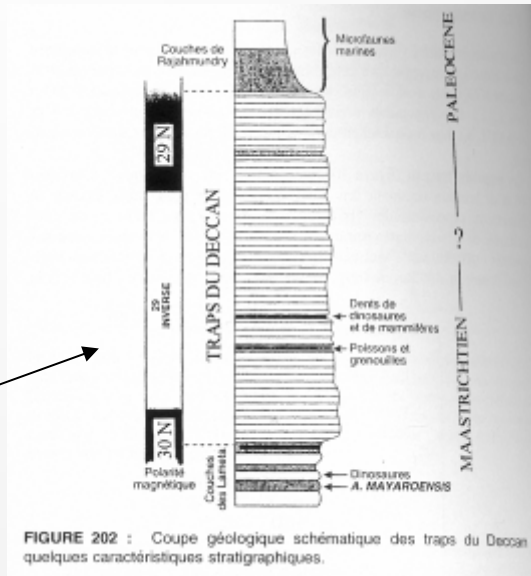


FIGURE 202 : Coupe géologique schématique des trapps du Deccan avec quelques caractéristiques stratigraphiques.

Lethiers



La R Dec 96

Le cratère mis en évidence par cartes d'anomalies gravimétriques

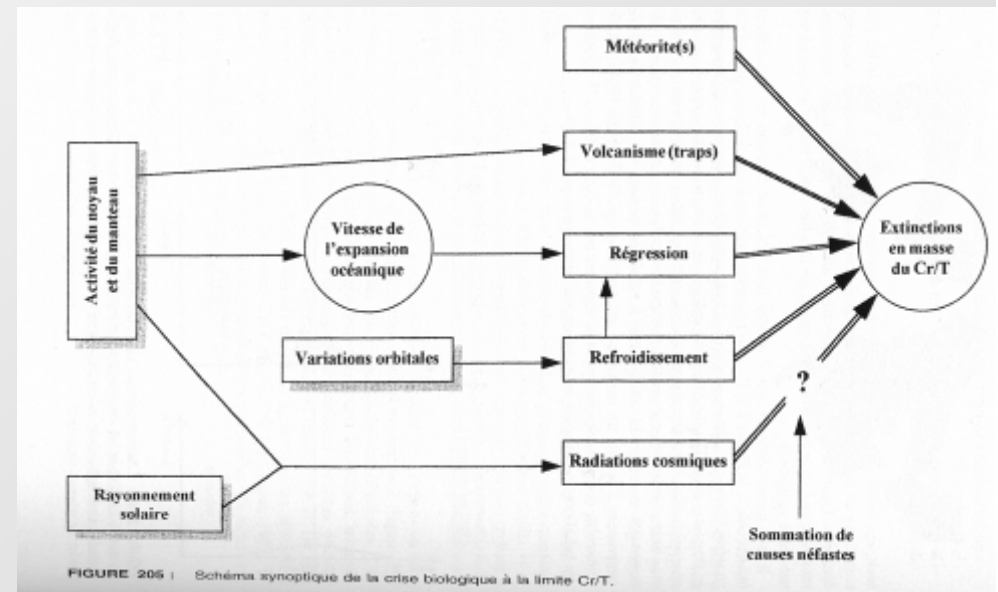
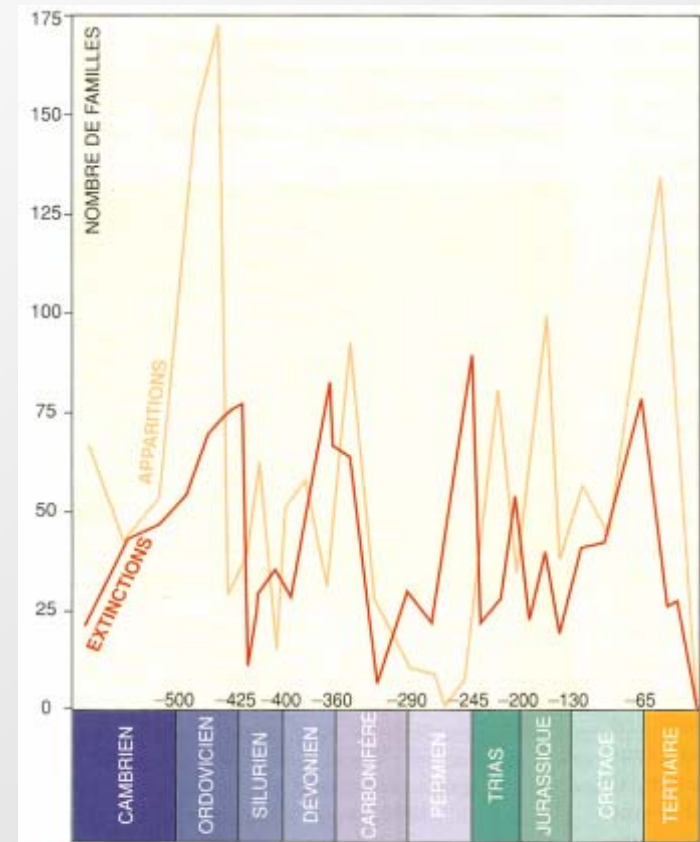
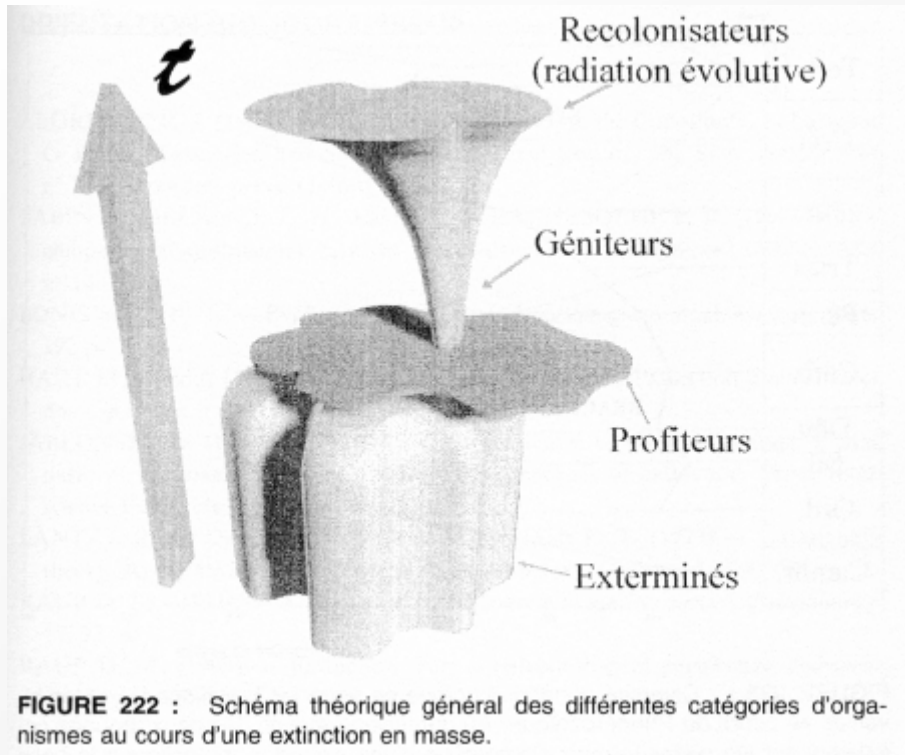


FIGURE 205 : Schéma synoptique de la crise biologique à la limite Cr/T.

Lethiers

IV. Les grandes extinctions biologiques

E. Conséquences à long terme des extinctions biologiques



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.

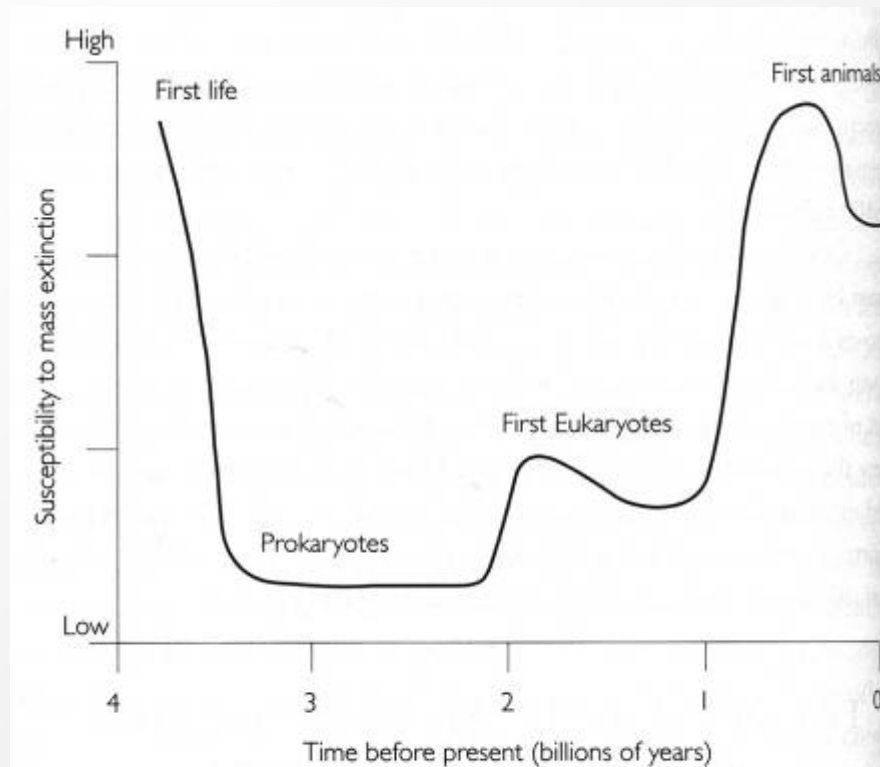


Figure 8.4 Hypothesized curve of extinction "risk," or susceptibility, through time. Extinction risk is highest soon after a new evolutionary type appears and then lessens as diversification occurs. Diversification is insurance against extinction.

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

V. Les grandes étapes de l'évolution au Phanérozoïque

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

Cf. Babin, Elmi...

Beaucoup d'O₂, donc de l'ozone et donc protection des UV sur les continents!

1. champignons, hépatiques ou lichens Ordovicien (470 Ma)?
2. Spores de végétaux vasculaires Silurien (420 Ma)

Grands traits de l'évolution des végétaux :

-**cuticule** ⇒ développement de **stomates**

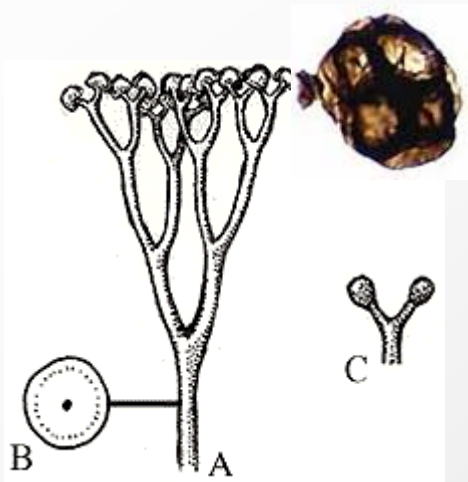
-**Lignine** permettant une croissance en hauteur et compétition pour la lumière.

-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...



Cooksonia et Aglaeophyton,
Premières plantes vasculaires
-Cormophytes
Ptéridophyte Silurien supérieur

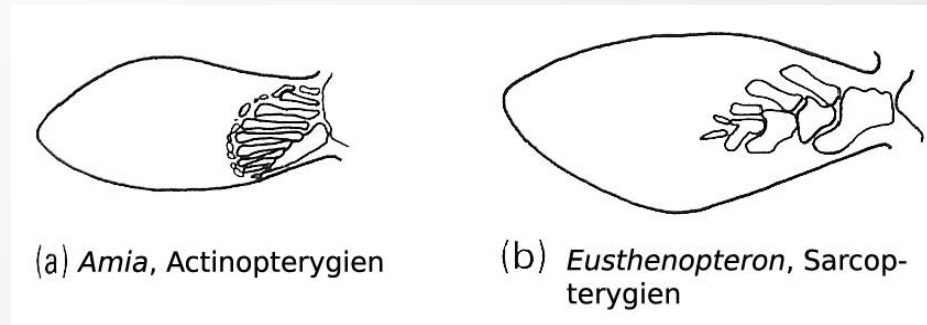


Baragwanathia
Lycopodiale
Dévonien basal

⇒ Changement de régime de formation des sols? Altération des continents (biostasie)? Cycle du CO₂?
⇒ Insectes suivent au Dévonien inférieur puis animaux...

V. Les grandes étapes de l'évolution au Phanérozoïque
B. La sortie des eaux des vertébrés 375-380 Ma (Dévonien)

Synapomorphie sarcoptérygiens (= membre monobasal): regroupent vertébrés tétrapodes (=membre chiridien), Actinistiens (ex. Coelacanthe) et dipneustes (qui avec tétrapodes forment les Rhipidistiens) ⇒ ils partagent tous un ancêtre commun



Schémas des nageoires pectorales d'un poisson Actinoptérygien et d'un poisson Sarcoptérygien.

Apparition des premiers vertébrés tétrapodes:

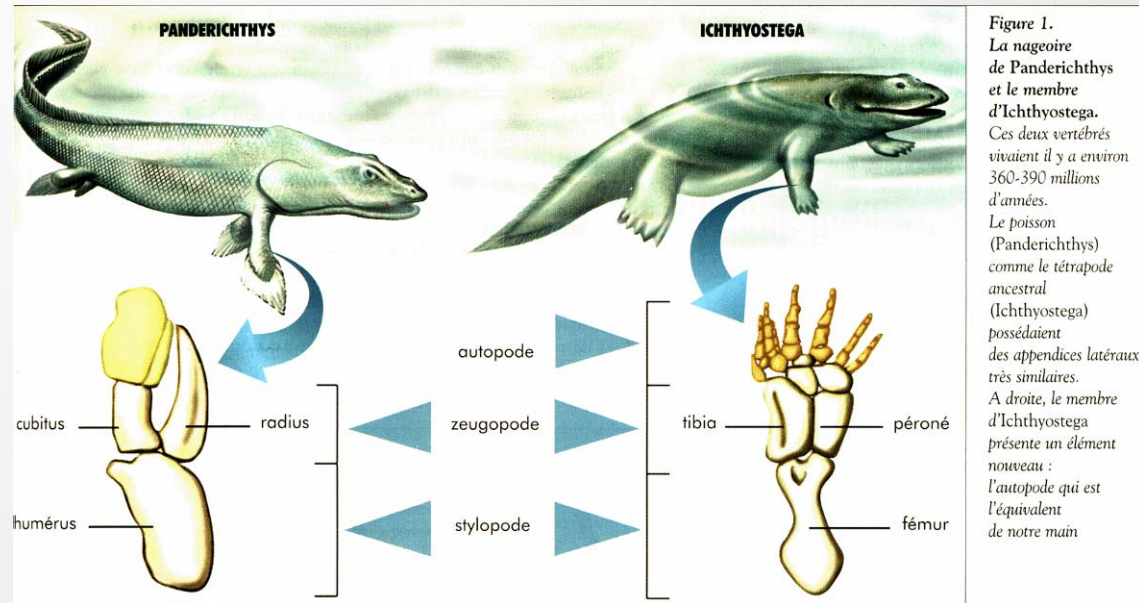
Quand et en combien de temps? Dans quel ordre les différents caractères sont ils apparus? Dans quel milieu cela s'est fait? Pour cela, on a les fossiles = espèces « proches » de l'ancêtre commun (= peu de divergences) (sortes de « chaînons manquants » mais attention à la vision linéaire de l'évolution!)

V. Les grandes étapes de l'évolution au Phanérozoïque
B. La sortie des eaux des vertébrés 375-380 Ma (Dévonien)

Chez les Vertébrés: Transition sarcoptérygien (nageoire charnue) → Tétrapode illustrée par Panderichtys/Acanthostega

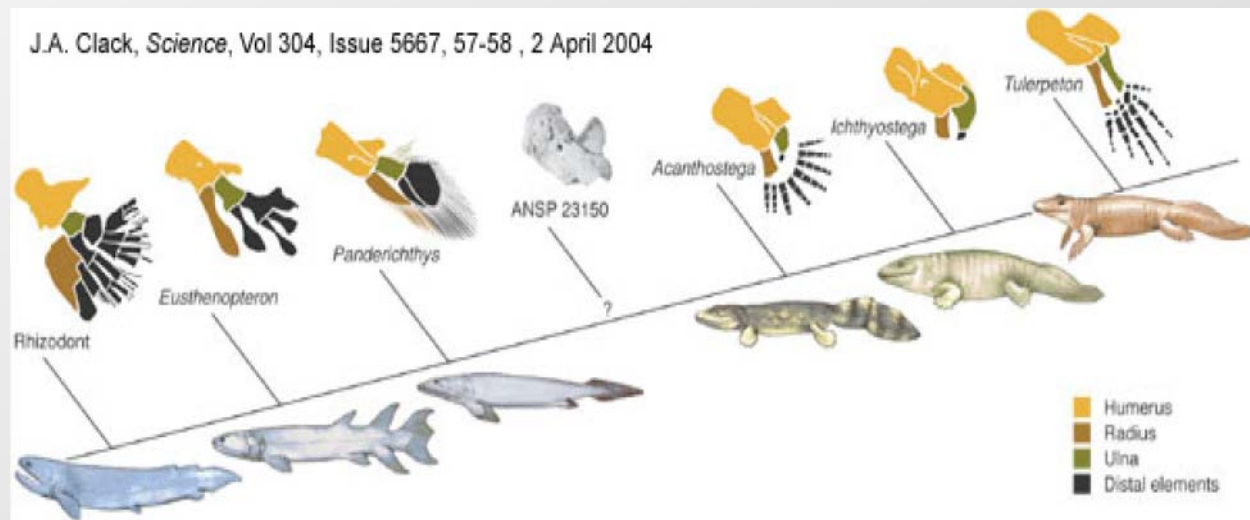
Acanthostega : main à huit doigts. Vit clairement dans l'eau!

⇒ premiers tétrapodes incapables de vivre sur la terre ferme! Pourquoi le membre des tétrapodes a-t-il été sélectionné?
 Exaptation

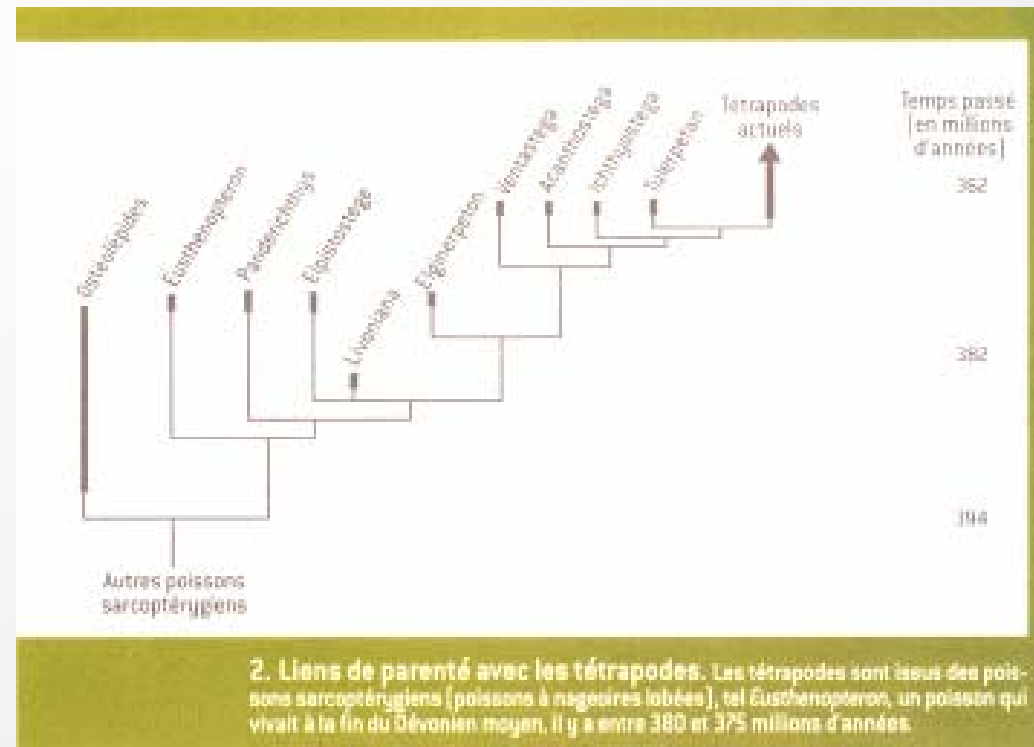


On ne dispose pas seulement des membres, mais aussi du crane etc...

PLS Fev 2006

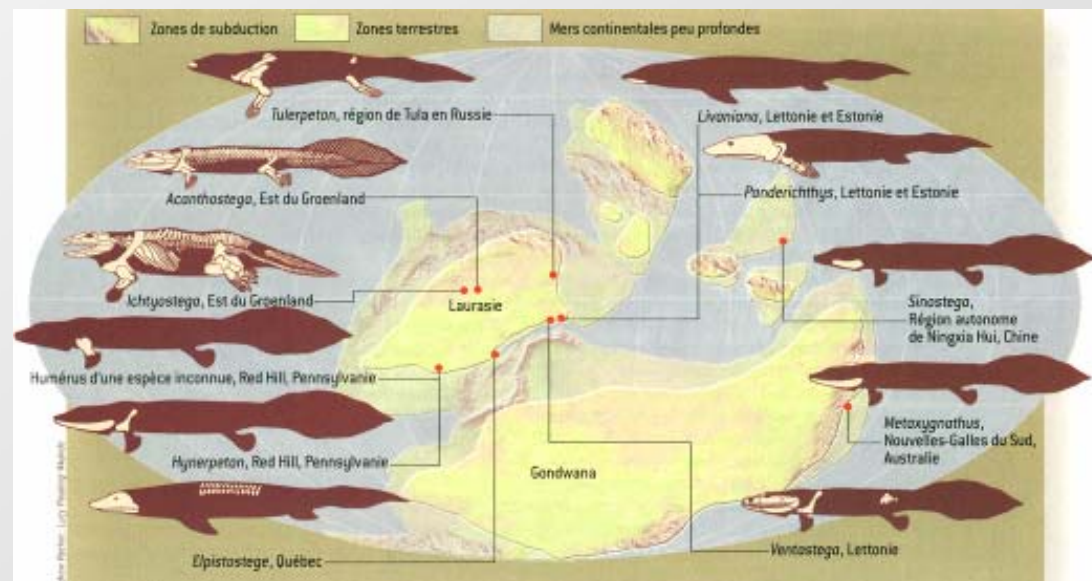


Etapes vers les Tétrapodes :
 Nombreux fossiles avec
 caractères composites de
 « poissons » et de tétrapodes
 dans la gamme 385 – 365 Ma



PLS Fev 2006

Répartition sur tout le globe
 Deltas ou milieu marin peu profond

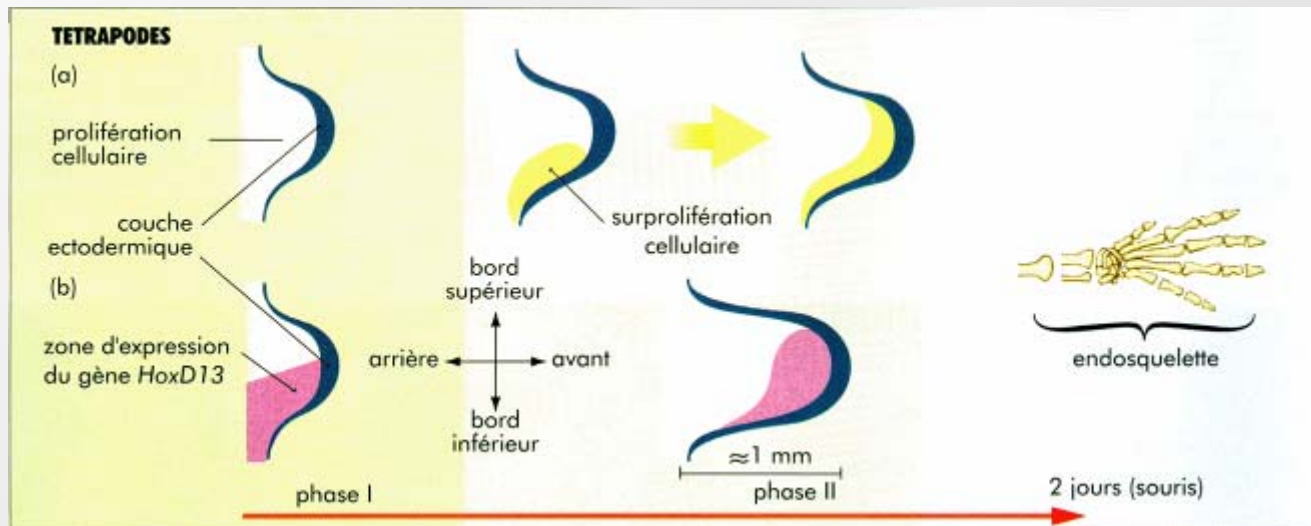
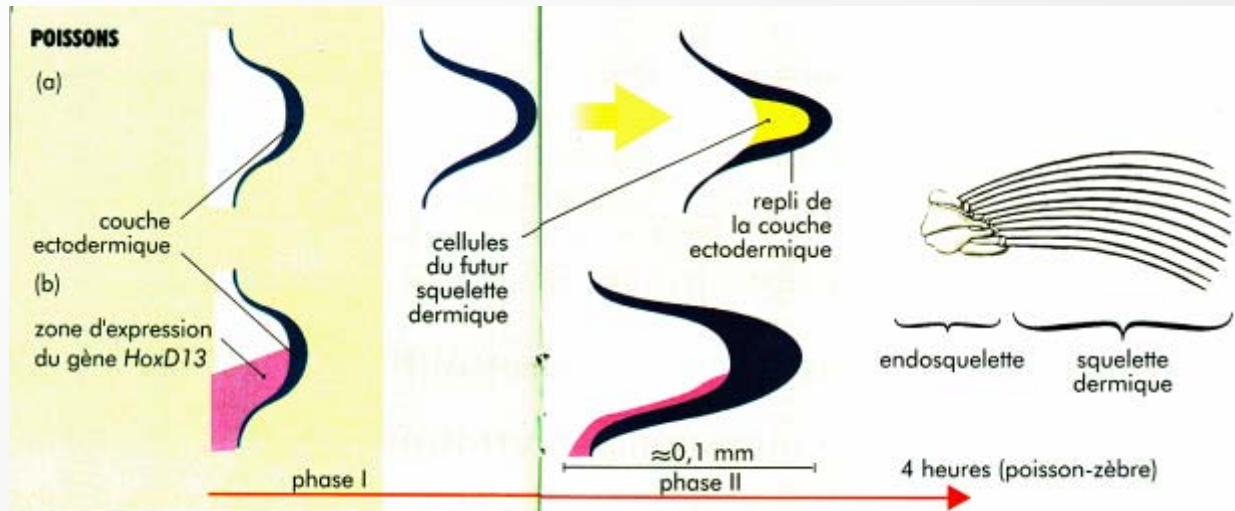


V. Les grandes étapes de l'évolution au Phanérozoïque

C. L'origine des innovations évolutives dans le monde animal

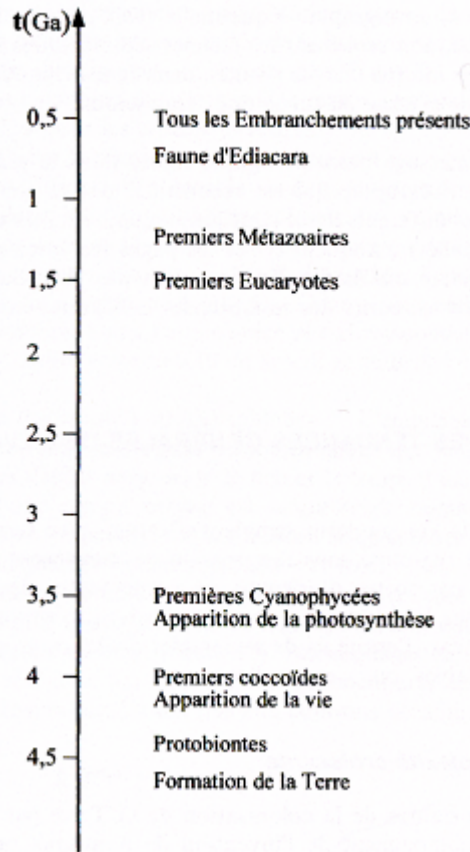
Comment expliquer le développement soudain des grandes innovations
 → Gènes de développement, mutation ou duplications

Ex. Comment transformer une nageoire de sarcopterygien en patte de tétrapode ? Changer l'extrémité!



L'origine des Doigts, La
R Mars 97

Conclusions



Lethiers: une certaine conception de l'Histoire (évolution) de la Vie !



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...

La mise en place d'une croûte continentale

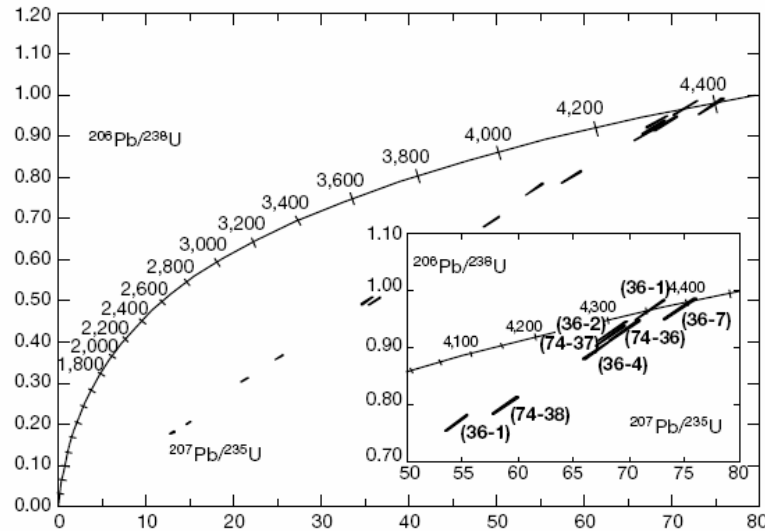
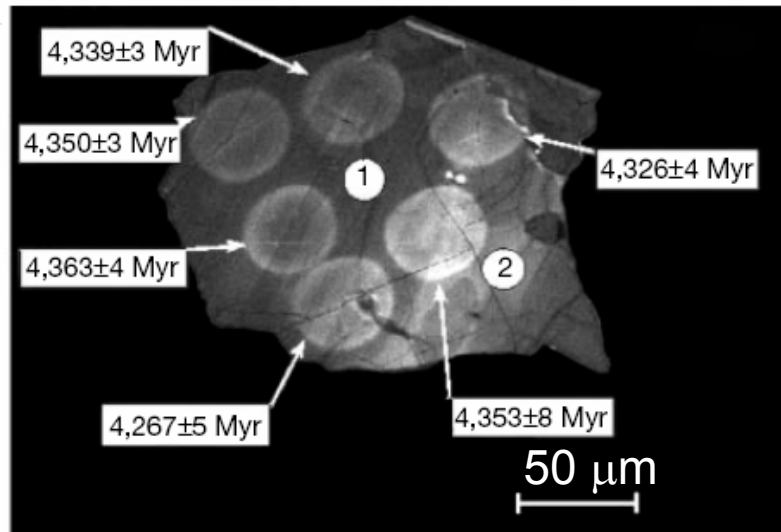


Figure 2 Combined concordia plot for grain W74/2-36, showing the U-Pb results obtained during the two analytical sessions. The inset shows the most concordant data points together with their analysis number (as in Table 1). Error boxes are shown at 1σ .

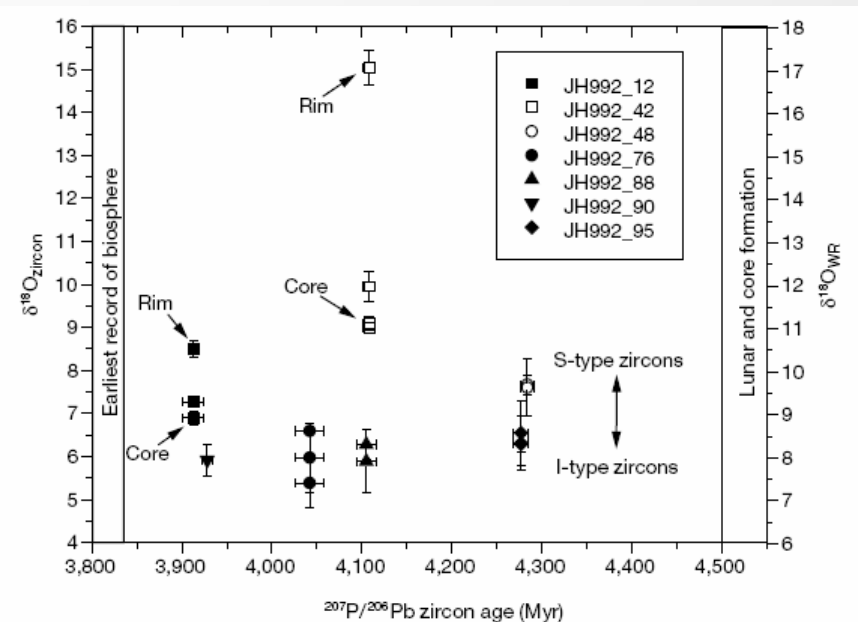


Figure 2 Ion microprobe $\delta^{18}\text{O}$ data for individual zircon spot analyses versus $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ zircon age (Supplementary information available at <http://www.nature.com>). The right vertical axis shows the estimated $\delta^{18}\text{O}$ data for the whole rock^{10,25} ($\delta^{18}\text{O}_{\text{WR}}$) from which the zircon crystallized. High $\delta^{18}\text{O}_{\text{WR}}$ values are consistent with the incorporation of recycled crustal material that had interacted with low-temperature water in the magmatic source of the zircons.

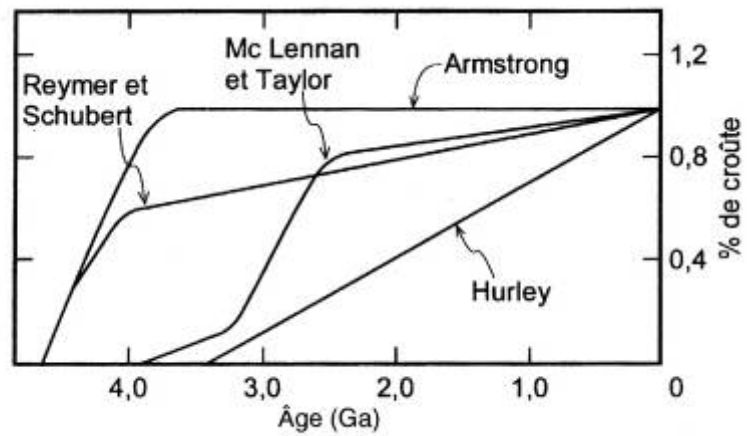


Fig. 7.11 : Les principaux modèles de croissance crustale.