

Journée ECCOREV

LA BIODIVERSITÉ

Confrontation de différents points de vue.

Aix en Provence, 4 avril 2008

Les crises de la biodiversité dans le passé

Jean Broutin et Sylvie Crasquin-Soleau

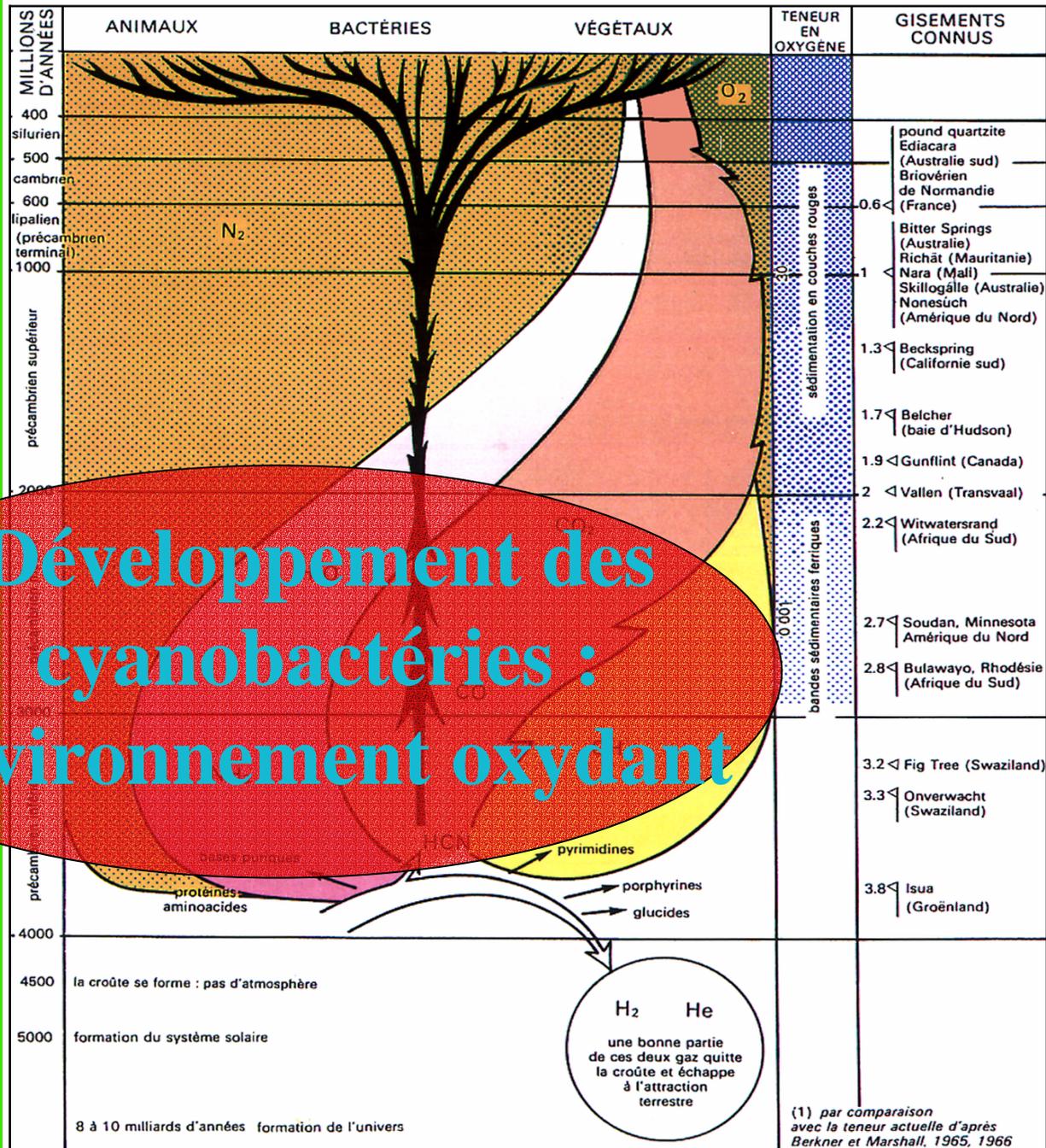
UMR 5143 CNRS / MNHN/ Université Paris 6

« Paléobiodiversité et Paléoenvironnements »

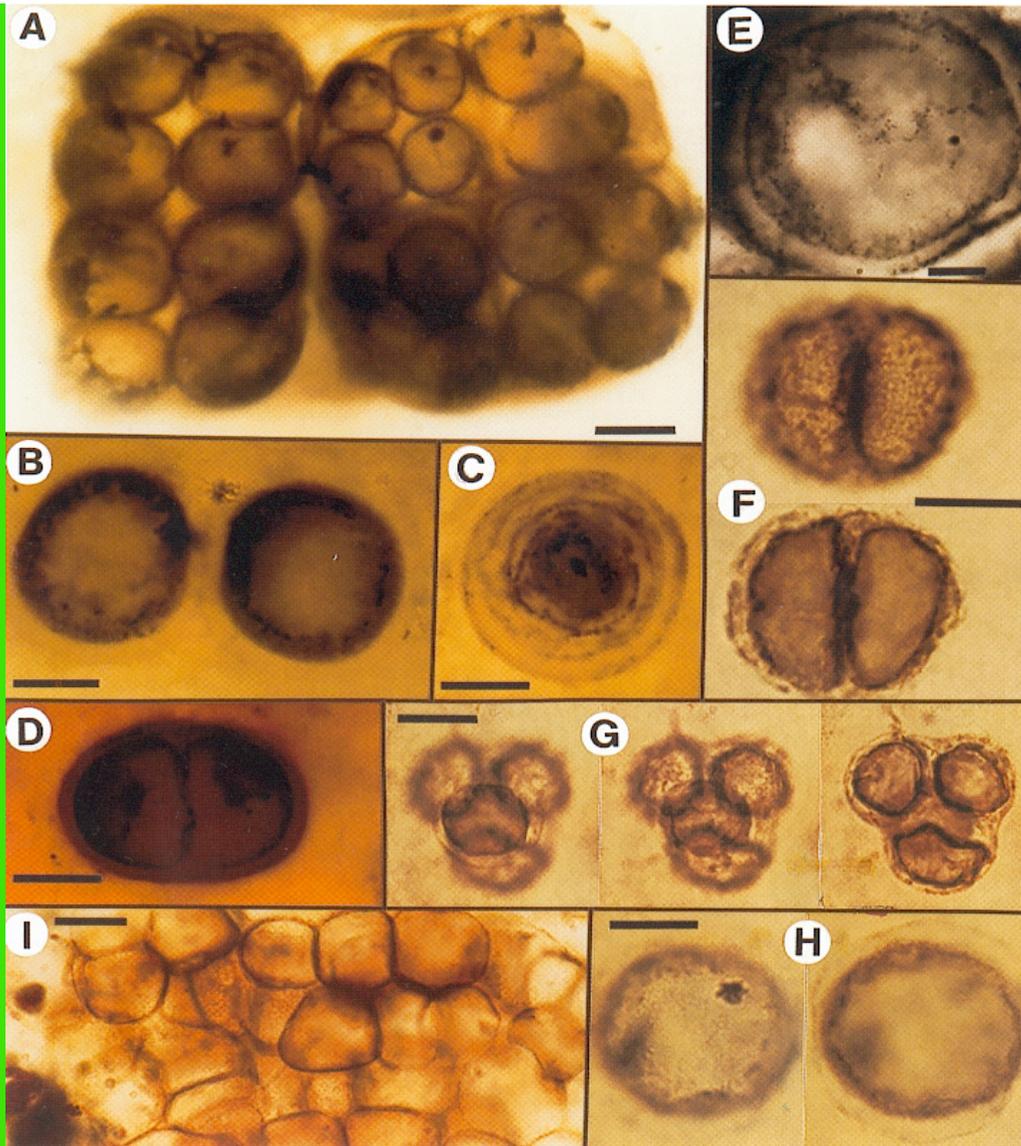
L'oxygène arrive...

... 1ère crise ?

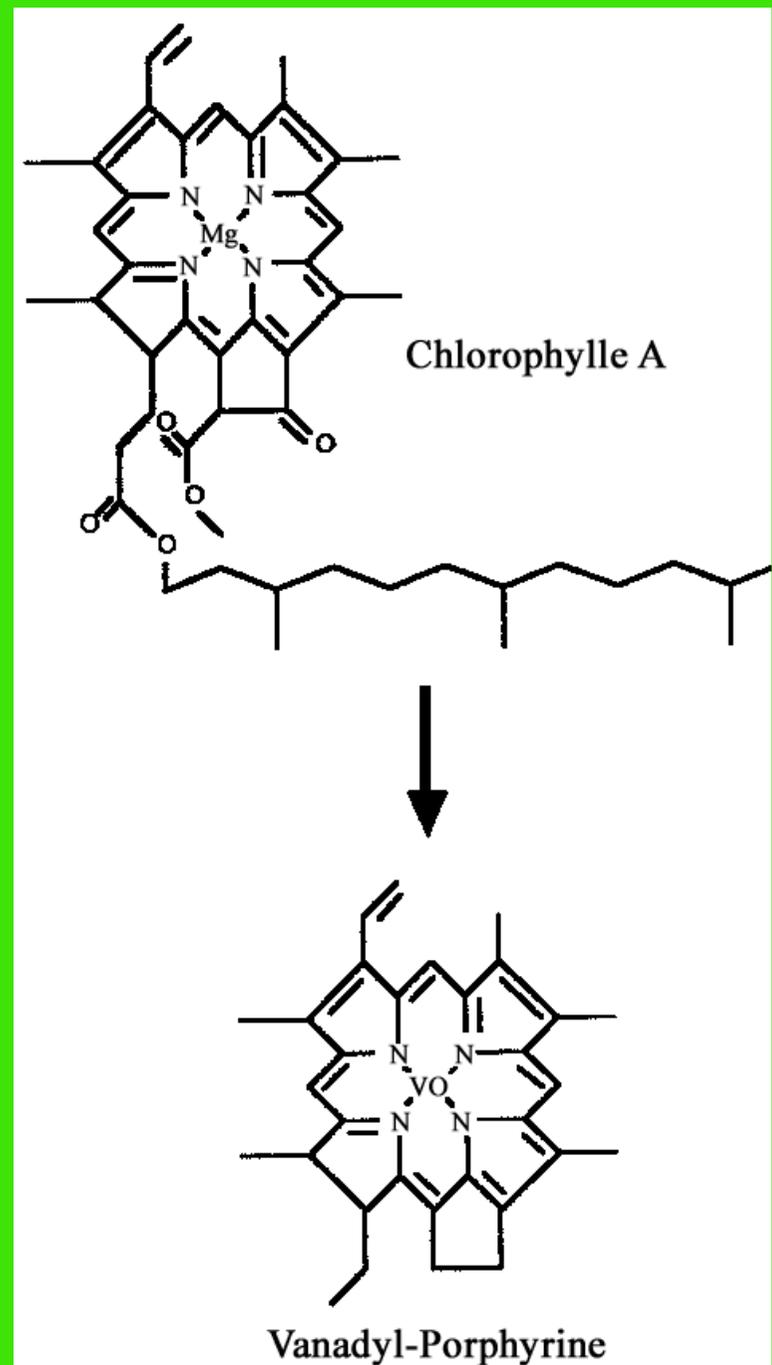
Développement des cyanobactéries : environnement oxydant



Représentation schématique de l'évolution du monde vivant dans ses rapports avec la composition de l'atmosphère (d'après Boureau, 1976)



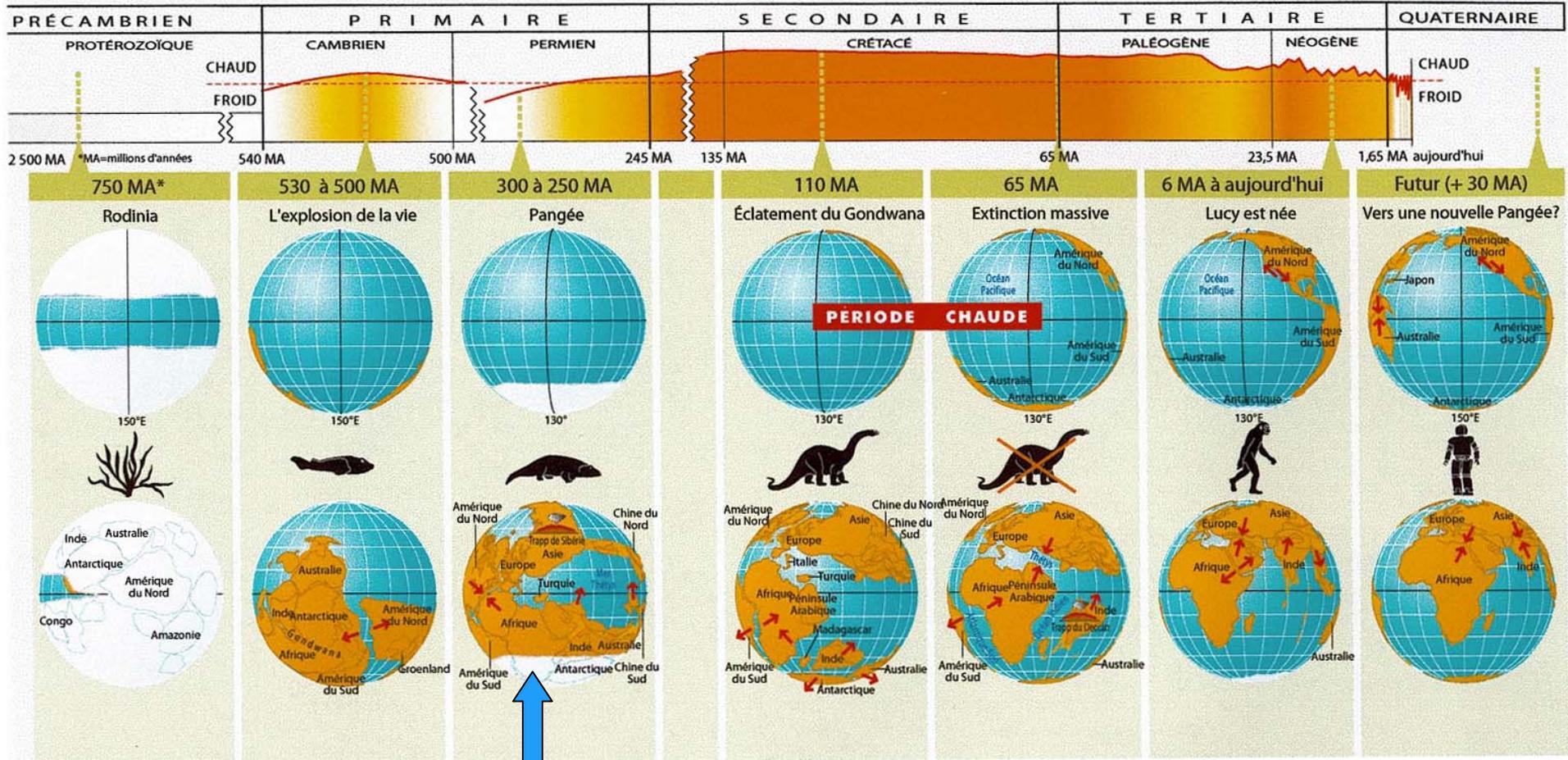
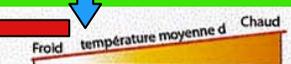
Cyanobactéries sphériques extraites de cherts précambriens
 Cyanobactéries unicellulaires ou coloniales des Formations
 "*Sukhaya Tunguska*", Sibérie, -1000 m.a. (A-D) ; "*Bitter Springs*",
 -850 m.a. (F-H) et "*Skillogalee*", -770 m.a. (E),
 Australie ; "*Chichkan*", -650 m.a., Kazakhstan.
 (barre d'échelle : 10 microns)



Glaciation Carbonifère-Permien

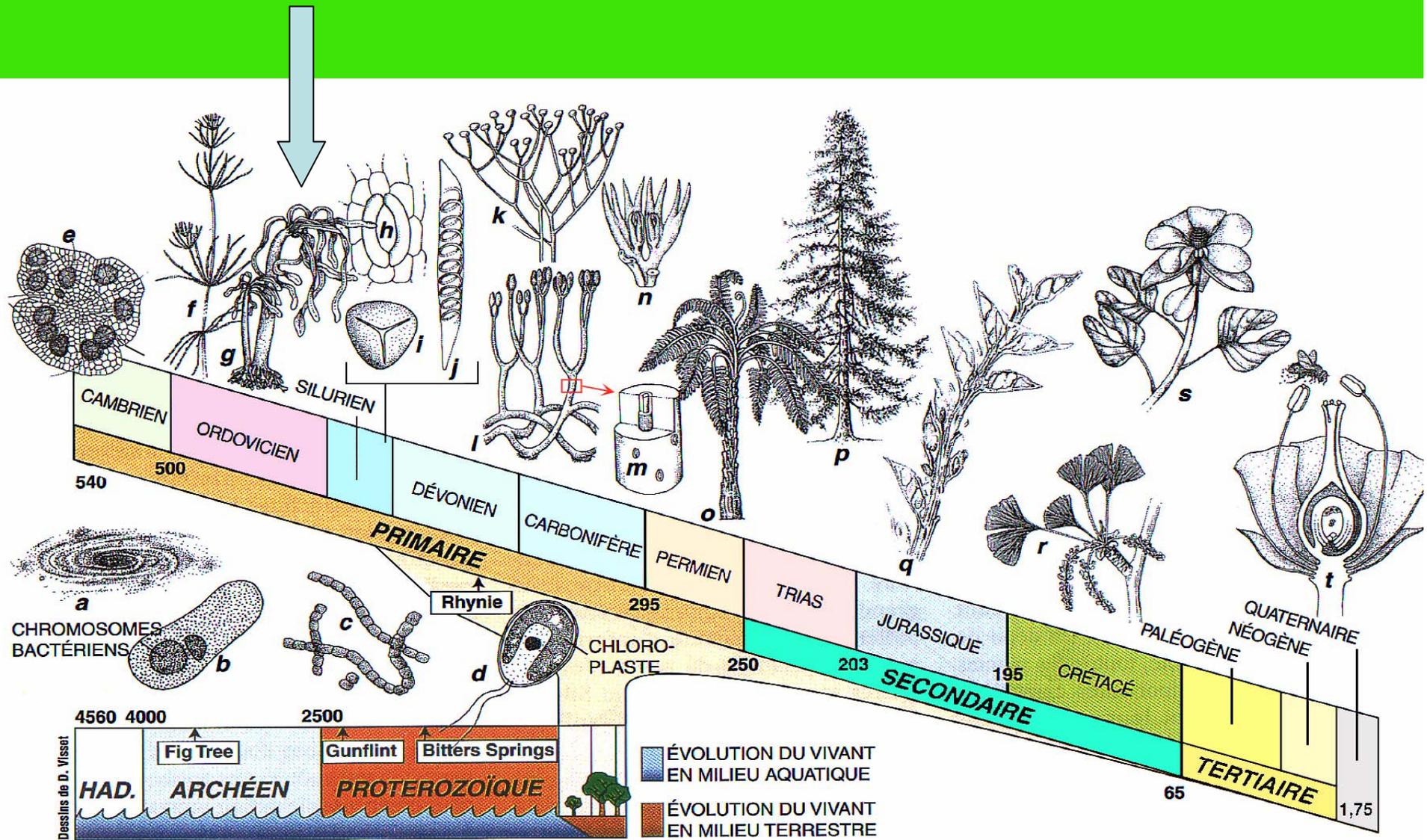
Glaciation quaternaire

CLIMATS SANS GLACIATIONS 'CSG'



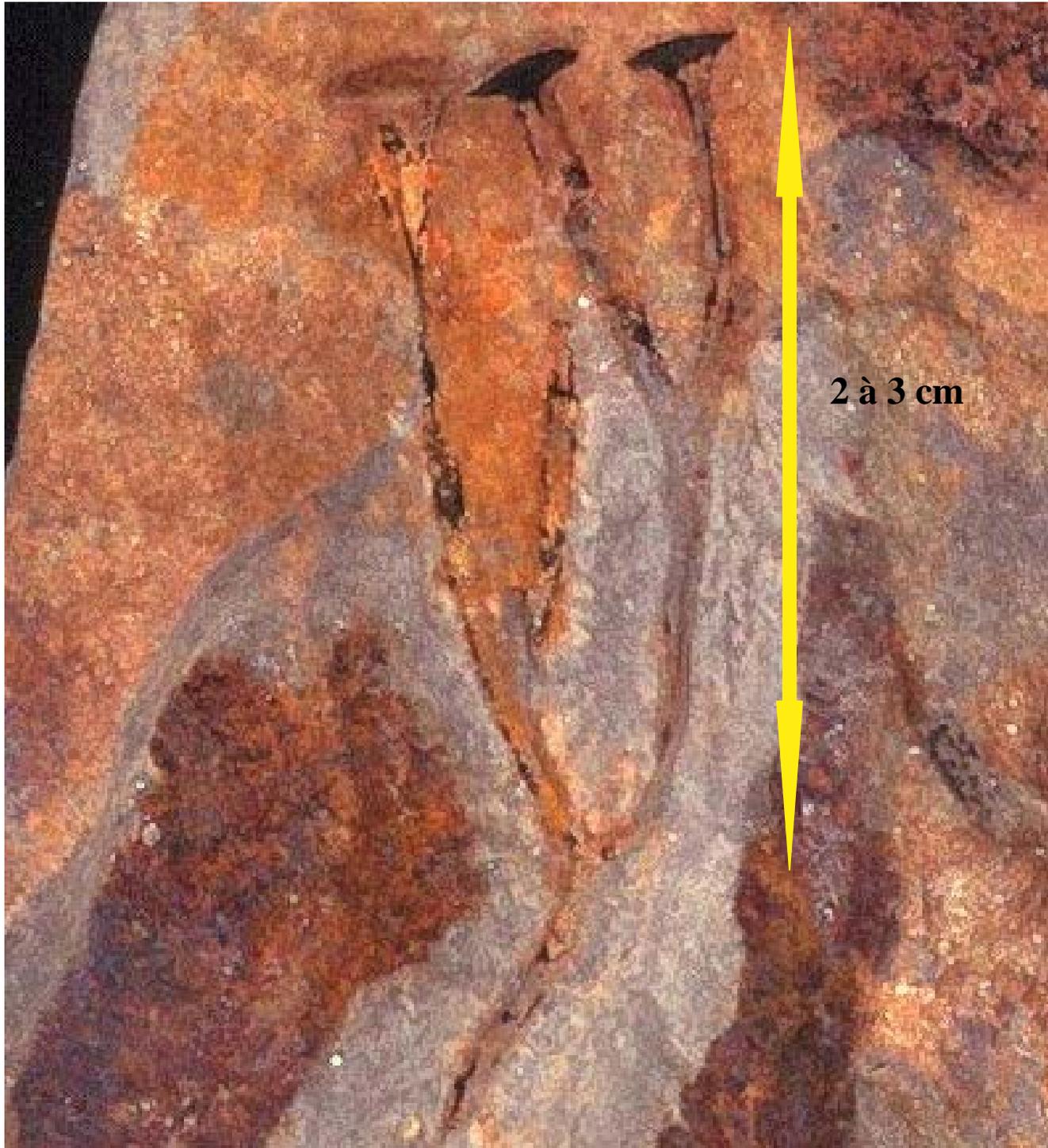
Inlandsis centré sur le pôle sud

Ordovicien supérieur - 475 Ma... environ : 1ères plantes terrestres



À l'Ordovicien les végétaux
sortent de l'eau...

... le décor
pour de nouvelles crises
biologiques « *naturelles* »
est... **planté !**



2 à 3 cm

Fragment de
Sporophyte
dichotome de
Cooksonia
conservé en
compression



Reconstitution (Mary White)

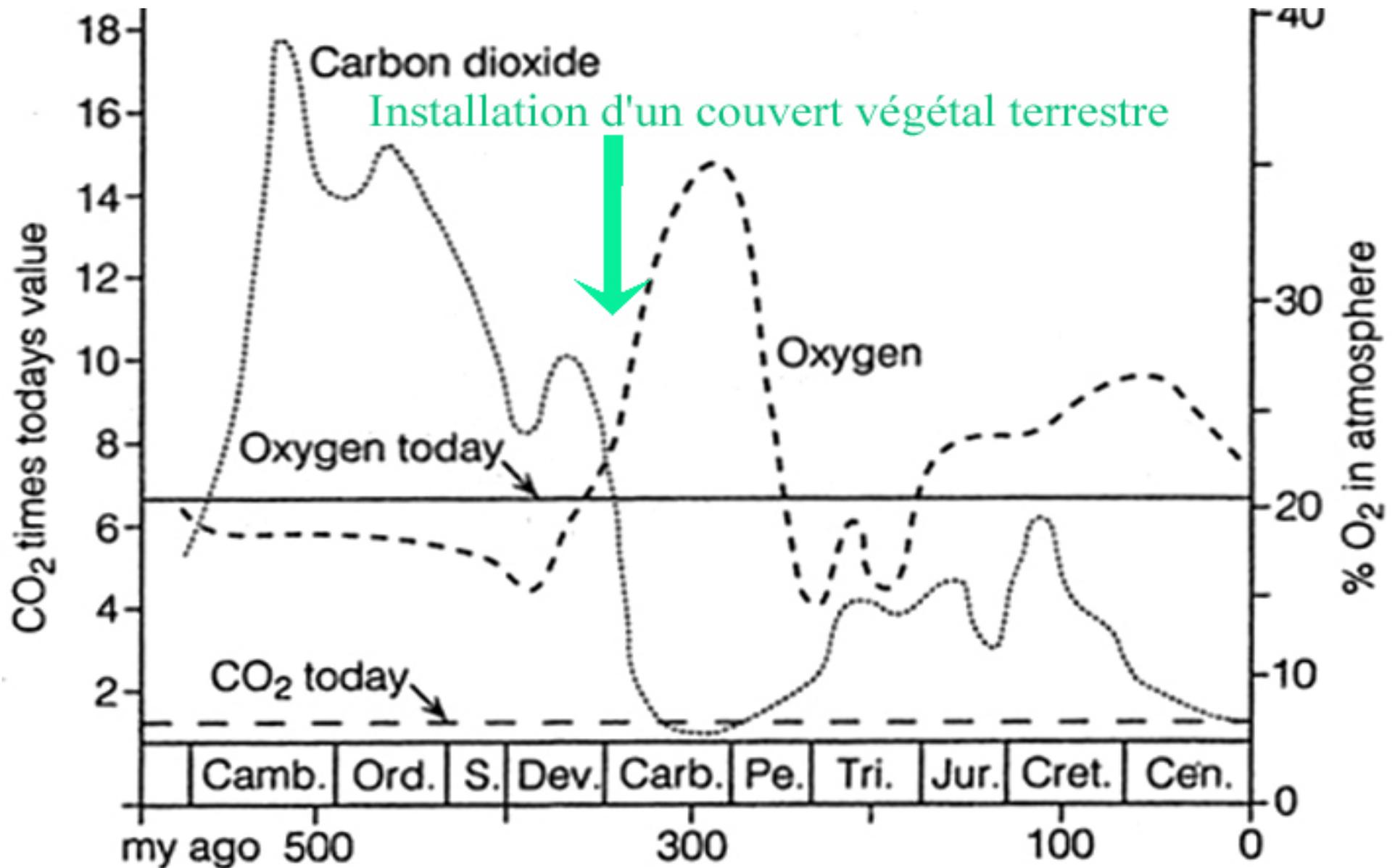
= « polysporangiophyte »



La forêt d'*Archaeopteris*, d'extension quasi-mondiale (fin du Dévonien : - 360 Ma environ)



Grâce aux nombreux restes de végétaux et d'animaux fossilisés dans les gisements de charbons « l'ambiance » des forêts chaudes et humides du Carbonifère (-360 à -295 Ma) a pu être reconstituée



La sortie des eaux : - événement « abrupt » à l'échelle des temps géologiques ; conséquences irréversibles sur l'équilibre dynamique du Système Terre.

Rien ne sera plus jamais «comme avant» dans les interactions Géosphère-Biosphère.

TRANSITION CARBONIFÈRE - PERMIEN EN EUROPE OCCIDENTALE

chaud-humide

chaud de + en + aride

Associations palynologiques dominées par les grains de pollen

Associations palynologiques dominées par les microspores

Walchia



Transition Dévonien-Carbonifère :

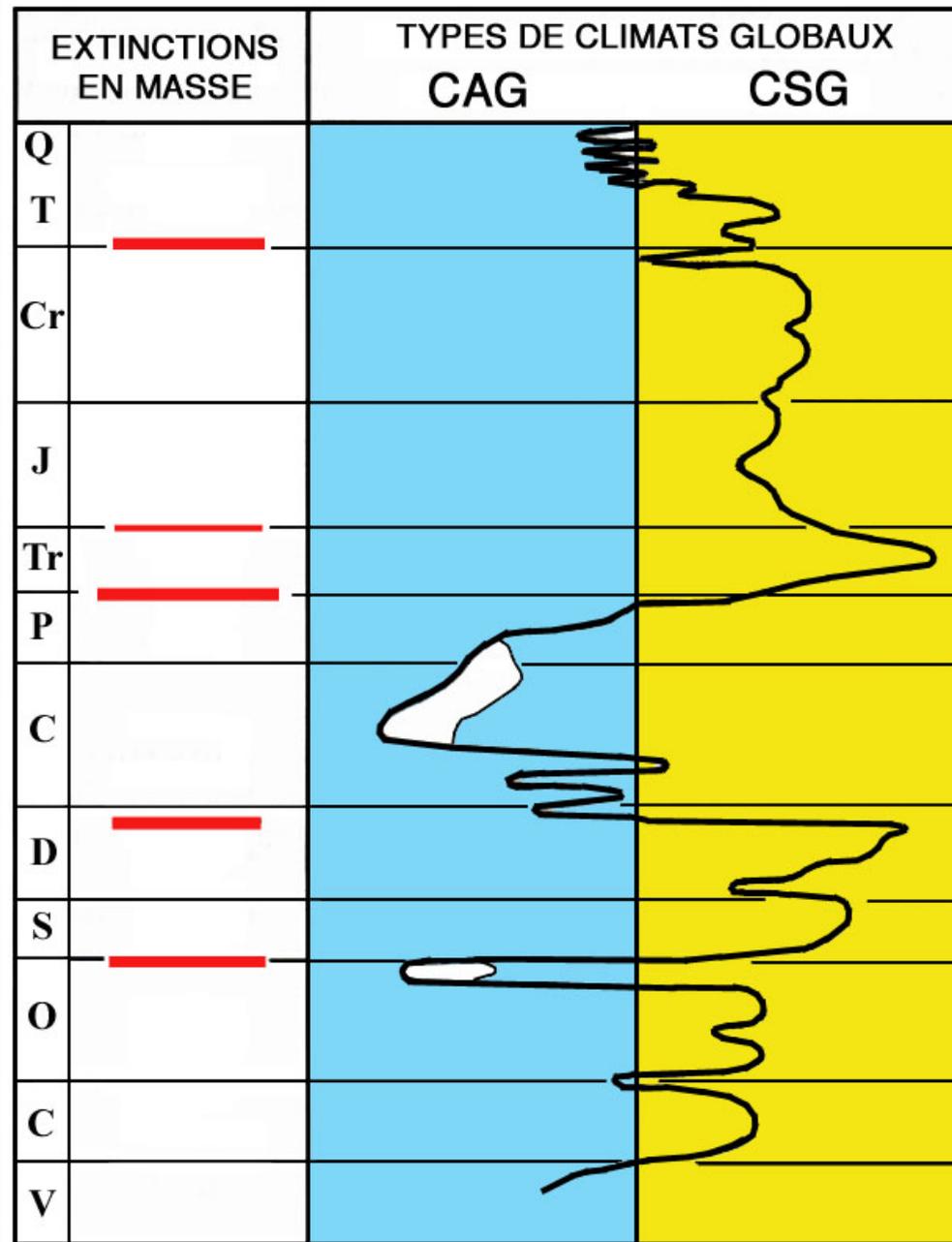
Le premier « couvert » végétal dense... est mis!

Premier puits végétal de CO² (charbon = séquestration en masse du CO²) = (?) cause de la...

Glaciation



Au Carbonifère -Permien suivie d'un... réchauffement climatique dramatique, prélude à la crise d'extinction en masse de la limite Permien-Trias!

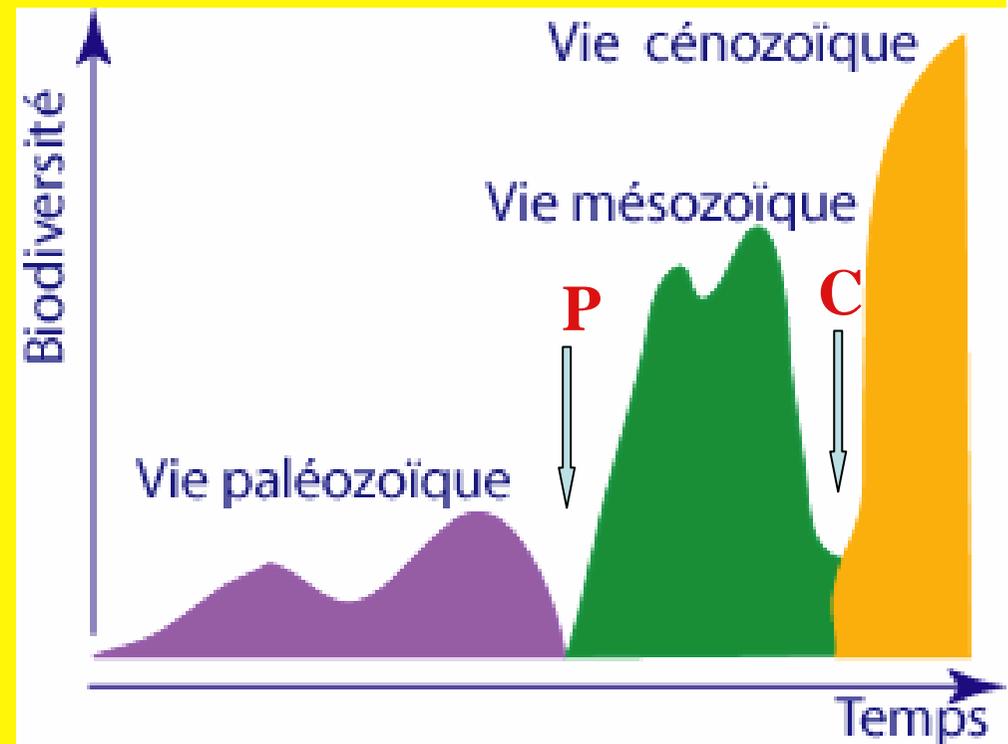


La plus grande crise d'extinction en
masse des temps phanérozoïques :

les événements de
la limite Permien -
Trias (-251 Ma)

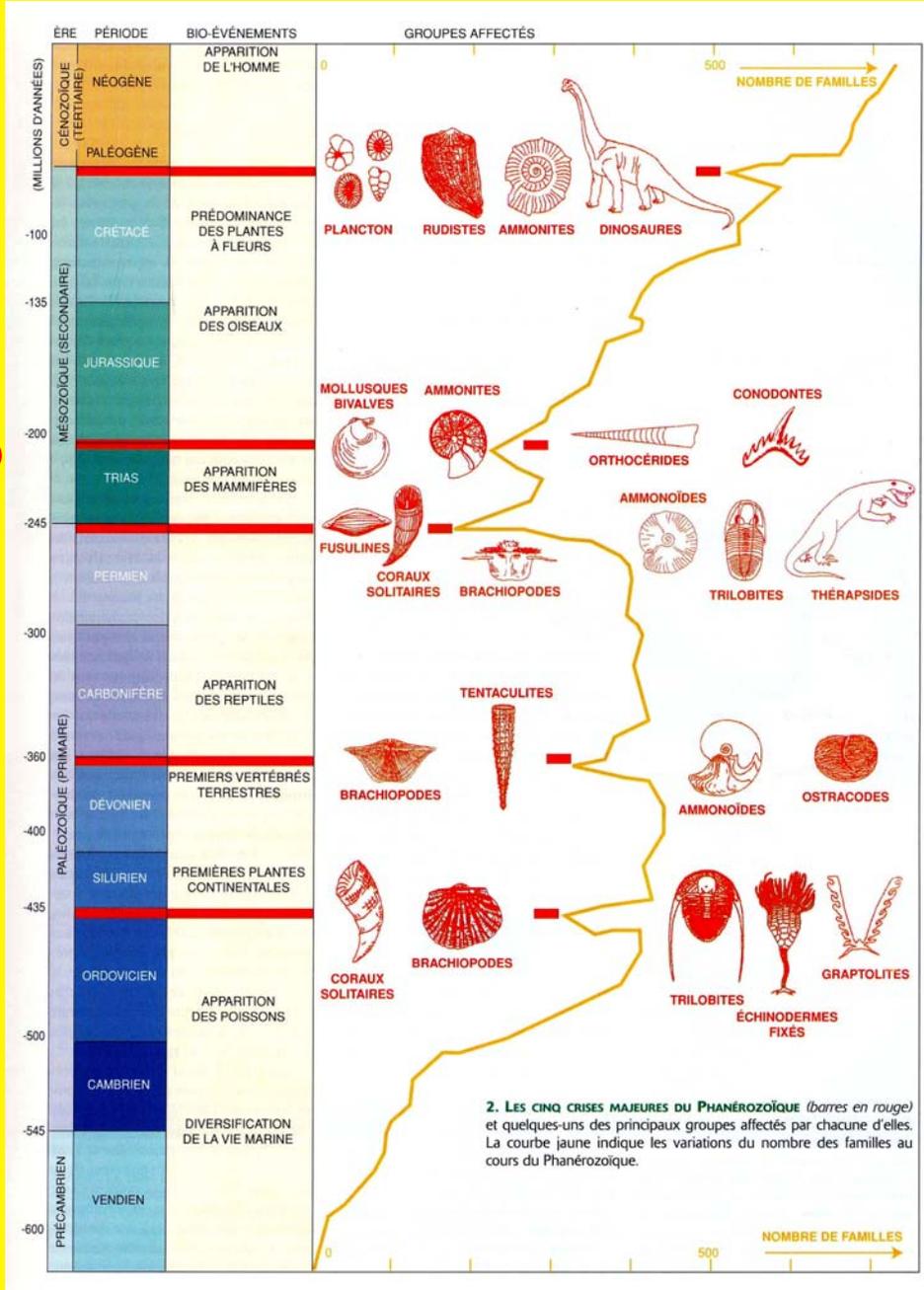
Les grandes divisions des temps géologiques (ou ères) définies dès 1840 par J. Phillips (qui n'avait aucune idée de la durée de ces ères) sont fondées sur les bouleversements biologiques observés.

Les grandes « *crises* » (permienne -**P**- et crétacée -**C**-) incisent la courbe de l'évolution de la biodiversité.



L'augmentation globale de la biodiversité est cependant notable.

5 crises majeures



L'évolution de la biosphère n'a pas été régulière au cours des temps géologiques:

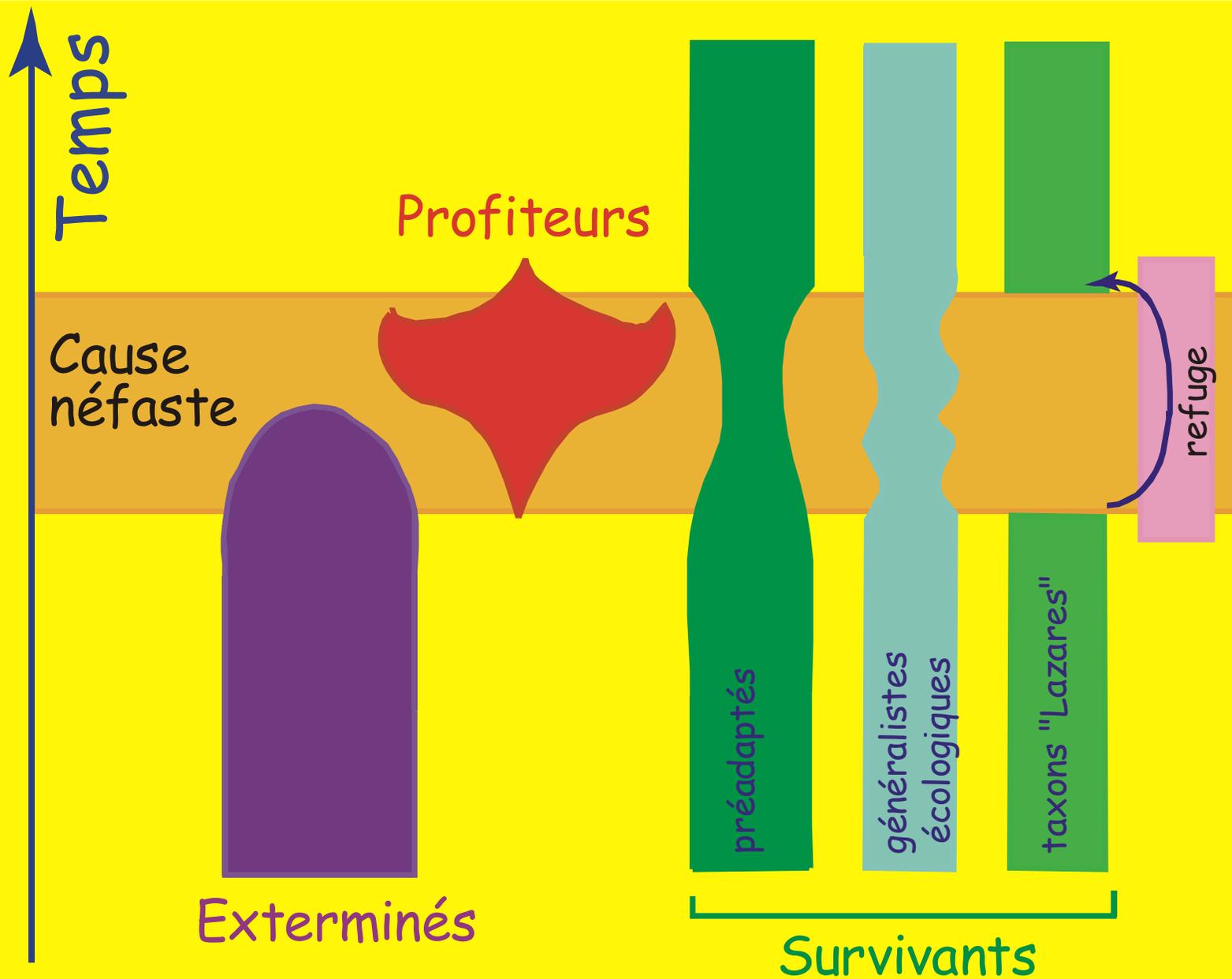
- *phases de diversification*

(Cambrien-Ordovicien et Jurassique-Crétacé) et de stabilité (Carbonifère-Permien)

→ spéciations

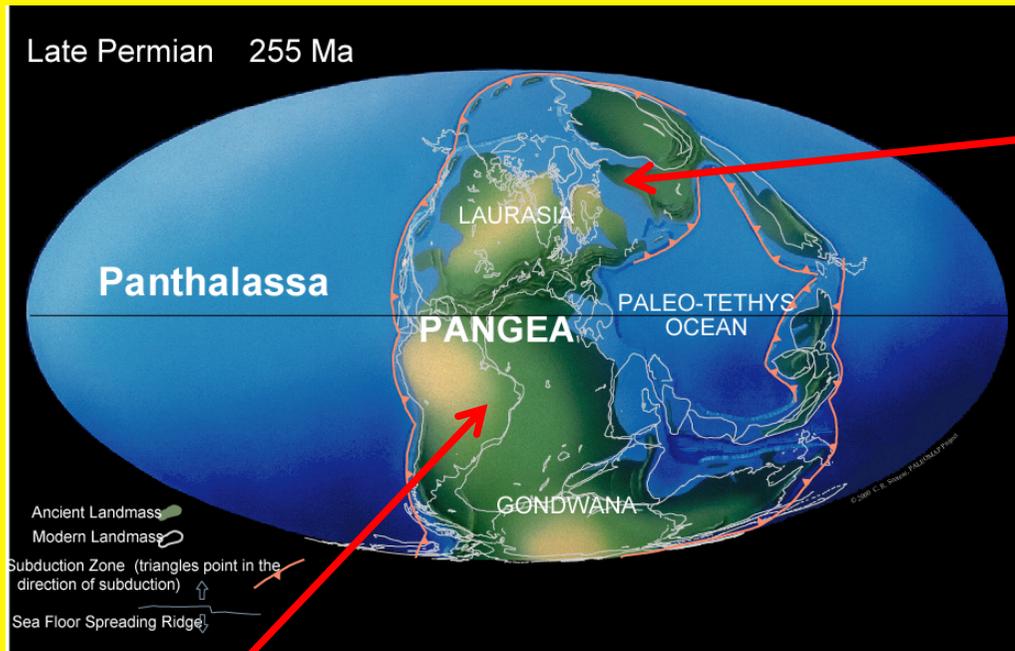
- *crises biologiques* ou bio-événements (5 majeures)

→ extinctions



Lors d'une crise biologique, il existe différents types de réponse des taxons à un événement néfaste

Paléogéographie : une configuration unique



Laurasia: Amérique du Nord, Groenland, Europe avec la Sibérie

PANGÉE = résultat de collisions continentales au Silurien (Calédonides); Dévonien- Carbonifère (Appalaches, Hercynides) ; Permien terminal (Ouralides).

Gondwana: Amérique du Sud, Afrique, Inde, Australie, Antarctique

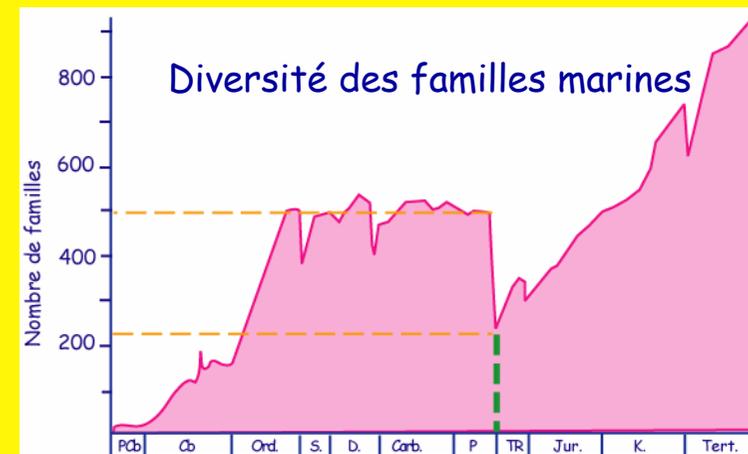
Océan Panthalassa : 20000 km de large à l'Équateur ; parsemée de nombreux archipels (volcans – sea mounts et/ou fragments cratonique - terranes)

La biosphère subit sa plus grande crise d'extinction en masse des temps phanérozoïques

Le milieu marin

57% des familles présentes dans le Permien disparaissent dans le Trias
Certaines extinctions débutent dans le Permien, d'autres ont lieu à la limite PT
Les taux évalués:

- **83% des genres**
- **96% de espèces**

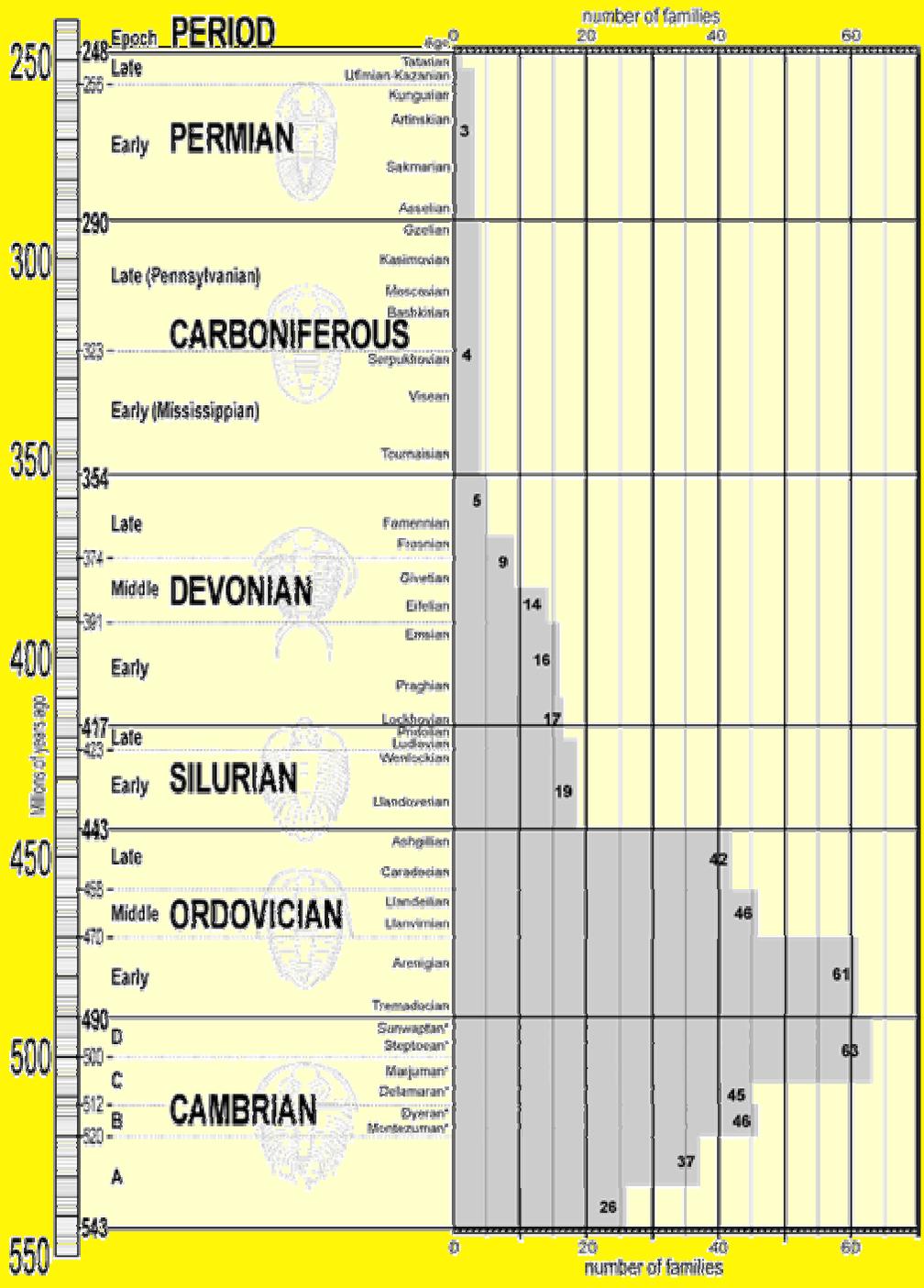


Des groupes entiers **disparaissent**:

Trilobites et Gigantostrocés (Arthropodes)

Fusulines

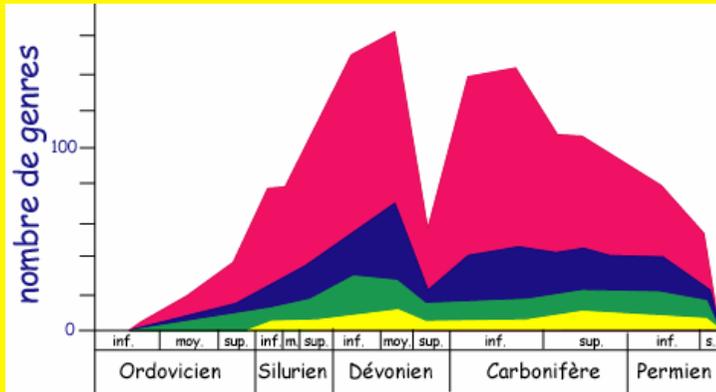
Coraux (rugeux et tabulés)



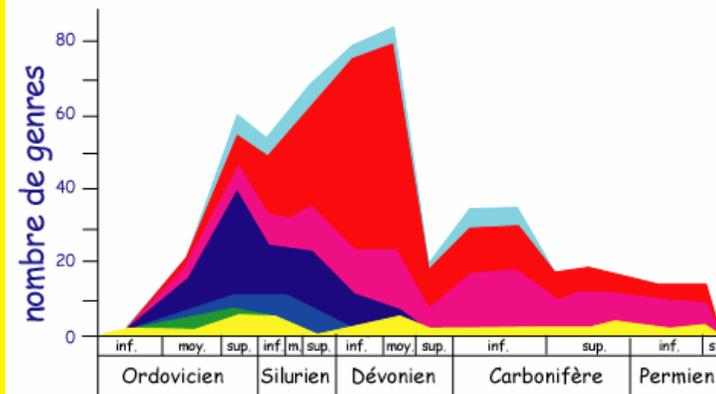
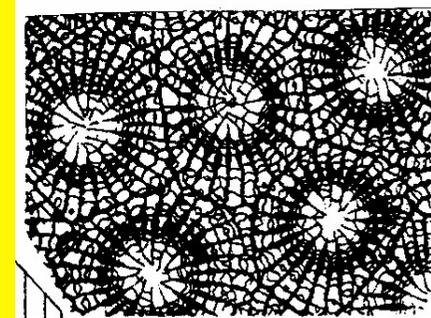
Trilobites



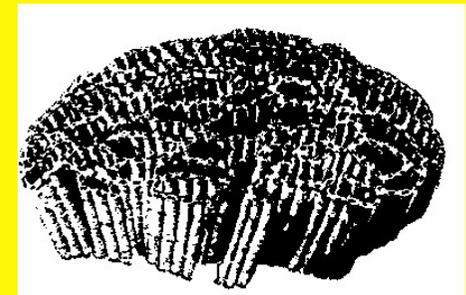
Rugeux et Tabulés



Rugeux (= Tétracoralliaires)



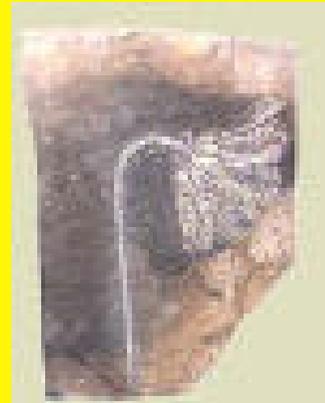
Tabulés



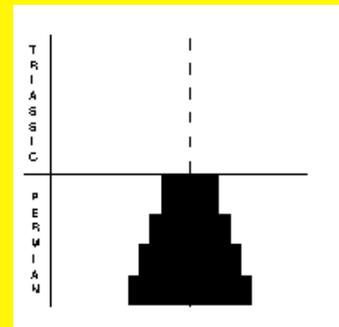
Avec eux le milieu récifal disparaît des mers pendant le Trias inférieur, remplacé par des encroûtements microbiens (microbialites). Il ne réapparaîtra qu'au Trias moyen.

Les nouveaux récifs coralliens mésozoïques seront édifiés par d'autres organismes « bioconstructeurs » : les « *Rudistes* ».

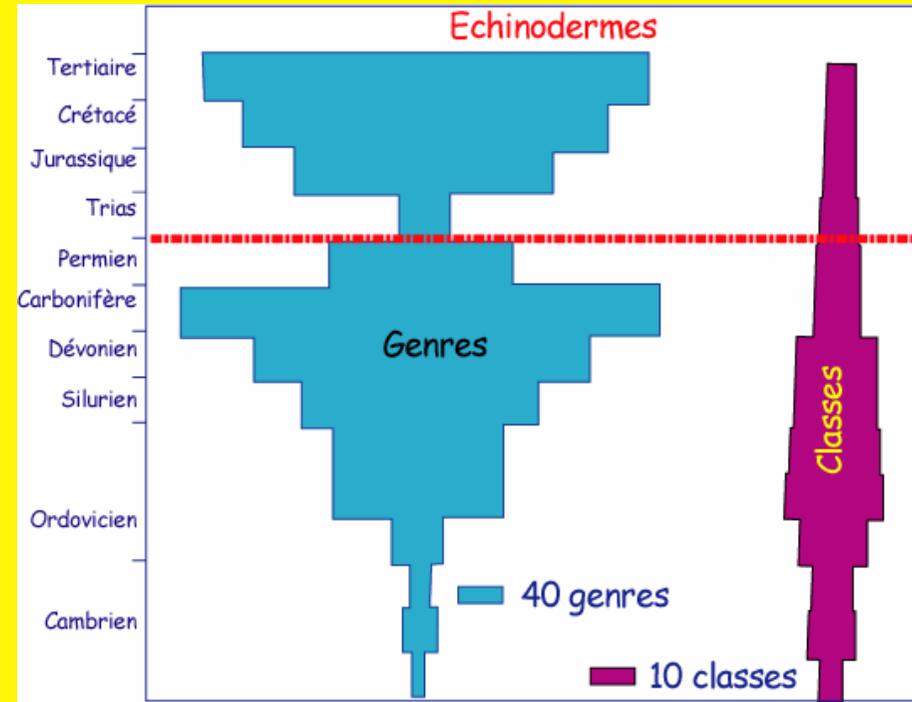
Echinodermes



Crinoïdes

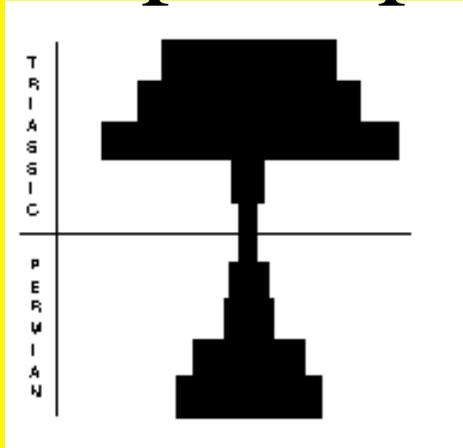


Les Blastoïdes disparaissent dans le Permien supérieur et les Crinoïdes montrent un passage en goulot d'étranglement. 42 familles disparaissent, soit 98% et un seul genre survit au Trias.

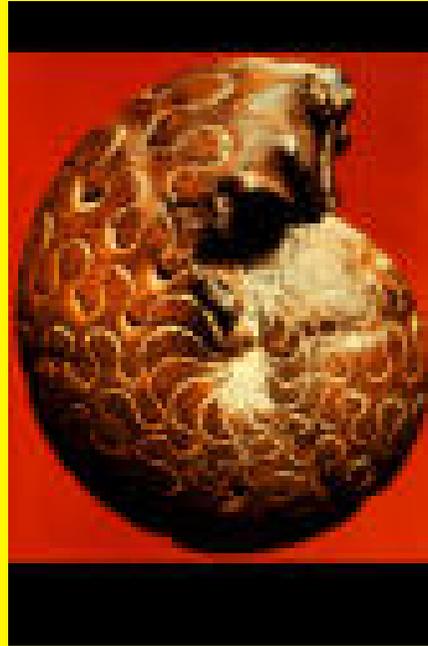


Chez les échinides seul le genre *Miocidaris* survit et assure la descendance de tous les échinides mésozoïques

Céphalopodes

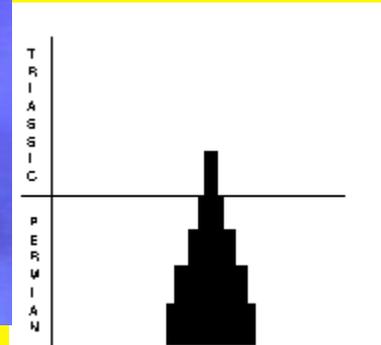


Ammonoides



Les Goniatites
déclinent durant
tout le Permien
et disparaissent
à la limite PT

Les Orthoceratides
s'éteindront au
Trias



Plancton

Moyennement affecté mais montre une chute de la diversité chez les radiolaires et les acritarches.

* Chez les radiolaires : relais entre les faunes paléozoïques (2 familles éteintes à la fin du Permien) et mésozoïques (explosion de la diversité au cours du Trias inférieur et moyen) donc : soudaineté de l'événement pas évidente



* La productivité phytoplanctonique, elle, a brutalement chuté comme le montre la baisse du rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$



Recolonisation des biotopes marins

La reconquête post-événementielle ne devient complète qu'à partir du Trias moyen. Le phénomène est lent et très particulier à la crise P/T.

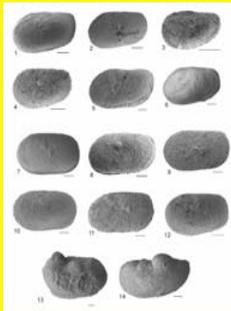


Claraia



Lingula

		Jurassique
	supérieur	Trias
	moyen	
	inf.	
		Permien



Extrait de Lethiers (1998) d'après Erwin (1993)

« Chute » : environ 10Ma.

Trias basal : caractérisé par la pauvreté de sa faune, contrastant avec la diversité du Permien supérieur.

Ammonoïdés : élément dominant (9 genres au Trias inférieur), puis reptiles recolonisant les mers (plésiosaures, ichtyosaures,...).

Benthos, distribution mondiale des *Claraia* (Pectinidé), *Lingula* (Brachiopodes inarticulés) et ostracodes = faune cosmopolite d'espèces généralistes écologiques, à très faible diversité / très grande abondance ; individus de petite taille indiquant des milieux dysoxiques.

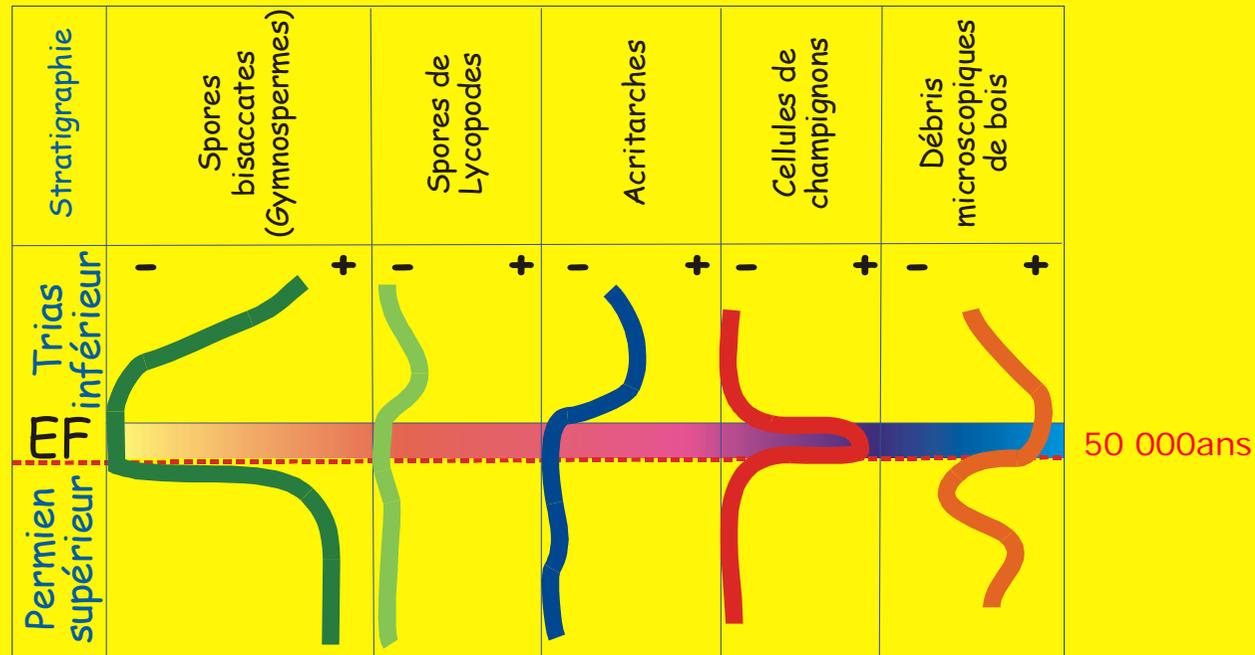
Le milieu continental

Évidences de réorganisations dans la faune et la végétation.

Problème de la résolution stratigraphique dans les séries continentales → surestimation de l'intensité des événements?

Événement fongique

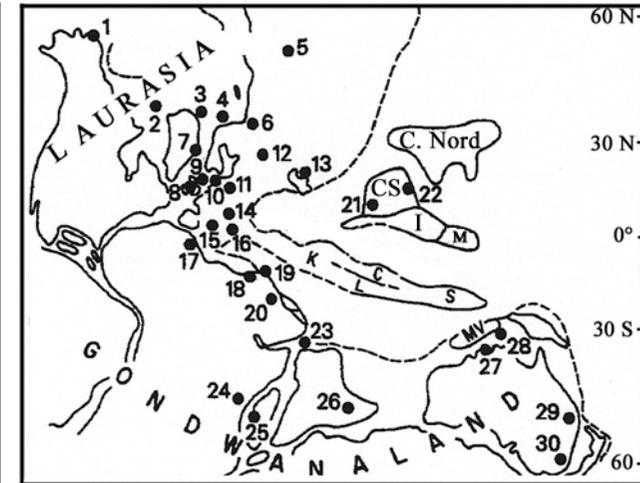
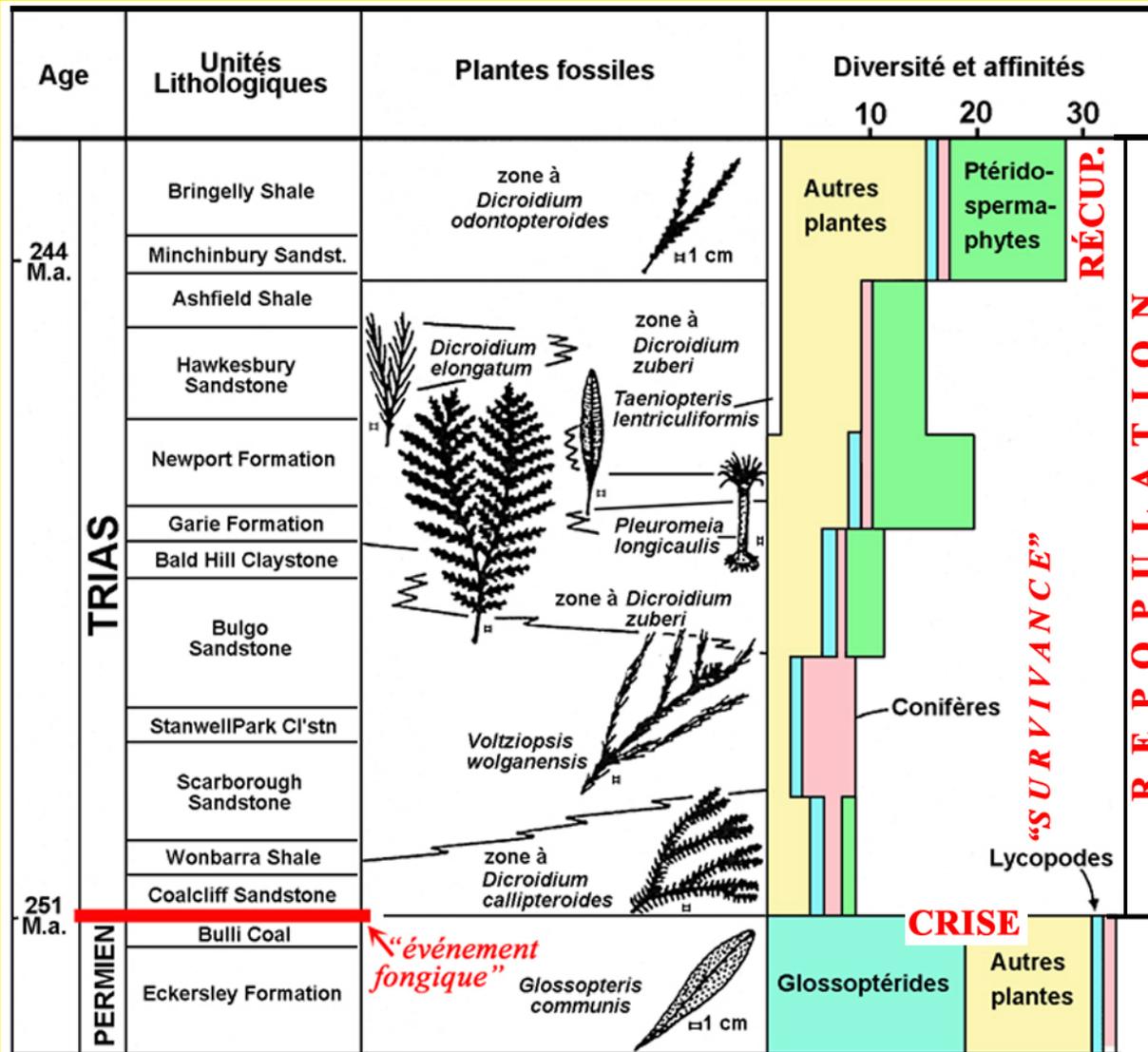
Niveau fin, reconnu mondialement dans les faciès marins peu profonds;
Palynofaciès constitués à 95% de restes de champignons.



Extrait de Lethiers (1998) d'après les données de Eshet et al. (1995)

Destruction des plantes terrestres autotrophes, produisant d'abondants débris de matière organique propices au développement des saprophytes, tels les champignons, répondant rapidement au stress environnemental...

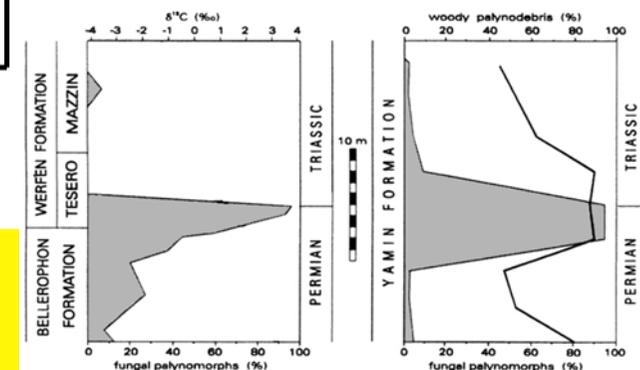
... Le « festin » des décomposeurs ?



Localités fossilifères à « pics fongiques » répertoriées dans les dépôts du passage Permien-Trias :
Distribution d'ampleur mondiale.

D'après Visscher et al., *PNAS*, 1996

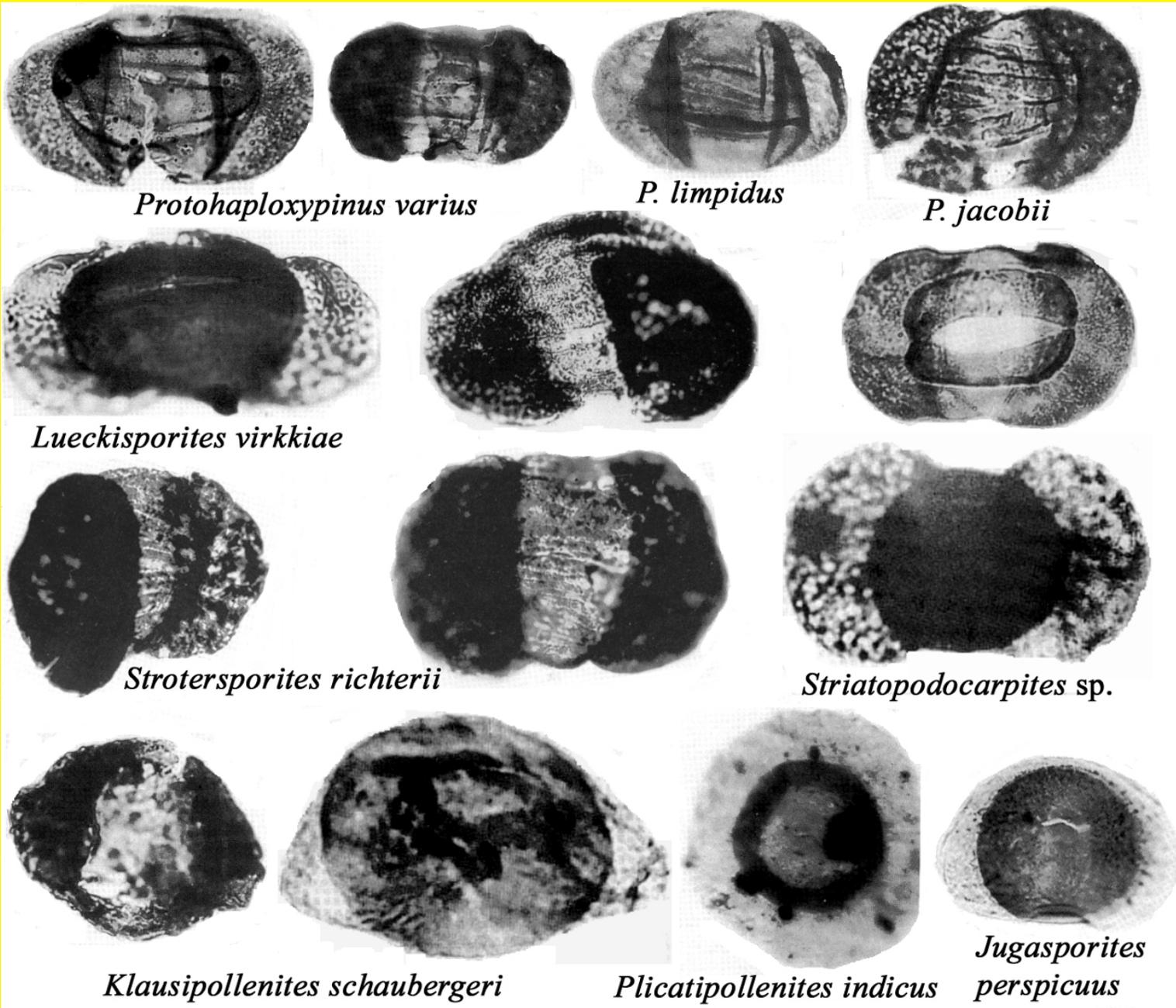
L'événement fongique



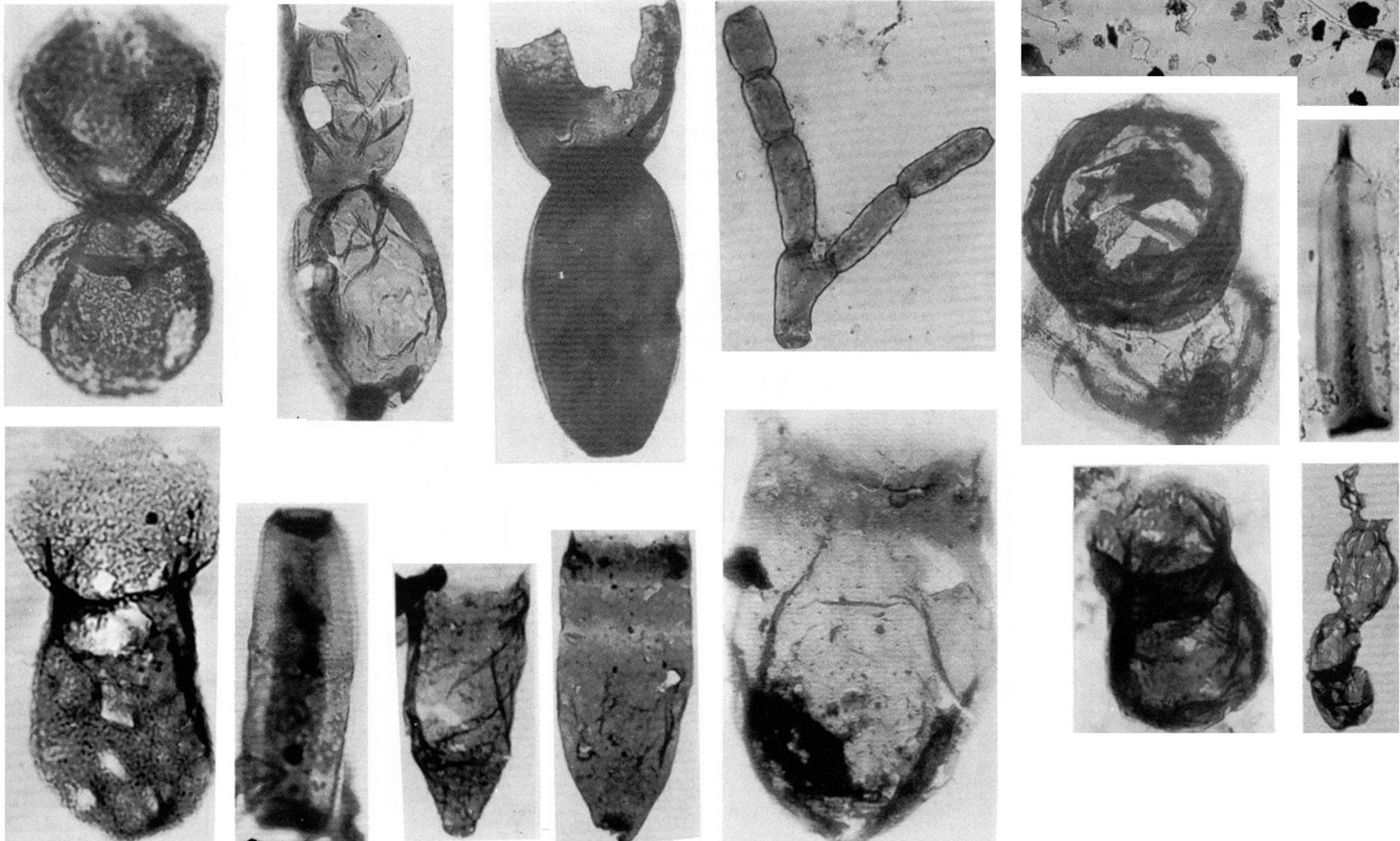
Dans les Dolomites

En israel

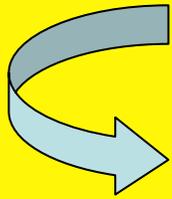
Flores fossiles et « crise Permien-Trias » en Australie



PERMIEN TERMINAL : microflore dominée par les grains de pollen de Conifères

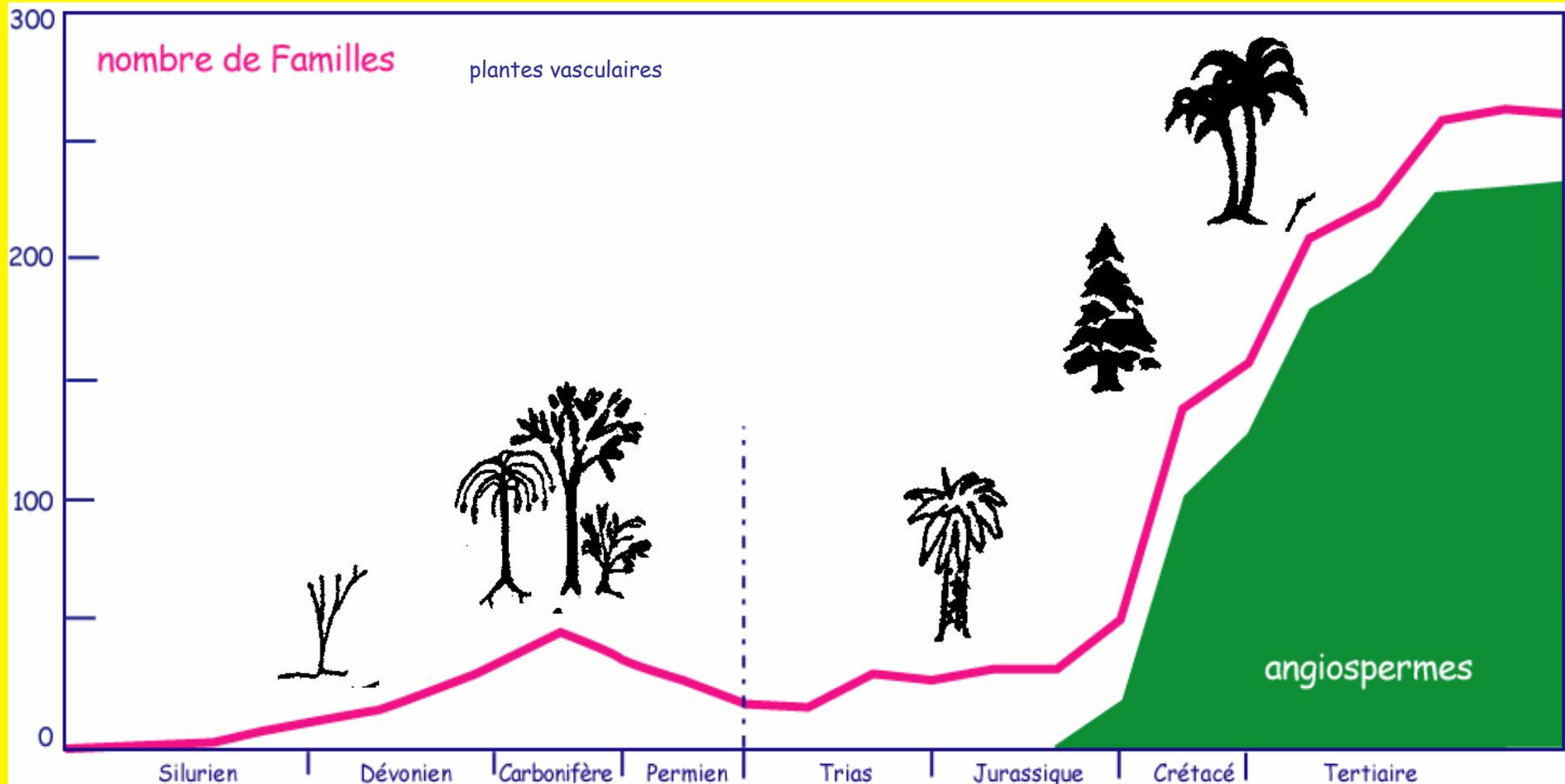


Couches de passage Permien Trias : filaments mycéliens + microspores d'affinités ptéridophytiques + algues vertes filamenteuses (eutrophisation du milieu)



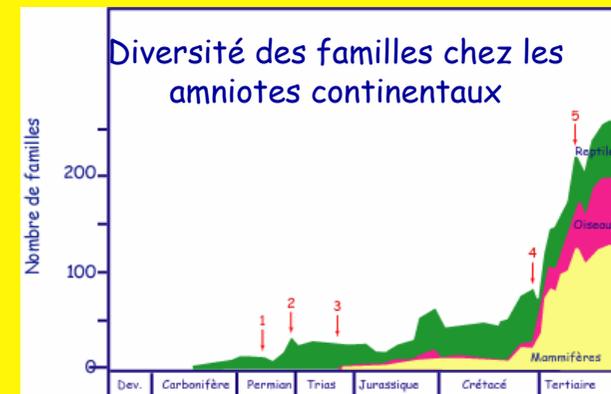
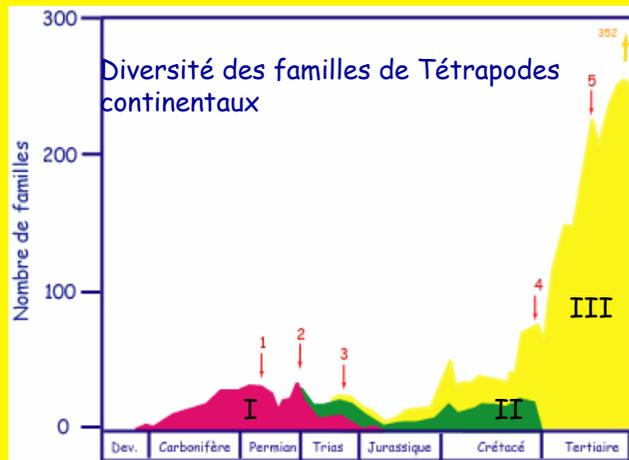
L'événement fongique semblerait militer en faveur d'une cause catastrophique, très brève.

Les données générales au niveau des familles montrent, cependant, une réduction « par paliers » de la diversité floristique entre le Carbonifère supérieur et le Trias inférieur.



La faune de vertébrés

70 à 77% des familles de vertébrés terrestres disparaissent mais, **comme pour les flores**, les épisodes de baisse de la diversité débutent dès le Permien inférieur et se poursuivent au cours du Trias inférieur. Ces extinctions concernent les amphibiens primitifs, les anapsides et les reptiles à tendance mammalienne.



I- Amphibiens primitifs, Anapsides et reptiles à tendance mammalienne

II- Premiers Diapsides, Dinosaures et Ptérosaures

III- Amphibiens modernes, lézards, serpents, tortues, crocodiles, oiseaux et mammifères



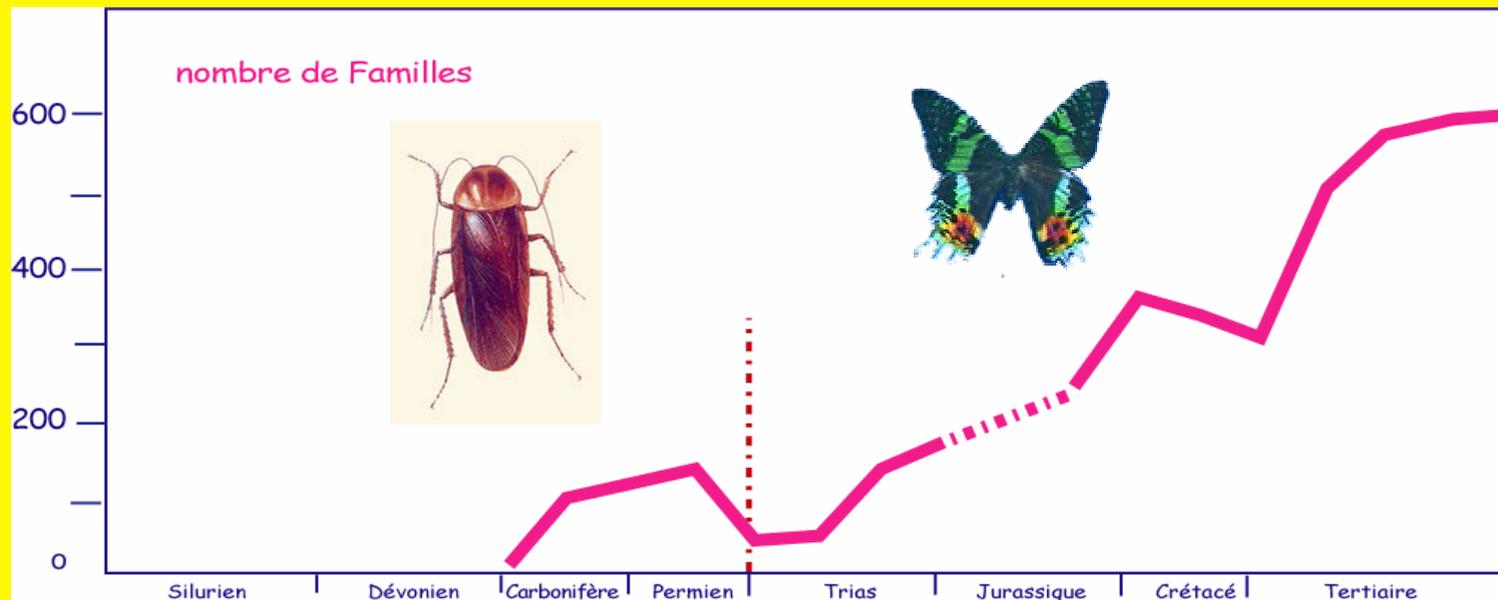
Lystrosaurus



Les petits vertébrés sont moins touchés. Les reptiles d'eau douce ne sont pas affectés et se diversifient. Au Trias, une nouvelle faune apparaît comprenant les premiers diapsides (à l'origine des dinosaures), de nouveaux thérapsides (*Lystrosaurus*) et des cynodontes (origine probable des mammifères).

Insectes

Insectes significativement affectés par la crise : pic de diversité au Permien supérieur, puis le nombre de familles chute d'environ 63% au Trias inférieur. C'est la seule extinction en masse connue chez cette super-classe. Il y a un parallélisme net entre les tendances générales de la diversité chez les insectes et chez les plantes, notamment le minimum atteint au Trias inférieur et moyen. Un phénomène de co-évolution (phytophagie, aide à la pollinisation?) a sûrement joué, mais le maximum de diversité des insectes au Trias supérieur n'existe pas chez les plantes. D'autres facteurs interviennent dans l'évolution des deux groupes.



Conclusion sur les données

L'extinction en masse de la limite P/T est nette et intense, surtout en domaine marin.

Des arguments en faveur d'extinctions plus graduelles au cours du Permien s'accumulent. Mais d'autres indices, comme l'événement fongique, évoquent un épisode (? final) catastrophique.

Toutefois celui-ci cadre mal avec la sélectivité observée dans l'intensité d'extinction selon les groupes.

Il convient donc d'analyser les événements globaux susceptibles d'avoir causé l'extinction biologique.



Les événements globaux à la limite Permien -Trias

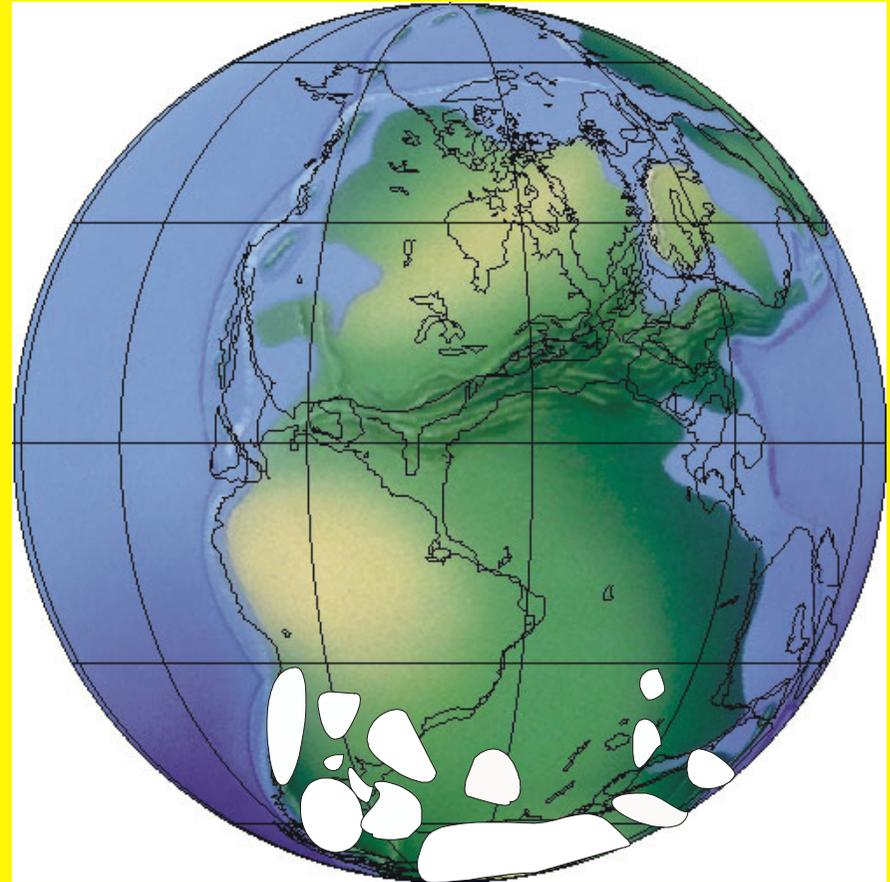
Il n'y a pas de trace d'impact « céleste » prouvée

- ✓ Changement climatique global
- ✓ Régression à la fin du Permien
- ✓ Baisse de la salinité
- ✓ Volcanisme
- ✓ Inversions du champ magnétique terrestre
- ✓ Transgression avec dysoxie au Trias basal

Au sud du Gondwana, une grande glaciation est à son maximum au Carbonifère supérieur.

Au Permien inférieur, la glaciation persiste sous forme de calottes plus modestes et associées à des glaciers d'altitudes.

Des dernières traces de glaciation subsistent jusqu'à 7 Ma avant la fin du Permien en Australie.



La disparition des glaciers modifie complètement le système de circulation océanique en supprimant les eaux froides de fond au Trias, avec disparition de la « psychrosphère ».

Les causes du changement climatique:

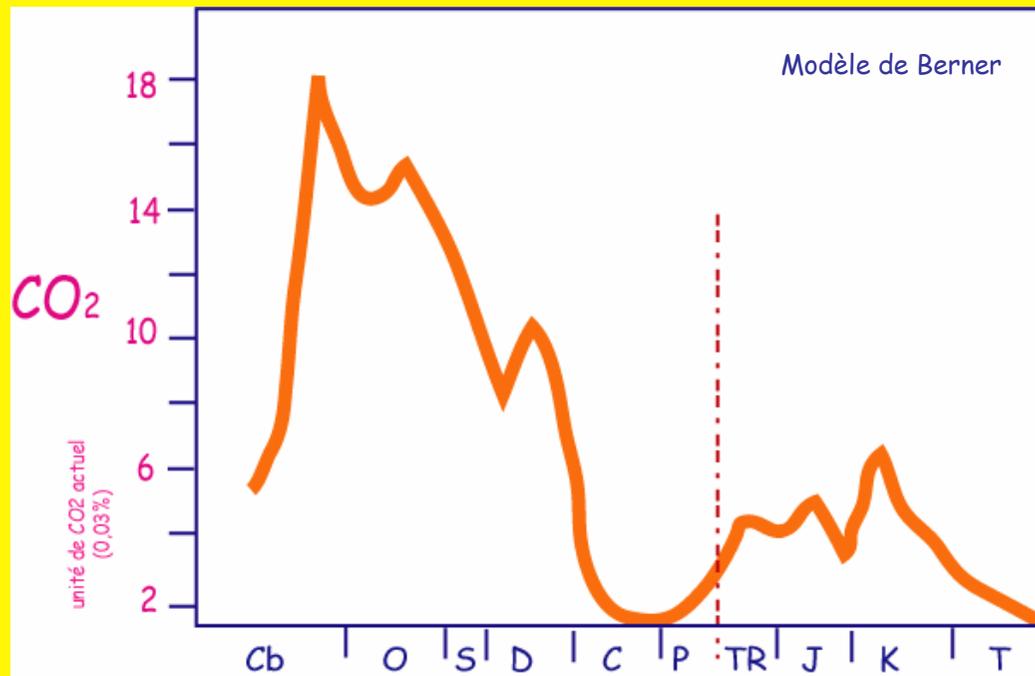
Outre les variations orbitales de la terre qui constituent probablement la cause principale de si grands bouleversements climatiques, trois évènements géologiques vont appuyer ces tendances.

- o Élévation du taux de CO₂ atmosphérique
- o Formation finale de la Pangée
- o et dérive des continents



La variation climatique au passage Permien –Trias provoque un changement complet des conditions paléoécologiques sur environ 10Ma

Élévation du taux de CO₂



→ Effet de serre

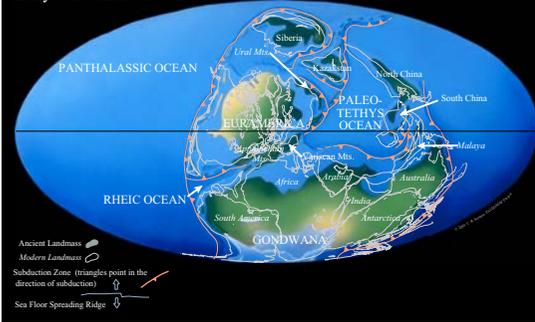
Le CO₂ provient en partie d'une oxydation généralisée des dépôts carbonés.

La régression marine généralisée du Permien supérieur et la surélévation autour de la Pangée accélèrent la remobilisation des dépôts.

Ceci est favorisé par le régime de méga-moussons qui s'est installé.

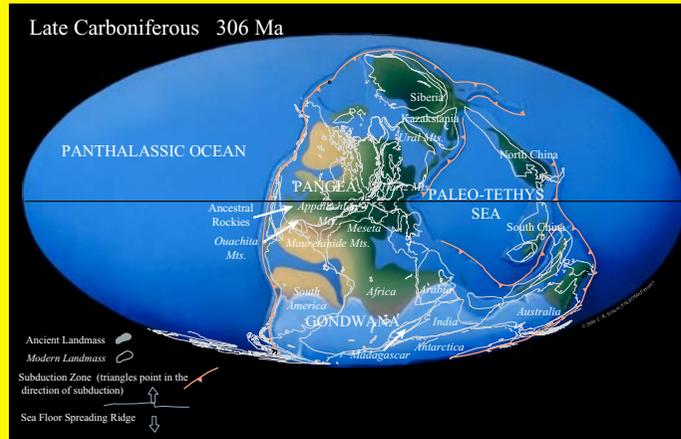
Une autre part du CO₂ injecté dans l'atmosphère provient du volcanisme.

Early Carboniferous 356 Ma



Dérive des continents : édification finale de la Pangée

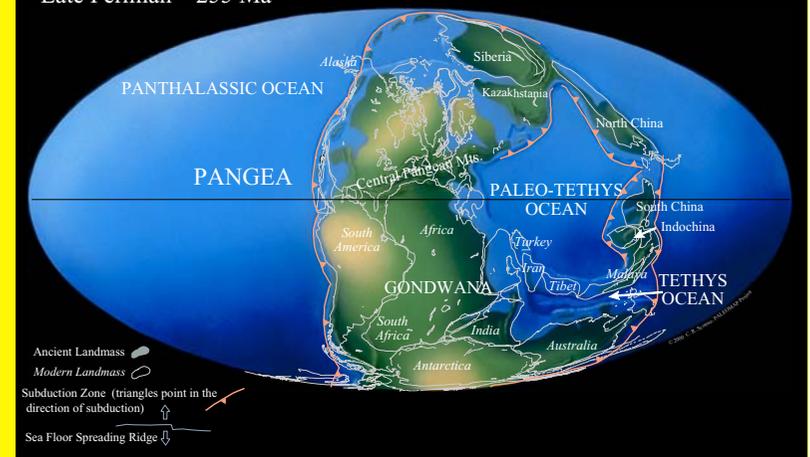
Late Carboniferous 306 Ma



Pangée « fini-permienne » : super-continent, dont la surface est accrue par la grande régression marine. Cette continentalisation entraîne la dégradation climatique par suppression de l'effet tampon des océans. Des températures élevées, des alternances saisonnières marquées et de violentes tempêtes marquent le climat de la fin du Permien.

La Pangée migre vers le Nord de 15° de latitude du Permien au Trias. Ce qui va accentuer l'augmentation de température sur une grande partie du super-continent.

Late Permian 255 Ma



Trapps de Sibérie



- Empilements de coulées stratoides de laves
- Volcanisme fissural, basalte tholéitique (points chauds)
- Surface de $2,5 \cdot 10^6 \text{Km}^2$
- Épaisseur de 3700m
- 2 à 3 millions de Km^3 en 11 phases éruptives
- Juste à la limite P/T , durée $> 1\text{Ma}$

Conséquences du volcanisme

- Injections d'énormes quantités de gaz d'origine mantellique dans l'atmosphère
- Le CO₂, premier gaz volcanique, induit un *effet de serre*
- Cependant, les premières extinctions débutent dès la base du Permien supérieur et s'échelonnent jusqu'au Trias : rien ne prouve que ces éruptions soient la cause majeure, encore moins « initiale » de la crise biologique.
- On peut toutefois, rapprocher volcanisme sibérien et événement fongique. Les éruptions ont dégagé d'énormes quantités de SO₂ et d'aérosols sulfatés, retombant sous formes de *pluies acides* qui ont pu anéantir les végétaux « supérieurs ». Les cendres du volcanisme de subduction ont pu amplifier le cataclysme par **un obscurcissement ? prolongé** du ciel.

ESSAI DE SYNTHÈSE

Il n'y a pas *une* cause mais une **sommation** et une **conjonction** de **causes** pour expliquer la plus grande crise biologique de tous les temps

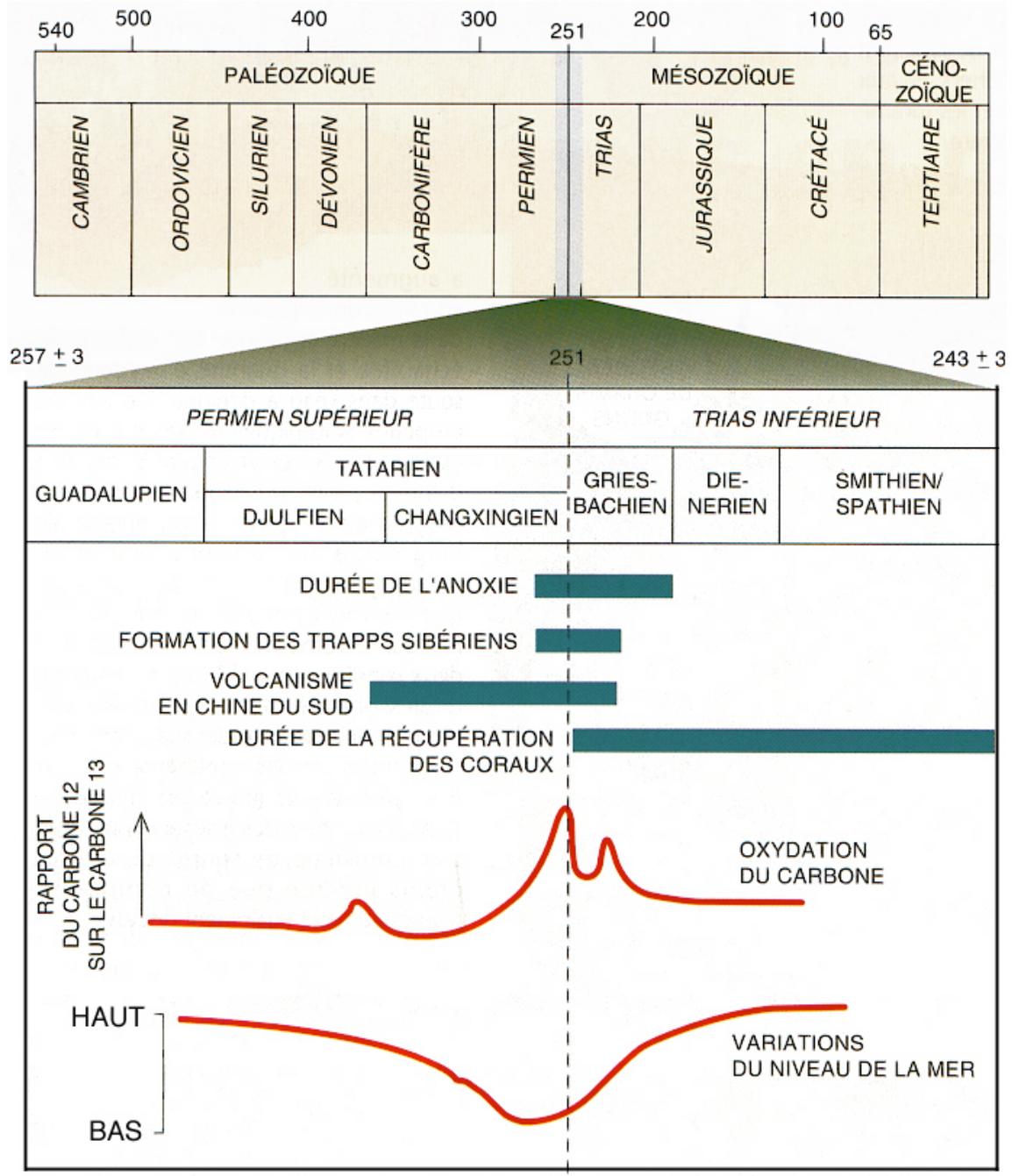
3 causes principales :

forte régression du niveau des mers
suivie d'une transgression **dysoxique**
réchauffement global

2 causes dont le niveau d'impact est moins connu

volcanisme continental
baisse de salinité

? Effets mutagènes



La crise Permien - Trias (d'après D. Erwin, 2000)

Crise Permien - Trias

Conjonction de plusieurs "cataclysmes"

a) baisse du niveau des mers

→ destruction des habitats côtiers + climat destabilisé = coraux, crinoïdes et foraminifères particulièrement touchés.

b) ↑ teneur en CO₂ atm.



RÉCHAUFFEMENT
À LONG
TERME

REFROIDISSEMENT
À COURT TERME

c

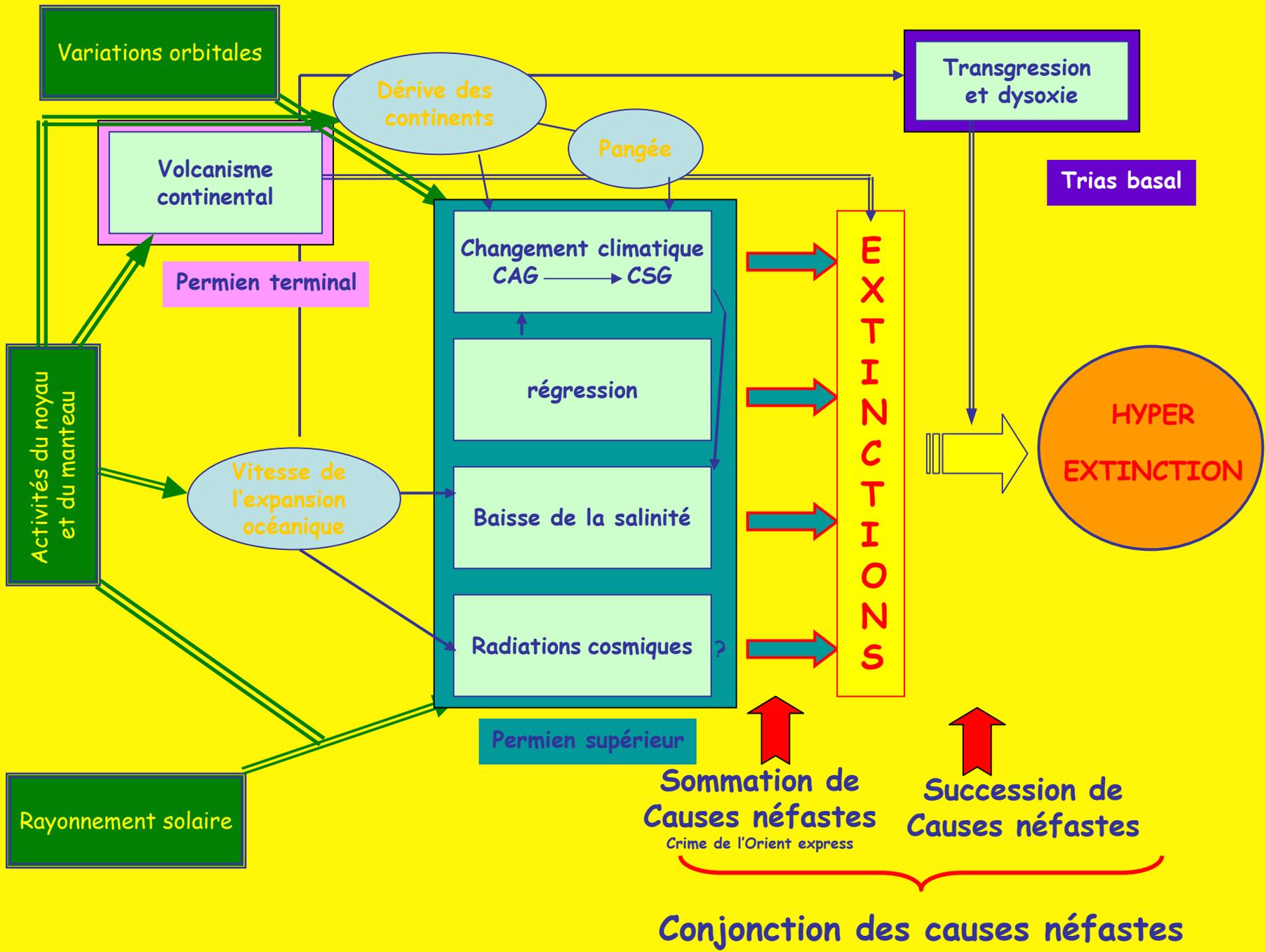
a

d

par oxydation de la matière organique = la terre s'est échauffée + baisse de l'O₂ dissoute dans l'eau.

c) hypovolcanisme intense (-255 m.a.) = refroidissement, puis réchauffement et diminution de la couche d'ozone.

d) transgression finale : inondation des territoires émergés par des eaux peu oxygénées stagnantes = disparition de 2/3 des reptiles et amphibiens et d'1/3 des insectes sur les continents. Accumulation de spores de champignons et de fougères ("événement fongique") à la limite P/T corrélé à la disparition de nombreuses plantes terrestres.



Variations orbitales

Volcanisme continental

Permien terminal

Activités du noyau et du manteau

Vitesse de l'expansion océanique

Rayonnement solaire

Dérive des continents

Pangée

Changement climatique CAG → CSG

régression

Baisse de la salinité

Radiations cosmiques ?

Permien supérieur

Transgression et dysoxie

Trias basal

EXTINCTIONS

HYPER EXTINCTION

Sommeation de Causes néfastes
Crime de l'Orient express

Succession de Causes néfastes

Conjonction des causes néfastes