LES GRANDES CRISES BIOLOGIQUES

-

Une illustration par les données paléontologiques et géologiques

Historique de la notion de temps géologique

Définition d'une crise biologique majeure

De la difficulté de reconnaître une crise majeure

Vue générale : le «big five», les crises mineures, moteurs de l'évolution,…

La crise K/T : faits biologiques, faits géologiques et interprétations

La crise Permien/Trias : faits biologiques, géologiques et interprétations

Les 3 autres grandes crises : fin de l'Ordovicien, Dévonien supérieur et fin du Trias

Conclusion … et vers une sixième crise ?

HISTORIQUE: le temps géologique irréversible et la construction de l'échelle stratigraphique

Buffon (1707-1788)

Histoire et théorie de la Terre

- *s'inspire des travaux de De Maillet (1656-1738)*

- introduit la notion d'irréversibilité du temps :

1) empilement des strates livre le déroulement du temps;

2) histoire de la Terre a une durée de 75.000 ans = long refroidissement (subdivisé en 7 périodes).

Brongniart (1770-1847)

- suprématie du fossile sur la lithologie > corrélations biostratigraphiques plutôt que lithostratigraphiques;

- introduit la notion de corrélations à distance (faunes semblables dans couches identiques éloignées > synchronisme).

Lyell (1797-1875)

Principles of Geology

- introduit la notion d'actualisme (phénomènes actuels ont opéré dans le passé).

d'Orbigny (1802-1857)

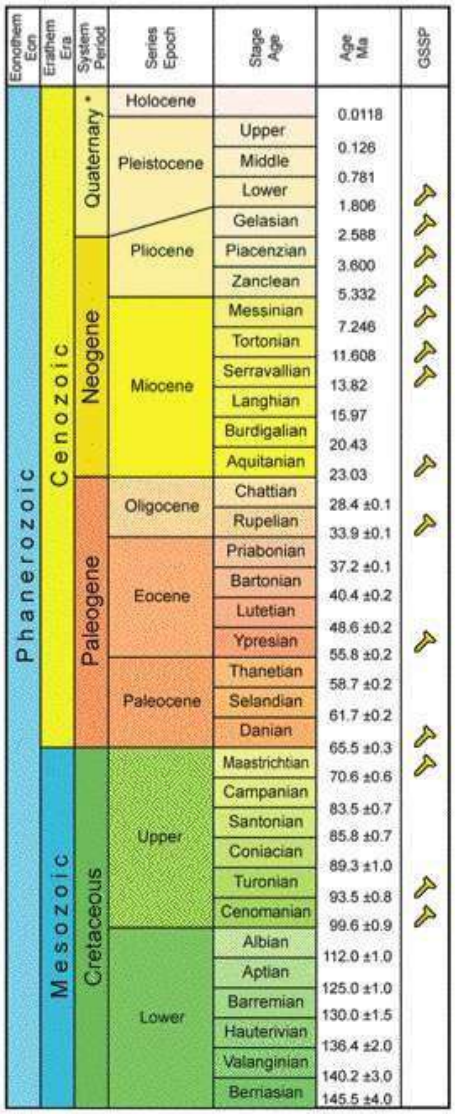
- *s'inspire des travaux de Smith (1769-1839), qui définit un système stratigraphique en 27 niveaux pour l'histoire de la Terre.*

- crée l'échelle stratigraphique, introduit les termes de terrains (= série), subdivisés en étages.

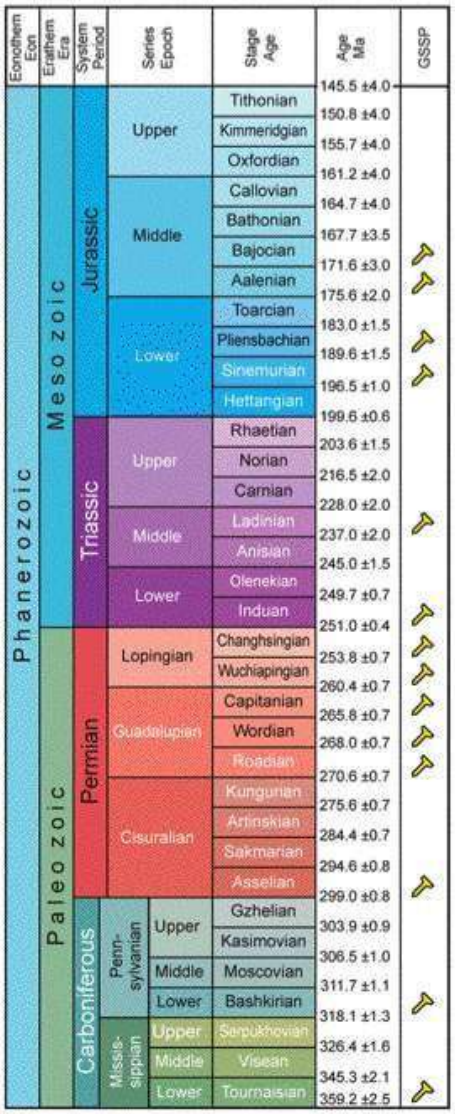
- histoire de la Terre longue > évolution «lente» des êtres vivants

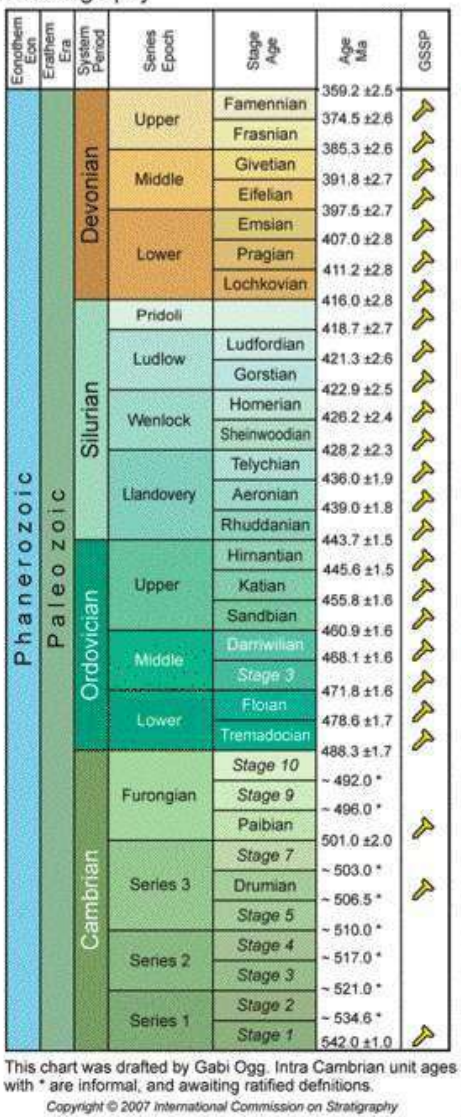
INTERNATIONAL STRATIGRAPHIC CHART

International Commission on Stratigraphy



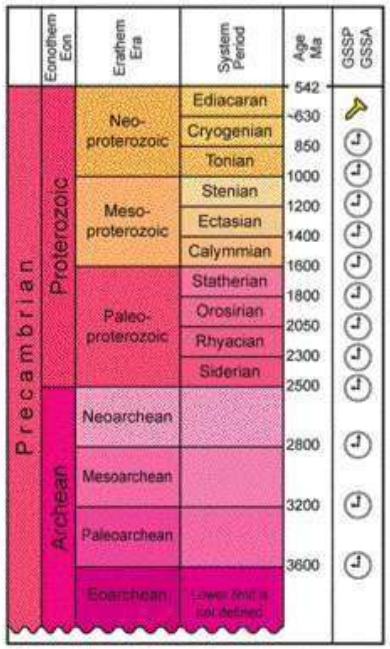
* The status of the Quaternary is not yet decided. Its base may be assigned as the base of the Gelasian and extend the base of the Pleistocene to 2.6 Ma.





This chart was drafted by Gabi Ogg. Intra Cambrian unit ages with * are informal, and awaiting ratified defnitions.

Copyright © 2007 International Commission on Stratigraphy



Subdivisions of the global geologic record are formally defined by their lower boundary. Each unit of the Phanerozoic (~542 Ma to Present) and the base of Ediacaran are defined by a basal Global Standard Section and Point (GSSP), whereas Precambrian units are formally subdivided by absolute age (Global Standard Stratigraphic Age, GSSA). Details of each GSSP are posted on the ICS website (*www.stratigraphy.org*).

International chronostratigraphic units, rank, names and formal status are approved by the International Commission on Stratigraphy (ICS) and ratified by the International Union of Geological Sciences (IUGS).

Numerical ages of the unit boundaries in the Phanerozoic are subject to revision. Some stages within the Ordovician and Cambrian will be formally named upon international agreement on their GSSP limits. Most sub-Series boundaries (e.g., Middle and Upper Aptian) are not formally defined.

Colors are according to the Commission for the Geological Map of the World (*www.cgmw.org*).

The listed numerical ages are from 'A Geologic Time Scale 2004', by F.M. Gradstein, J.G. Ogg, A.G. Smith, et al. (2004; Cambridge University Press).

DEFINITION

Crise biologique majeure (ou extinction de masse) =
disparition en masse d'espèces, dans un temps «court» et identifiable à l'échelle globale

> 3 critères

1) Critère taxonomique: grand nombre espèces, genres, familles,…;

2) Critère temporel: «instantanéité»;

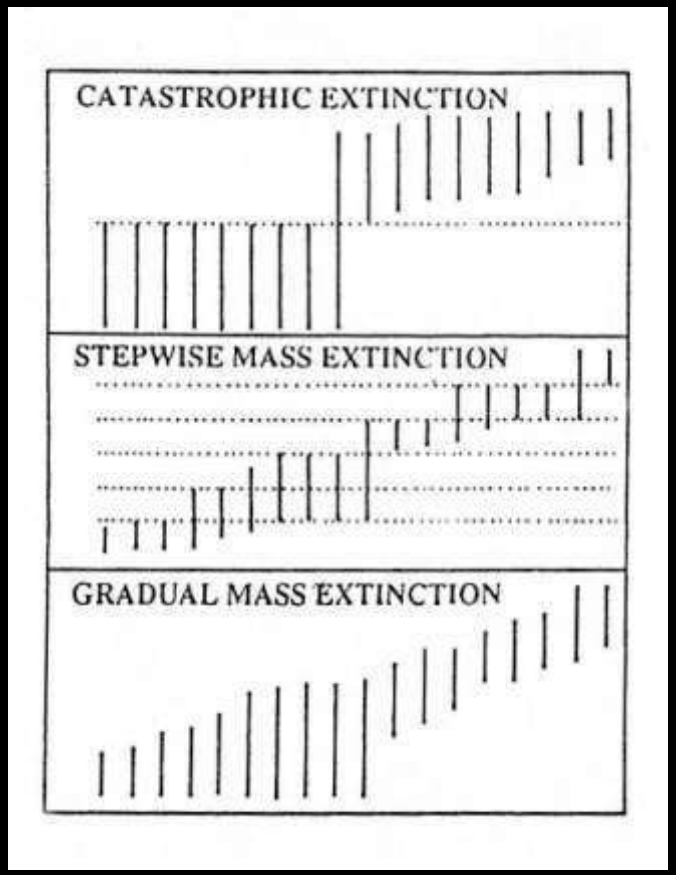
3) Critère paléogéographique: témoignages sur l'ensemble de la Terre.

3 types de crises

catastrophiques

par étapes

graduelles



BIG FIVE

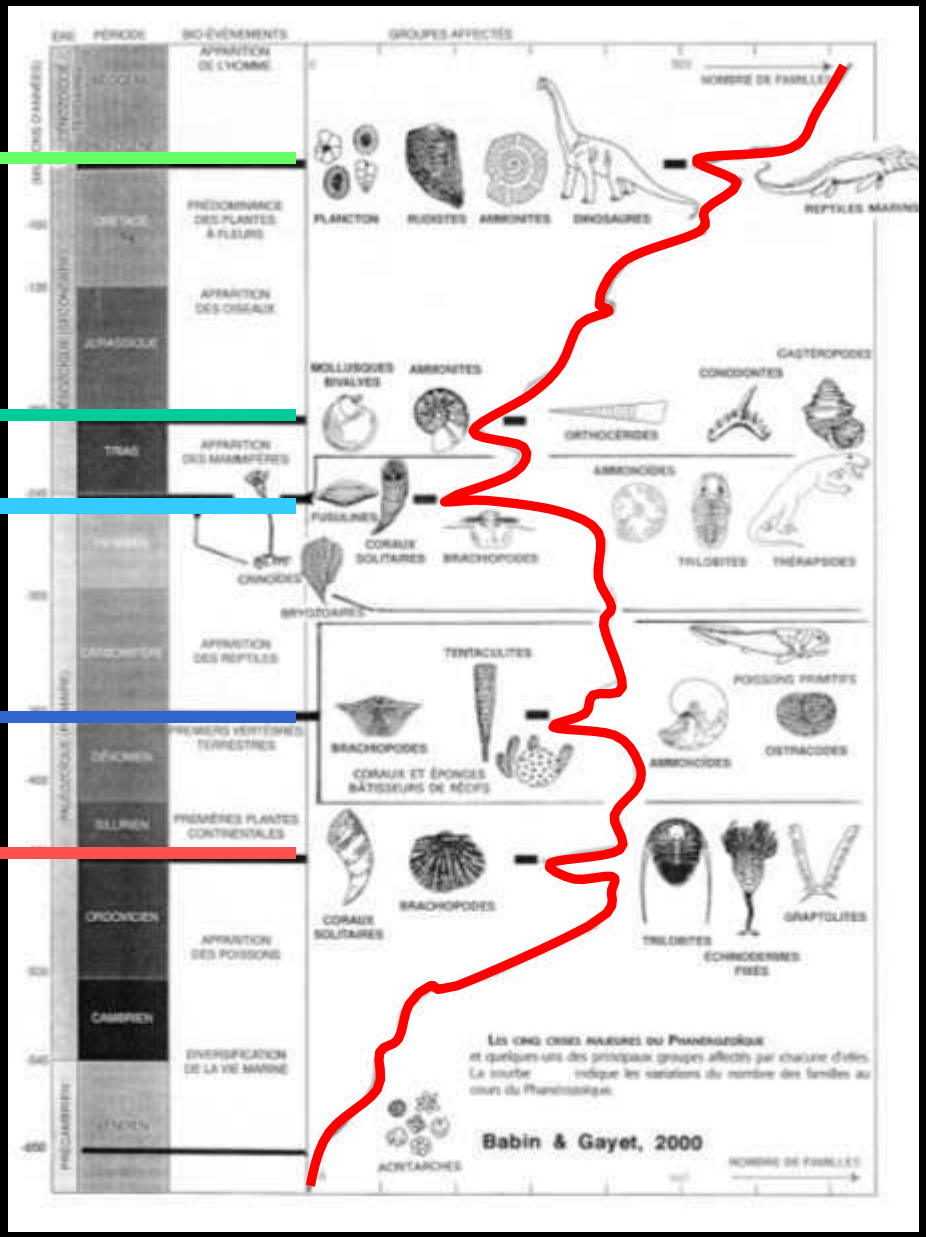
Fin du Crétacé (-65 Ma)

Fin du Trias (-200 Ma)

Fin du Permien (-251 Ma)

Dévonien supérieur (-365 Ma)

Fin de l'Ordovicien (-443 Ma)



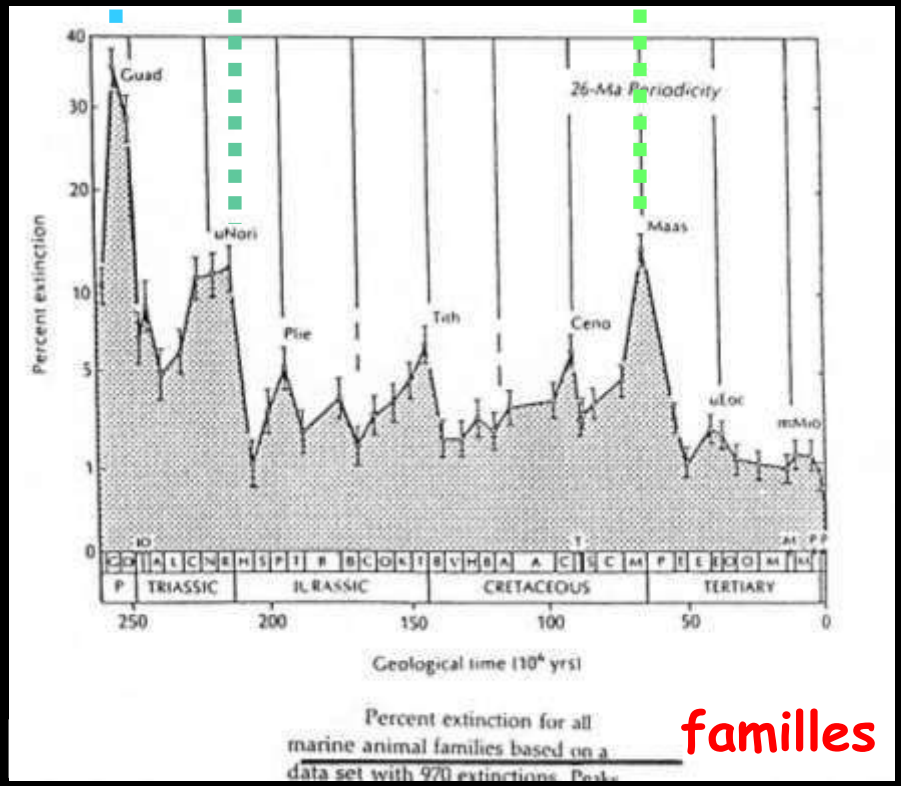
Vue générale

	FIN DE L'ORDOVICIEN	DEVONIEN SUPERIEUR	PERMIEN SUPERIEUR	TRIAS SUPERIEUR	LIMITE CRETACE/ TERTIAIRE
Milieux et Groupes concernés	*Milieu récifal* •Coraux (solitaires) •Bryozoaires •Brachiopodes •Trilobites •Graptolites •Échinodermes	*Milieu récifal* •Coraux tabulés •Stromatopiridés •Poissons (ostracodermes) •Trilobites •Brachiopodes •Conodontes •Tentaculites	*Milieu récifal* •Trilobites •Coraux •Brachiopodes (articulés) •Gigantostracés •Fusulines	*Milieu récifal* •Ammonoïdes •Nautiloïdes •Conodontes •Poissons placodontes •Amphibiens •Reptiles	•Ammonites •Bélemnites •Rudistes •Inocérames •Dinosaures s.l. •Plancton
Pourcentages de taxons disparus	Familles: 20-26% Genres: 50-60% Espèces marines: **85**%	Familles: 21-22% Genres: 47-57% Espèces marines: 70-80%	Familles: **50-57**% Genres: **70-83**% Espèces marines: **85-96**%	Familles: 22-23% Genres: 40-53% Espèces marines: 75%	Familles: 15-16% Genres: 40-50% Espèces marines: 75%

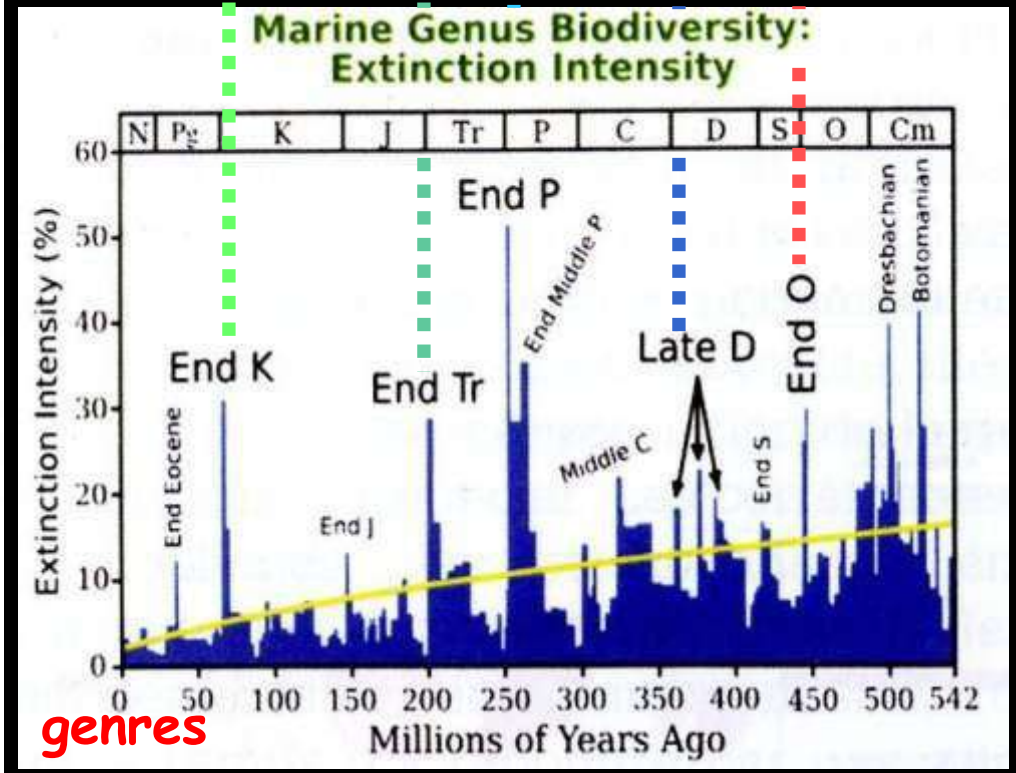
Crises biologiques du Phanérozoïque

Phanérozoïque: vie visible

Pourcentage de taxons disparus



familles



genres

Crises intermédiaires et mineures

Cénomanien supérieur

---

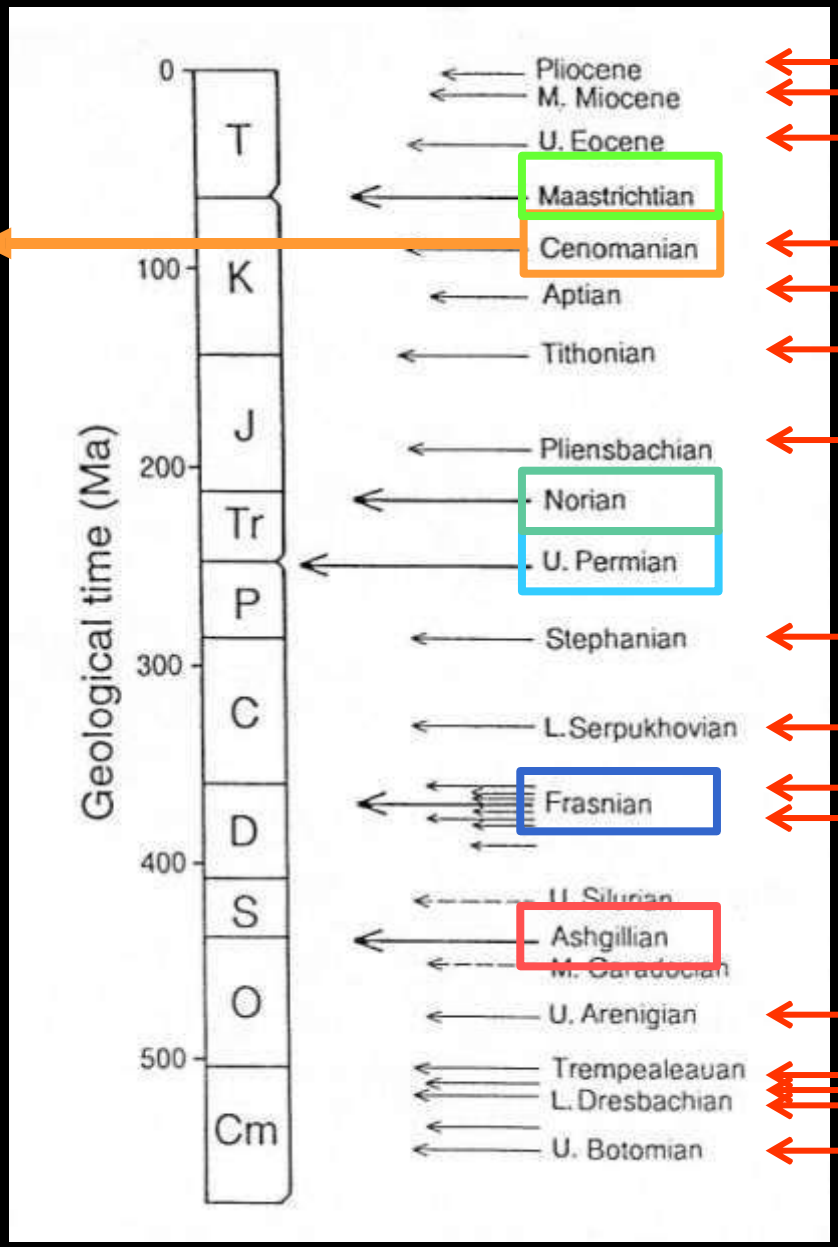
durée +/- 1 Ma

7% des familles

26% des genres marins

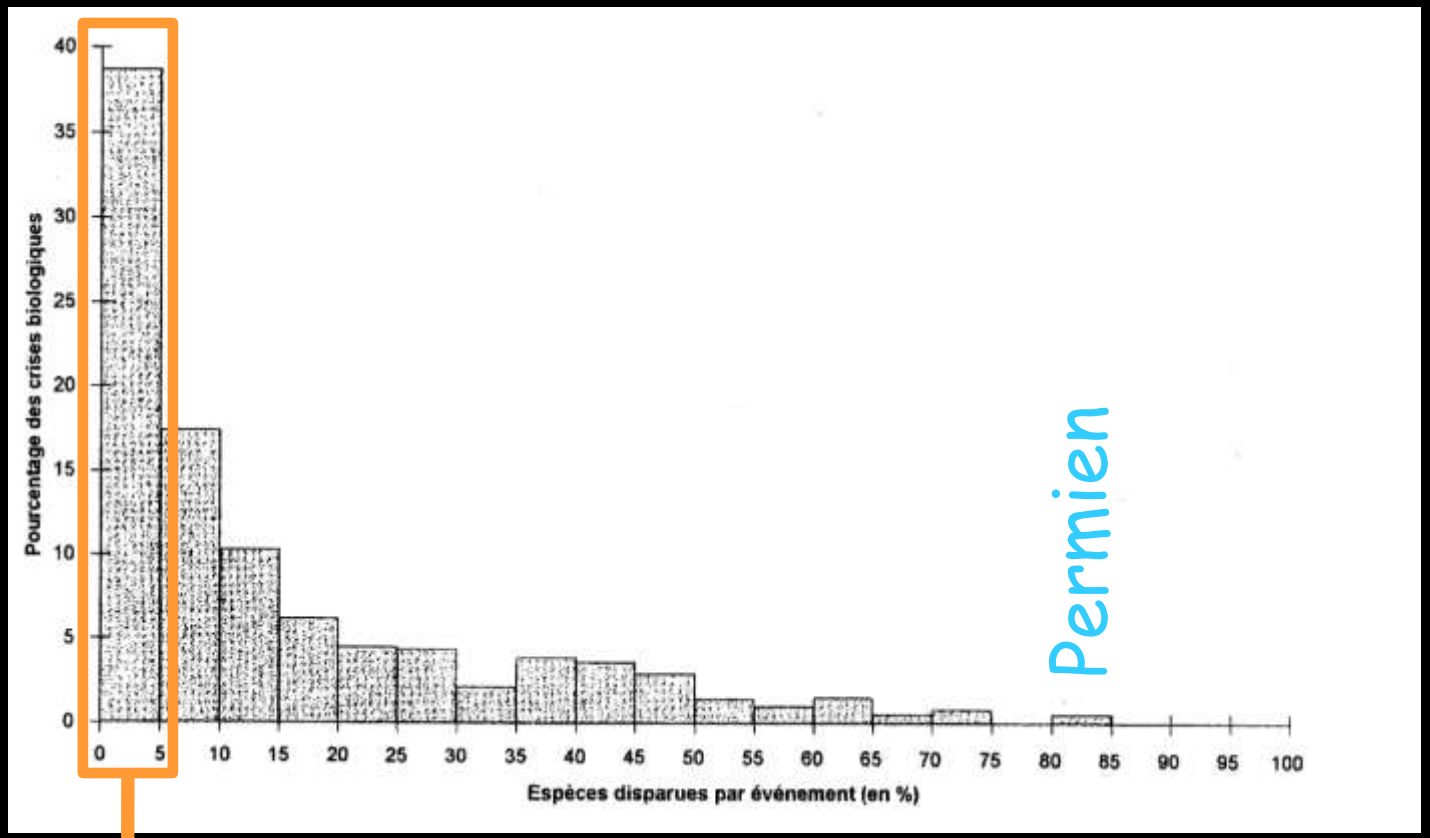
Phase 1: peuplements benthiques: rudistes, foraminifères, ostracodes

Phase 2: organismes planctoniques : phytoplancton, foraminifères



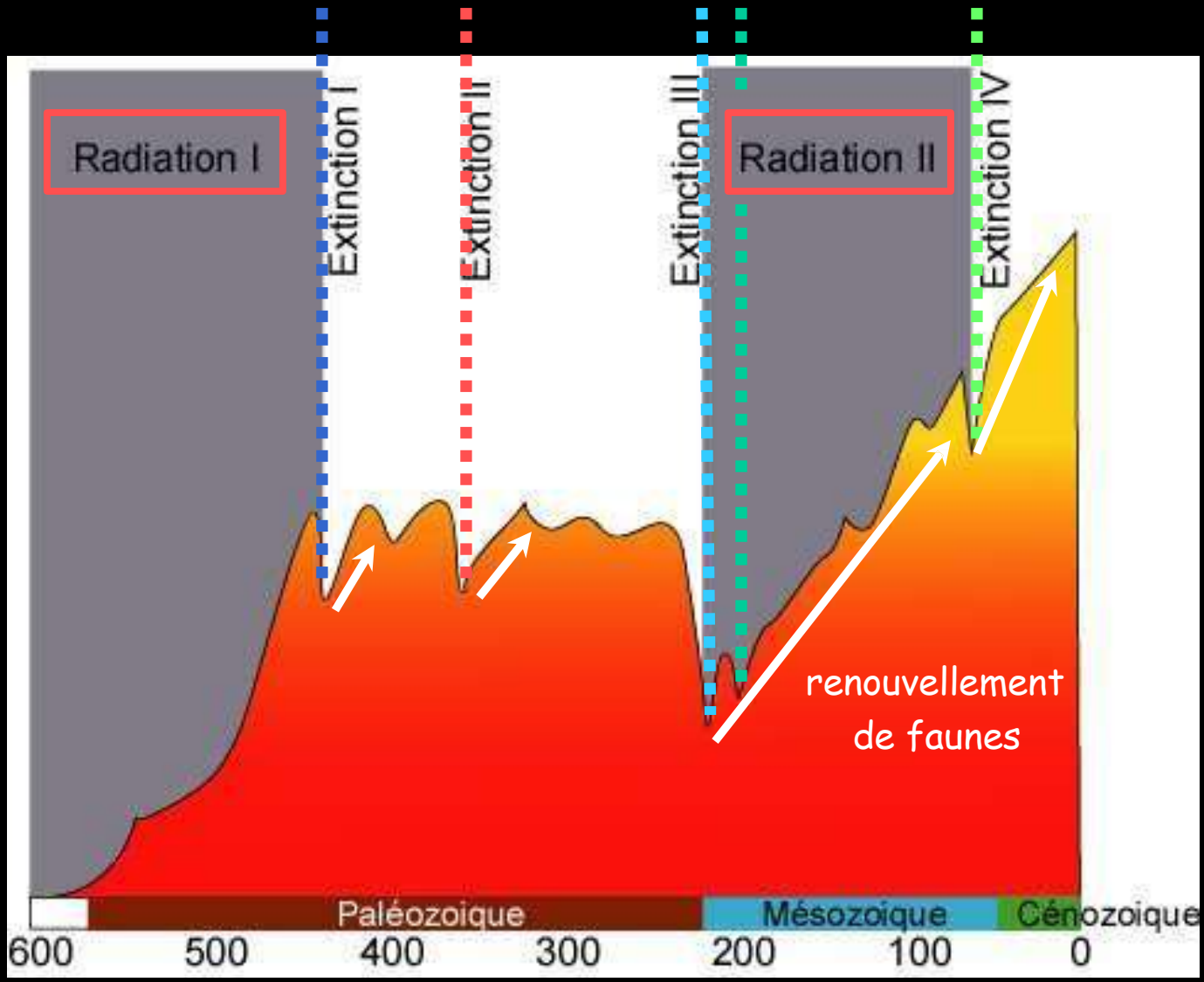
plus de 30 crises intermédiaires et mineures

De l'importance des crises intermédiaires

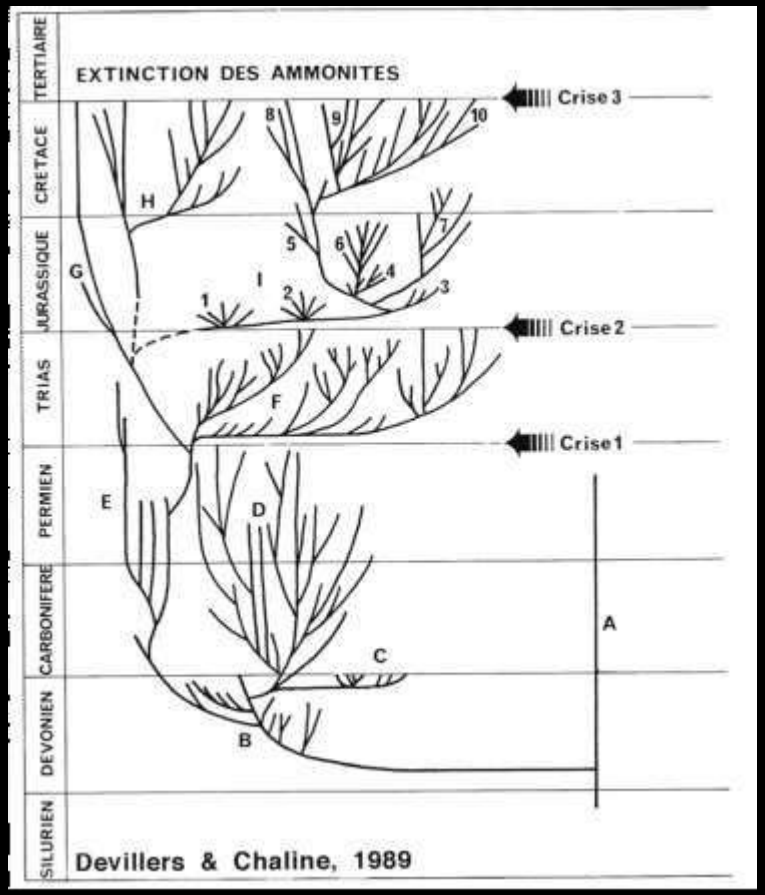


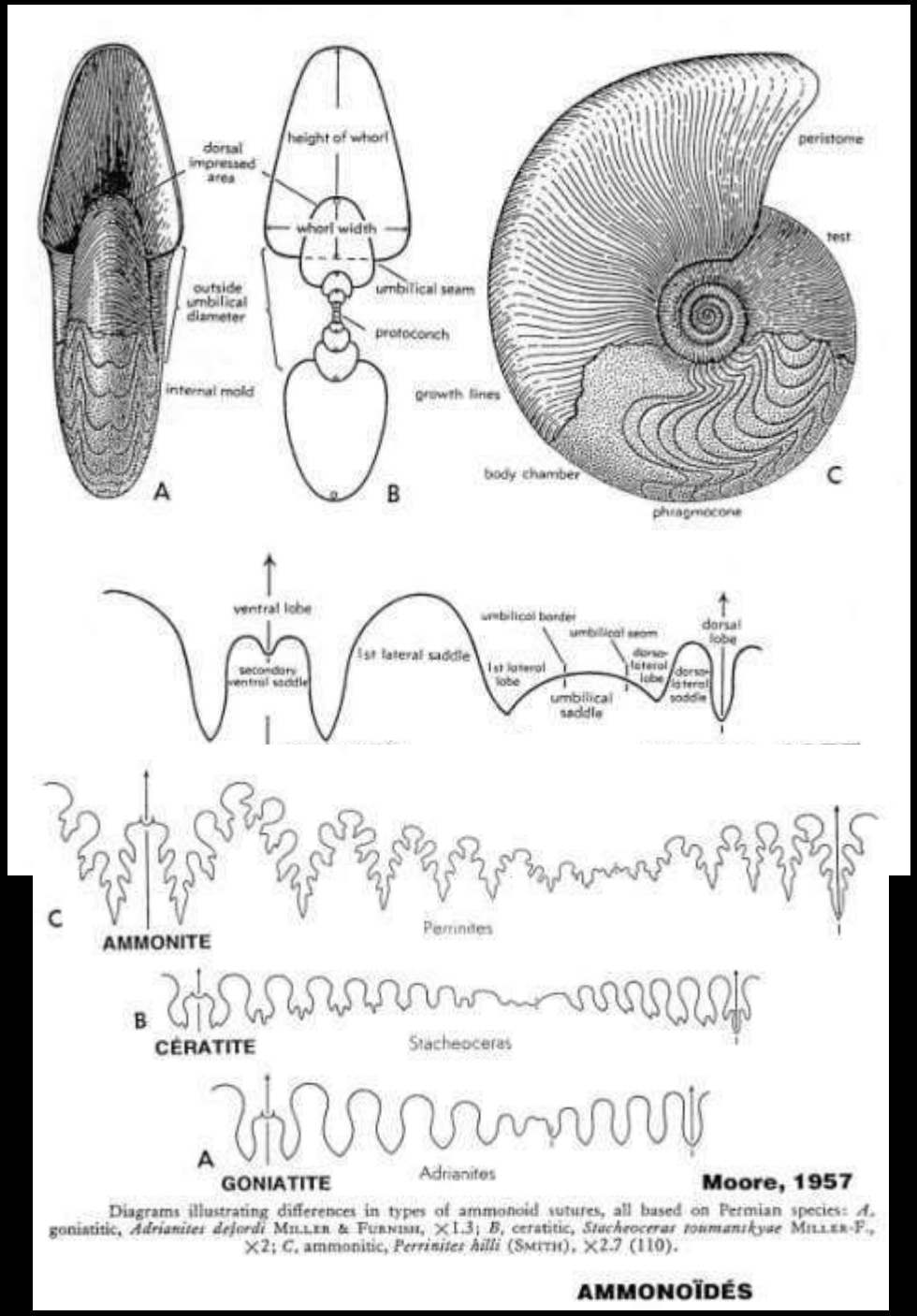
40% des disparitions sont dues aux petites crises (classe 0-5%) !

Crises = moteur de l'évolution

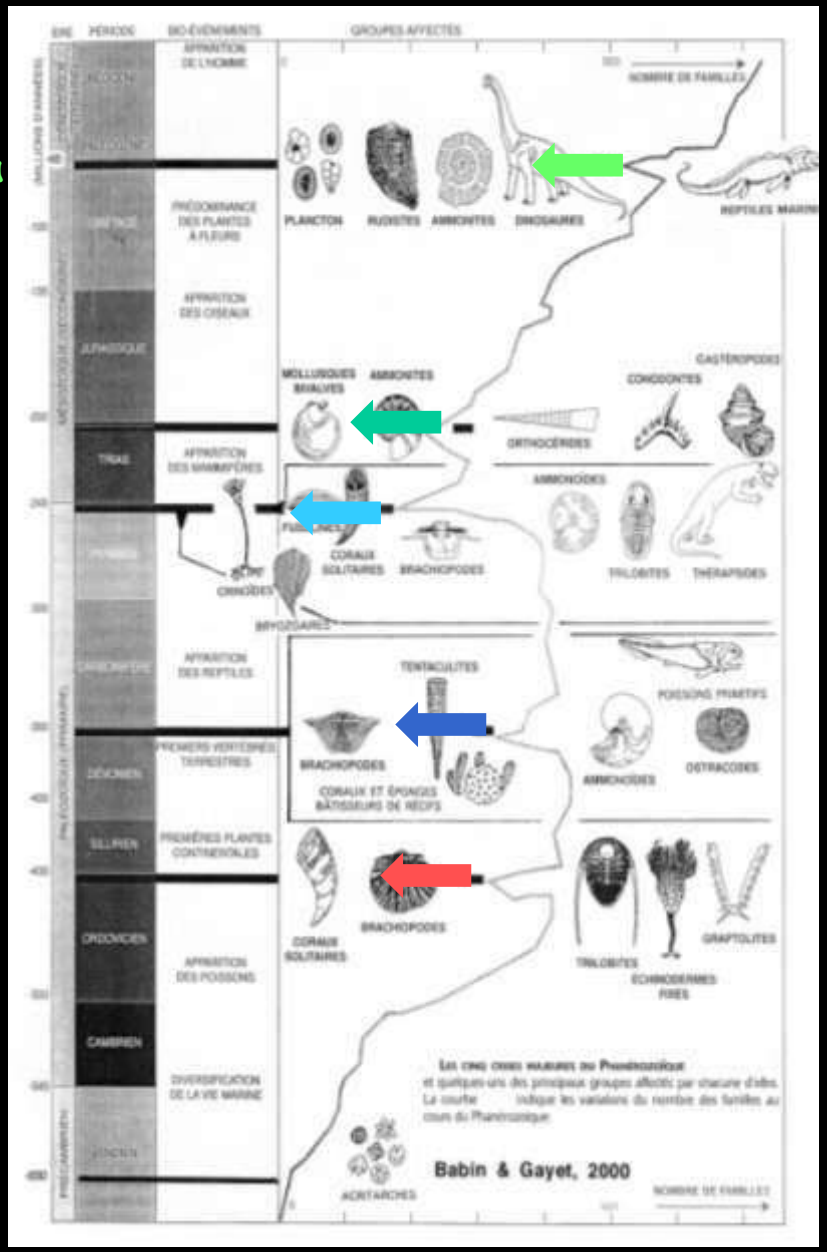


Exemple des ammonoïdes





Vue générale



Crétacé -Tertiaire: dinosaures (excep. Oiseaux), ammonites, bélemnites, rudistes, foraminifères planctoniques,…

Fin Trias: Orthoceras et Cératites

Fin Permien: Graptolithes, trilobites, tétracoralliaires, tabulés, Goniatites, Fusulines,…

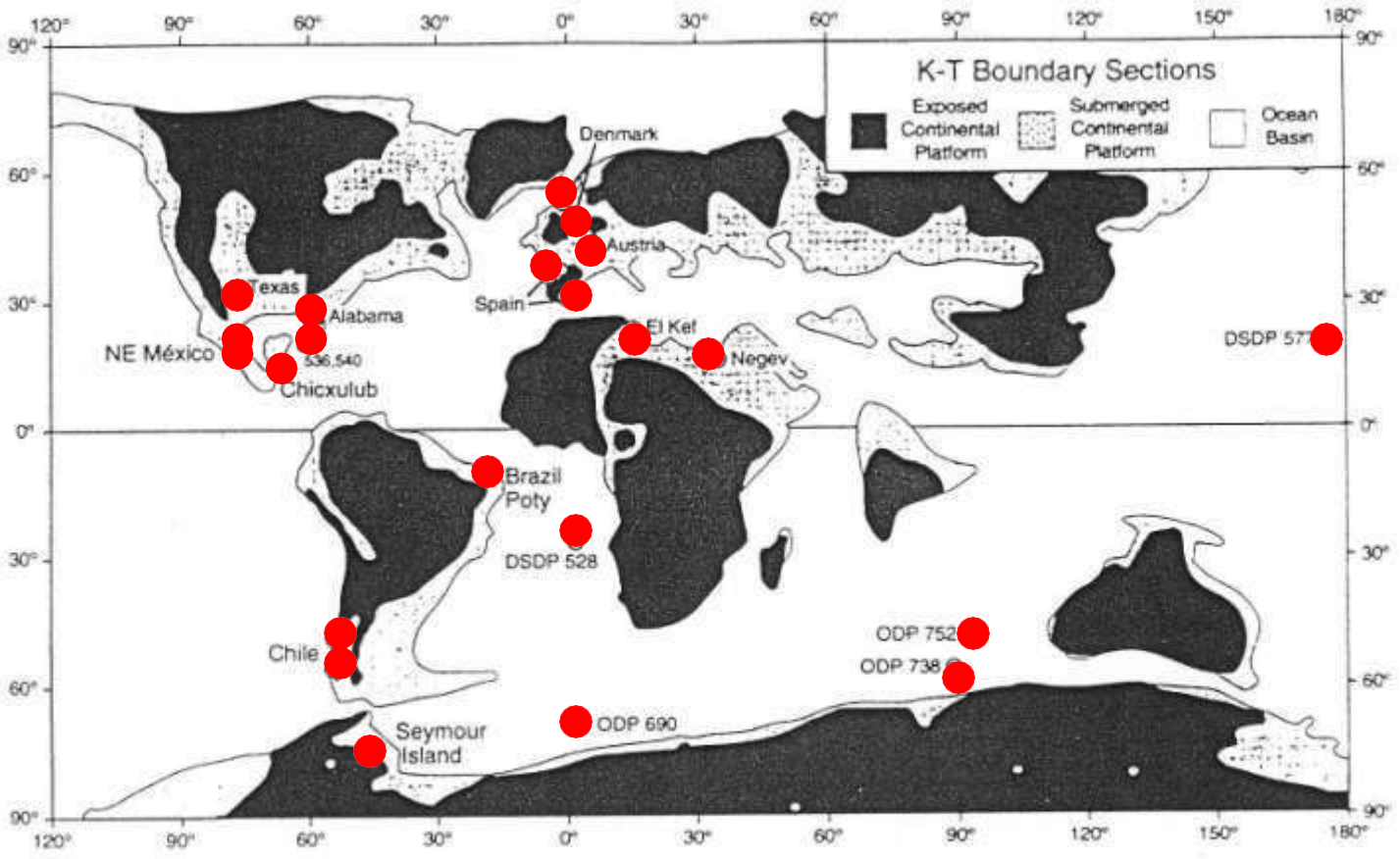
Dévonien sup. (Frasnien-Famennien): tentaculites

Fin Ordovicien: Graptolites, trilobites, céphalopodes, brachiopodes et échinodermes fixés

CRISE de la LIMITE CRETACE-TERTIAIRE

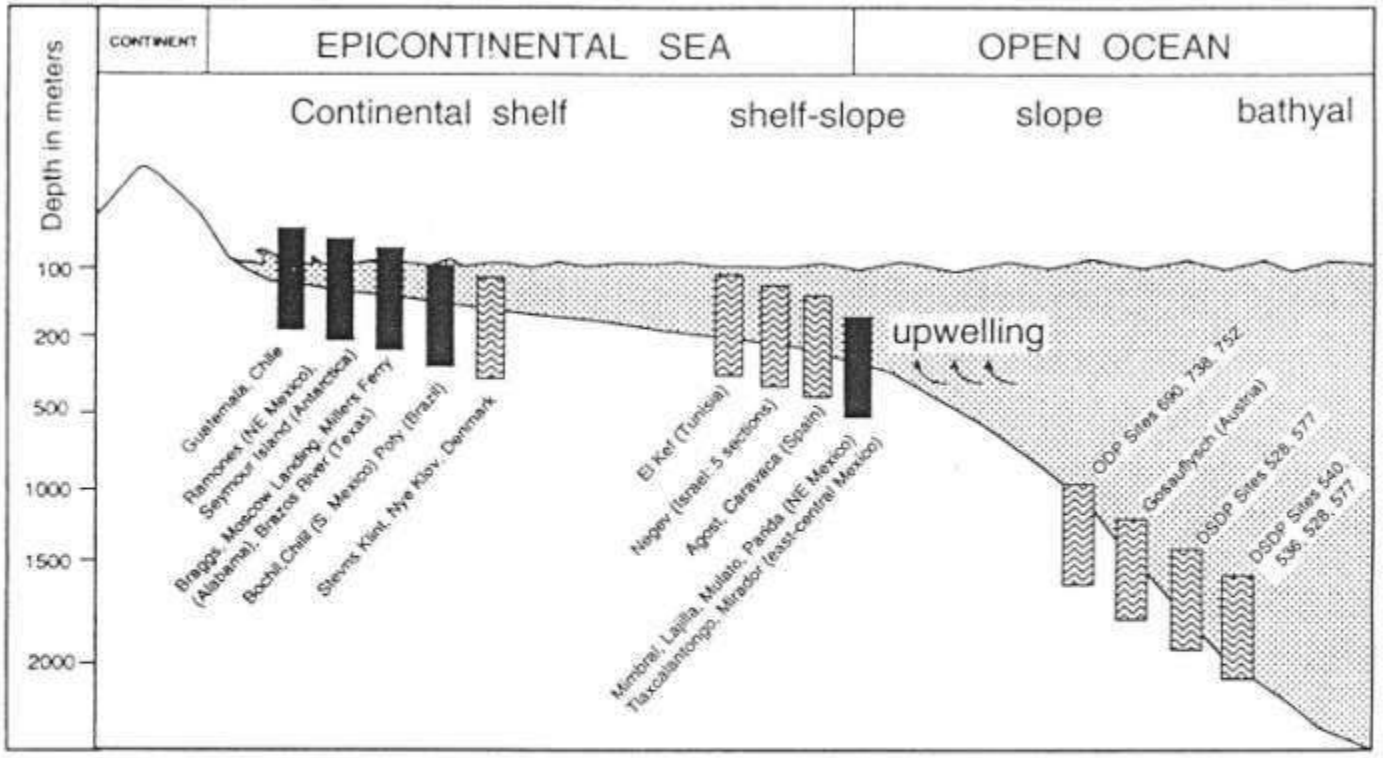
Erathem/ Ere	Système/ Période	Etage	Age	Incertitude
Cénozoïque	Paléogène	Danien	65,5	+/- 0,3
Mésozoïque	Crétacé	Maestrichien		

Observation à l'échelle mondiale



Location map of the most complete K-T boundary sections used in this study. Stipplea pattern marks submerged shallow continental shelf areas. Note that dots mark localities, many of which represent between 4 and 10 sections (e.g., Spain, Texas, Mexico, Negev). DSDP is Deep Sea Drilling Project, ODP is Ocean Drilling Program.

Observation en milieu marin



Depositional depths of K-T boundary sections span from shallow continental shelf (middle neritic) to the upwelling area of the shelf-slope break and to the deep open ocean. Note that deep-sea sections contain very condensed sedimentation across the K-T transition due to reduced sedimentation, dissolution, and sometimes erosion. ODP is Ocean Drilling Program, DSDP is Deep Sea Drilling Program.

Faits biologiques en milieu marin

	LIMITE CRETACE/ TERTIAIRE
Groupes concernés	•Ammonites •Bélemnites •Rudistes •Inocérames •Dinosaures s.l. •Plancton
Pourcentages de taxons disparus	Familles: 15-16% Genres: 40-50% Espèces marines: 75%

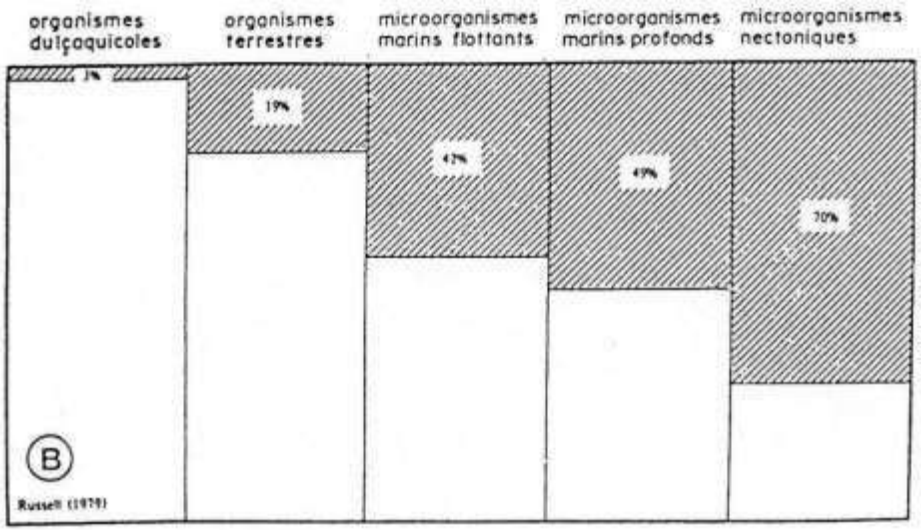
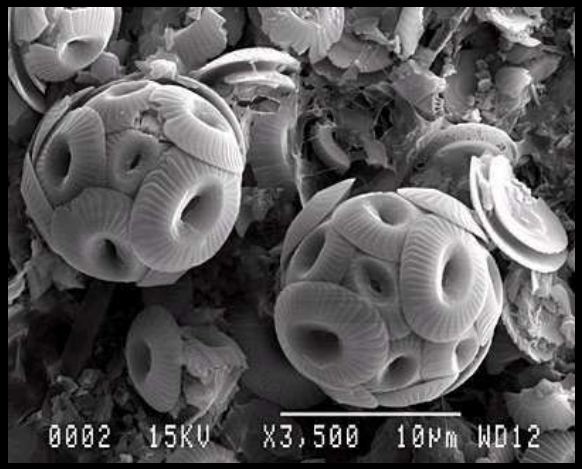


FIGURE 4

La crise paléontologique à la limite K/T. A : remplacement des Nannofossiles calcaires dans le forage DSDP 384 Atlantique N-W) B : décroissance de la diversité générique (d'après RUSSEL, 1979).

Haptophytes

(Ex. Coccolithophoridés)



Flagellés unicellulaires photosynthétiques:

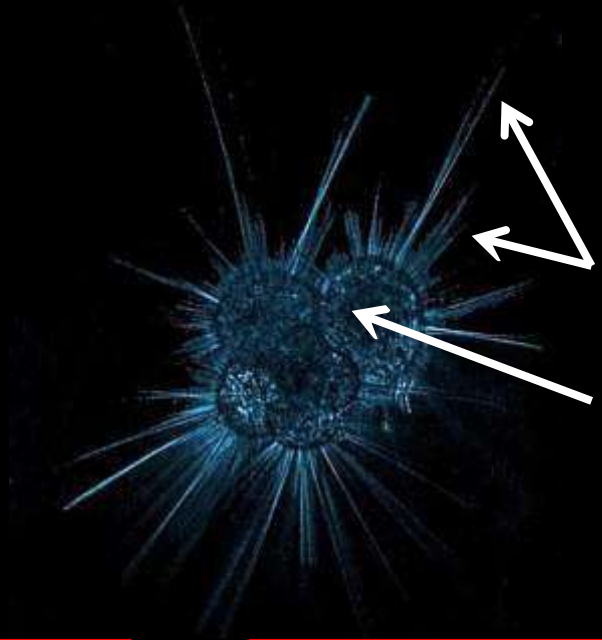
- à exosquelettes composés de pièces calcaires dures, appelées Coccolithes
- forme le nannoplancton marin

Coccolithes dissociées après la mort de l'individu > formation de la Craie

Craie des falaises du Boulonnais

Foraminifères planctoniques

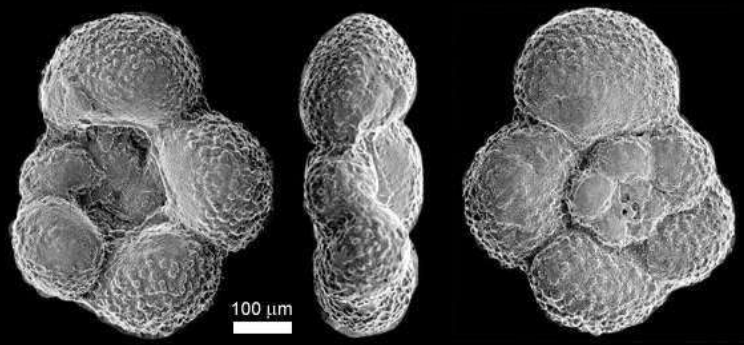
- Unicellulaires
- Taille millimétrique
- Test trochospiralé
- 1 ouverture simple



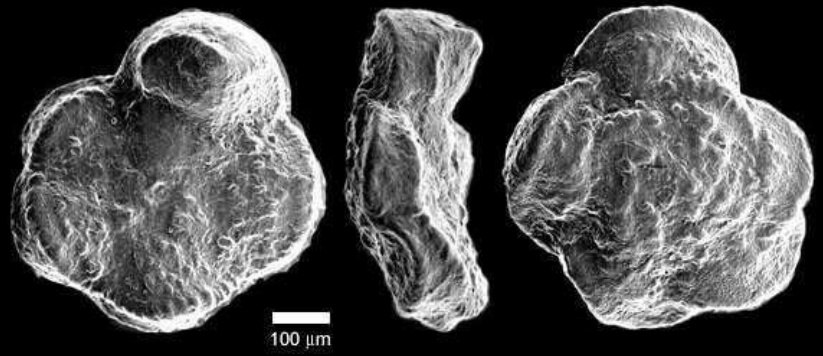
pseudopodes

Coquille à test hyalin composée de loges perforées

Globigérines

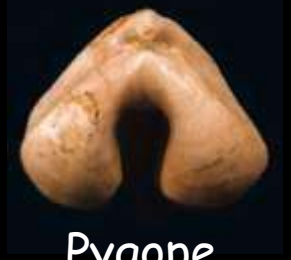


Globotruncana

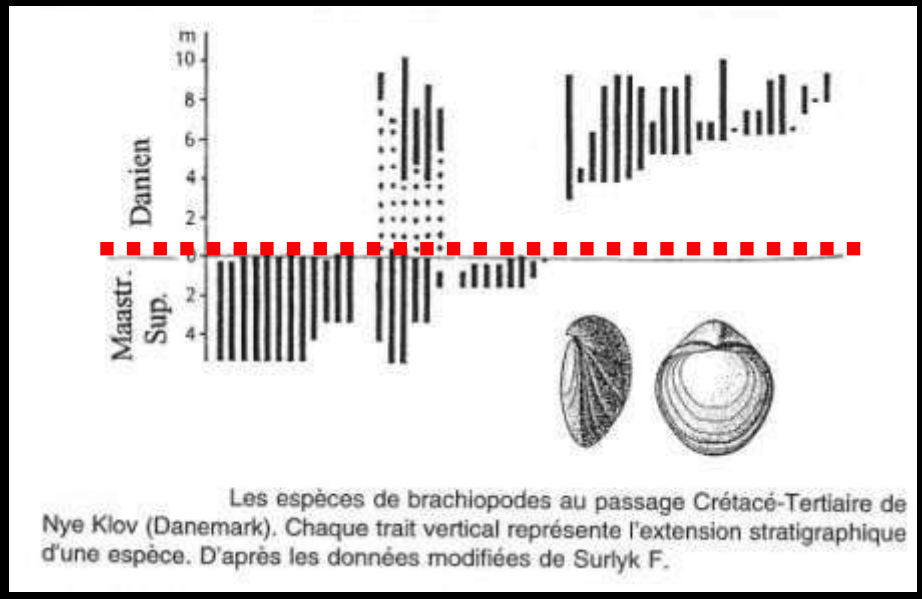


Brachiopodes

Cyclothyris



Pygope

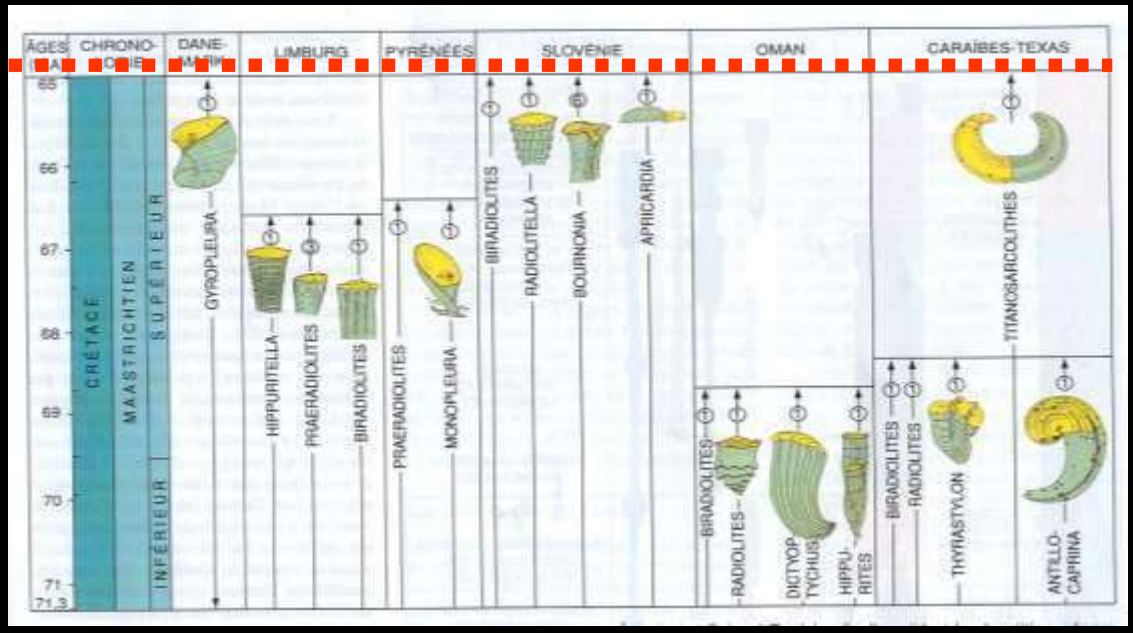


Les espèces de brachiopodes au passage Crétacé-Tertiaire de Nye Klov (Danemark). Chaque trait vertical représente l'extension stratigraphique d'une espèce. D'après les données modifiées de Surlyk F.

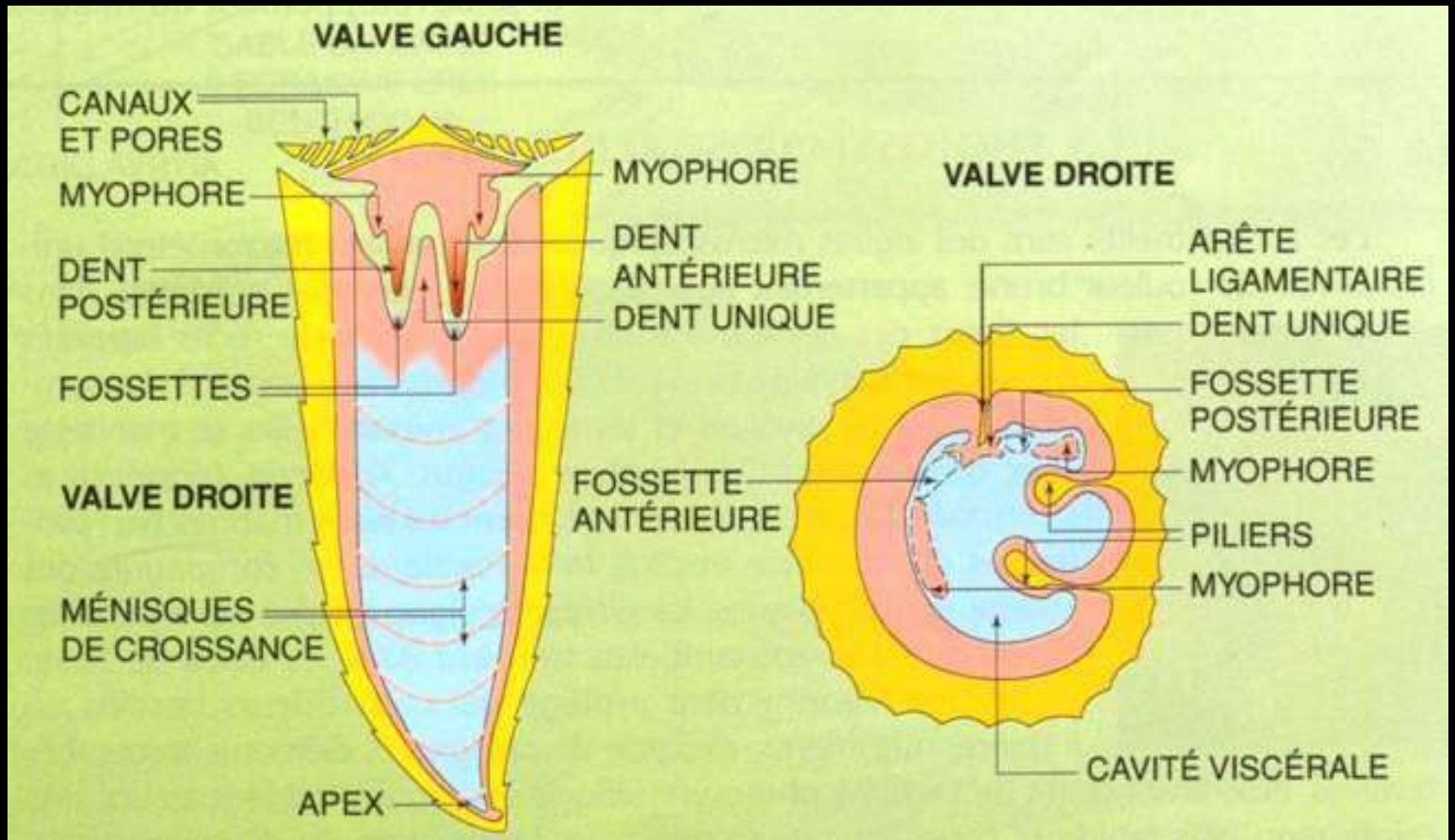
Rudistes

Hippurites

Radiolites

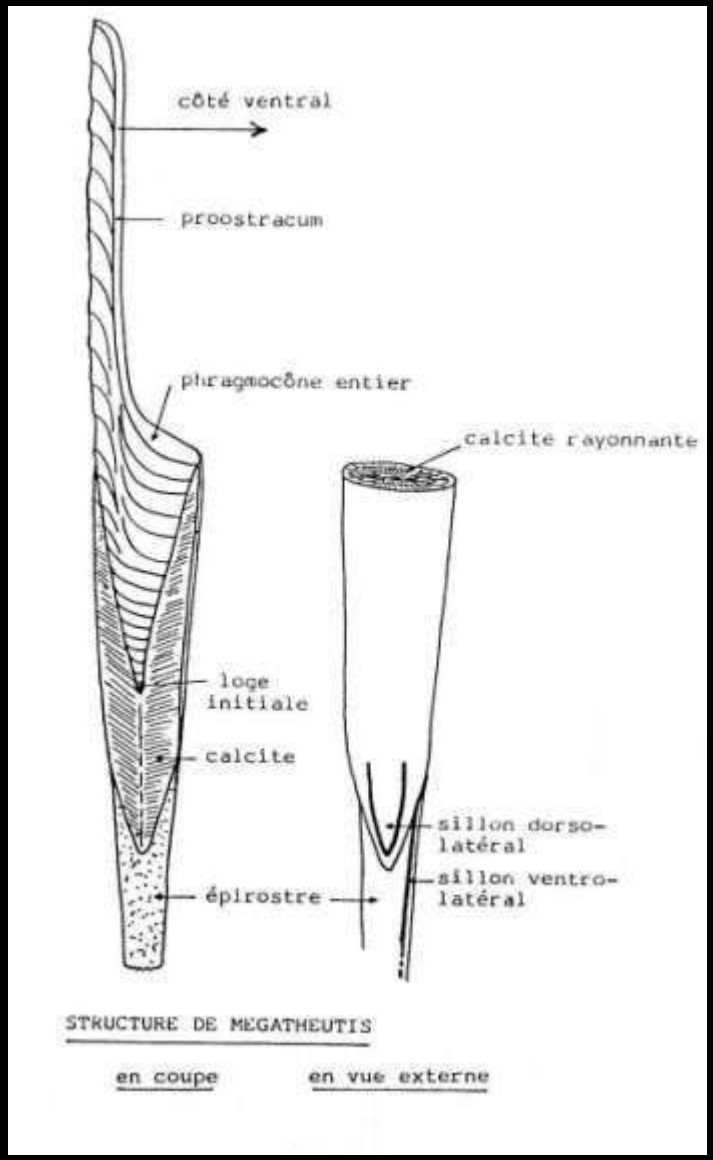


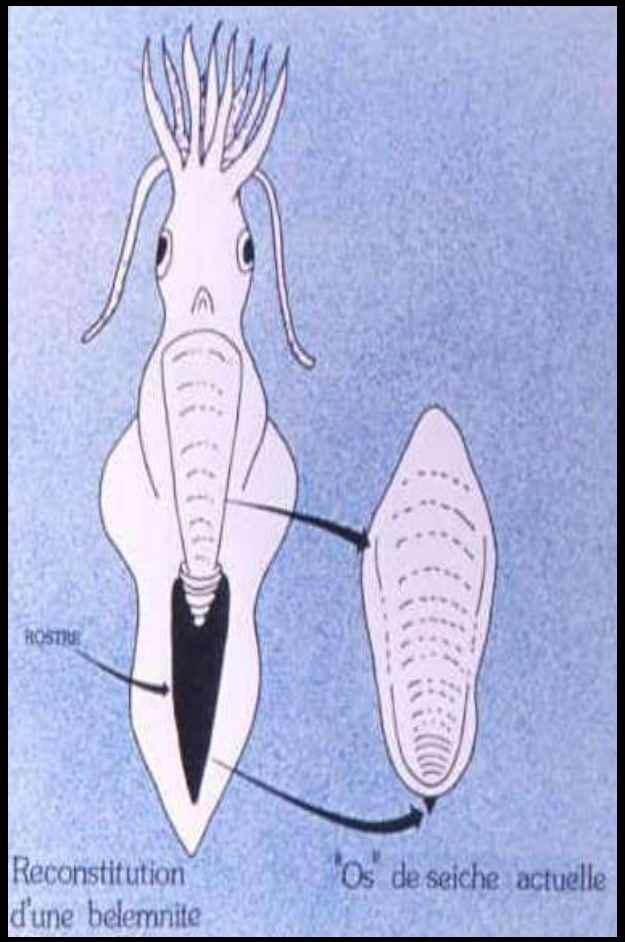
Rudistes



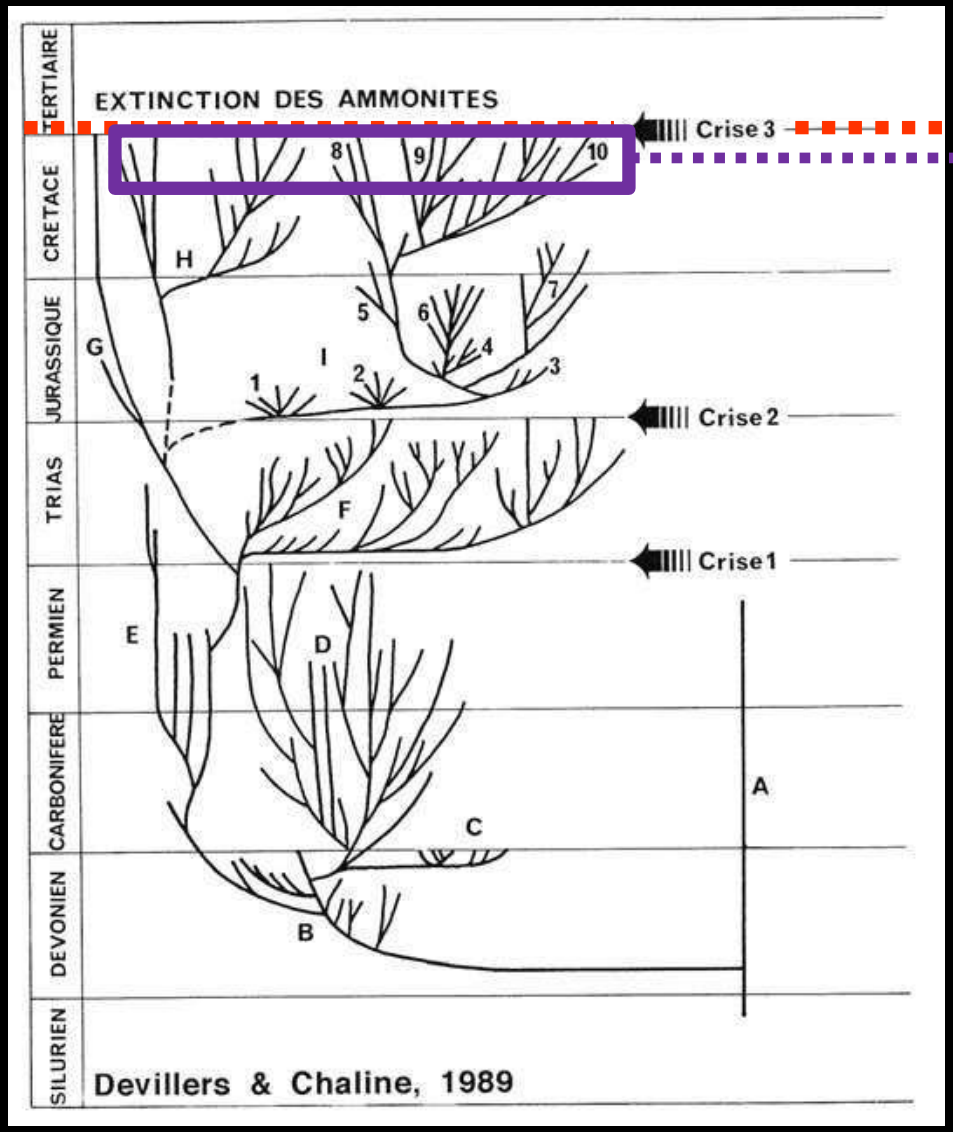
Coupes longitudinale* (à gauche) *et transversale* (à droite) *d'une coquille de rudiste de la famille des* Hippuritidae. *La couche calcitique de la coquille est en jaune, les couches aragonitiques en rose. La masse viscérale était enfermée dans une cavité* (en bleu). *Le rudiste, fixé par l'apex, croissait verticalement. Les couches en ménisques (dénommées* tabulae*) jalonnent les différentes étapes de la croissance (d'après R. Cestari et D. Sartorio, modifié).

Belemnites


côté ventral
proostracum
phragmocône entier
calcite rayonnante
loge initiale
calcite
sillon dorso-latéral
sillon ventro-latéral
épirostre
STRUCTURE DE MEGATHEUTIS
en coupe
en vue externe

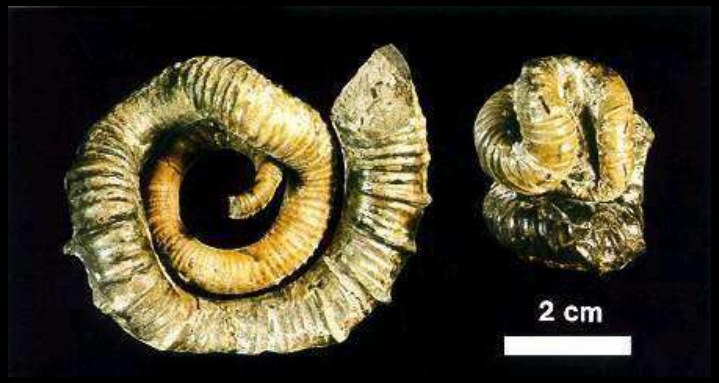

ROSTRE
Reconstitution d'une belemnite
"Os" de seiche actuelle

Ammonites



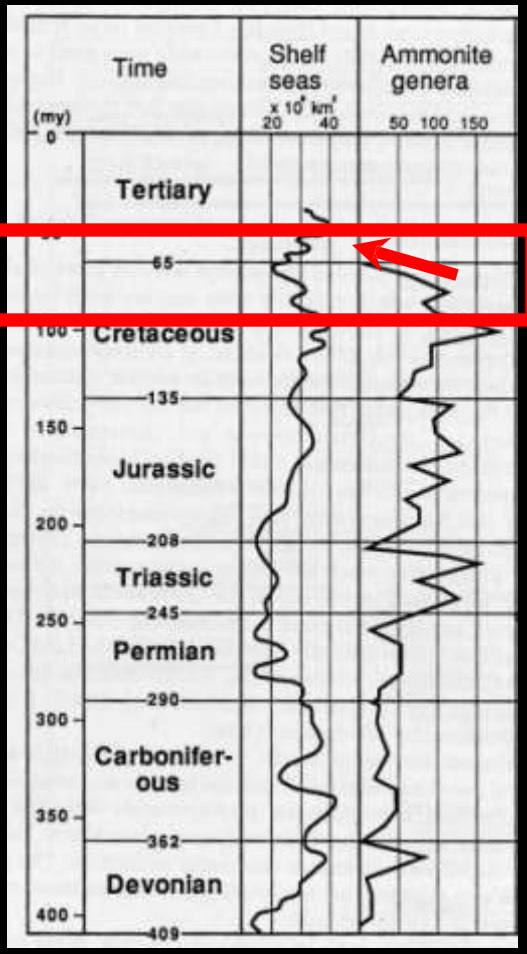
Baculites

Nostoceras



Nipponites

Extinction des ammonites : déclin continu sur une longue période

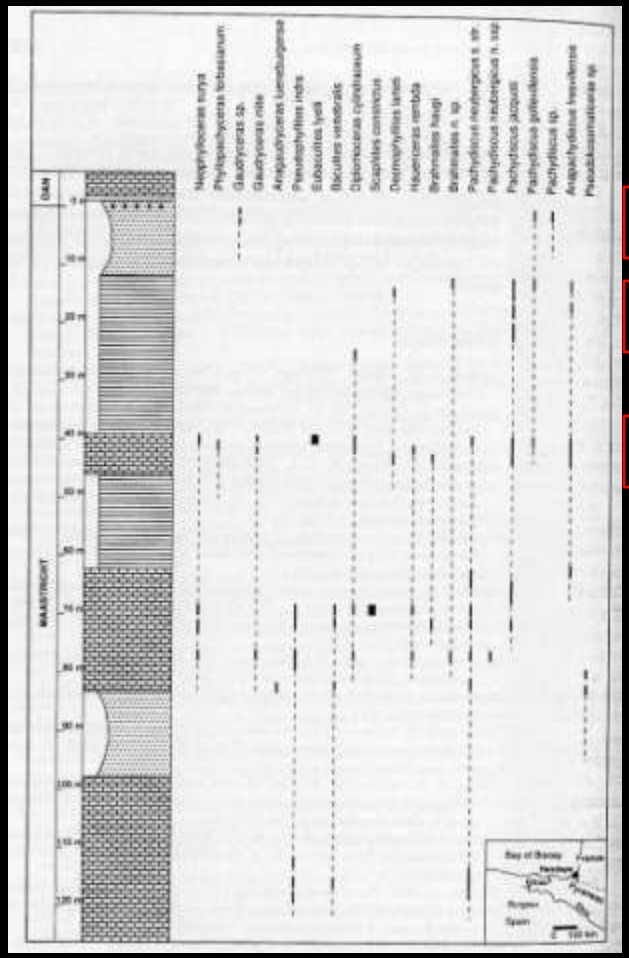


3 genres d'ammonites

50 genres d'ammonites

100 genres d'ammonites

baisse de la diversité



3

5

13

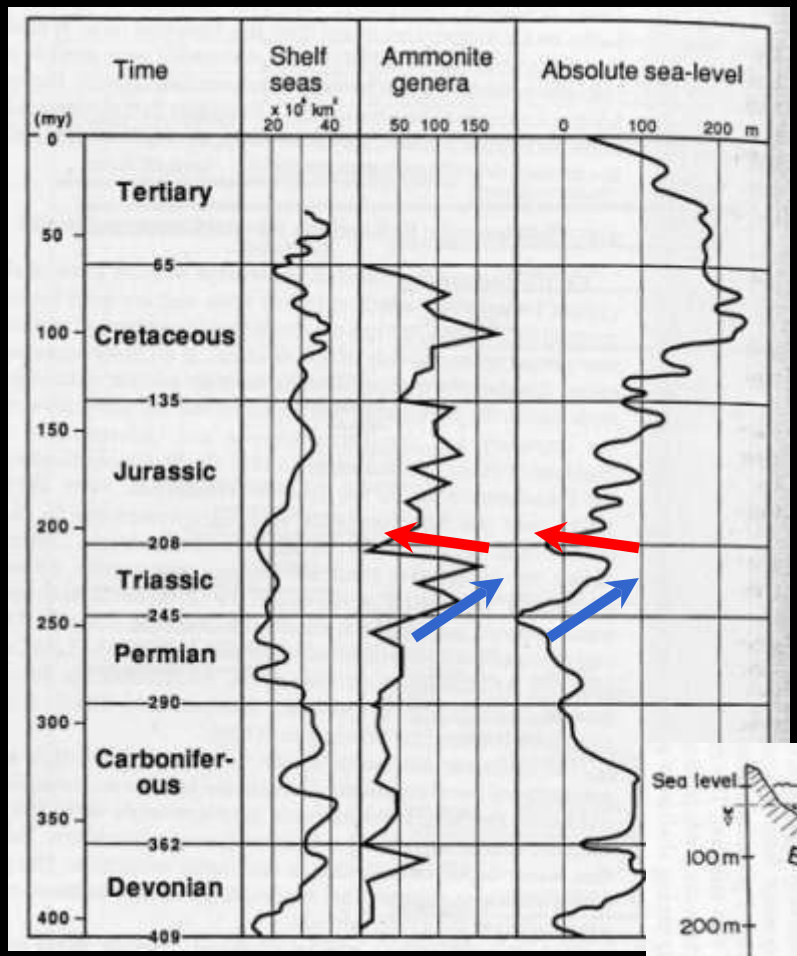
Coupe de Bidart (France)

\+

baisse du taux d'évolution

(Landman, 1996)

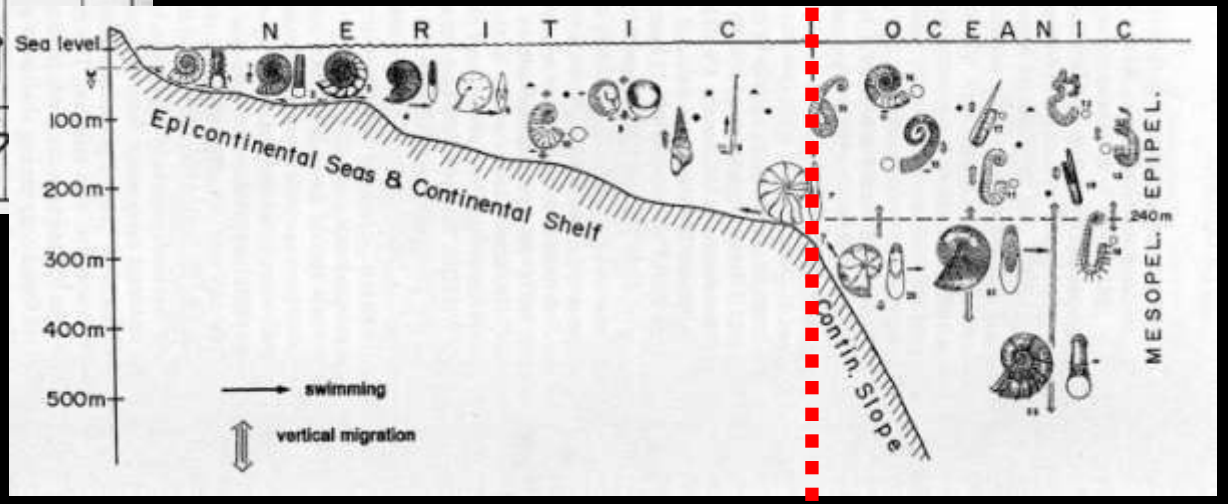
Ammonites : crise de la diversité liée aux variations du niveau marin



régressions > crises

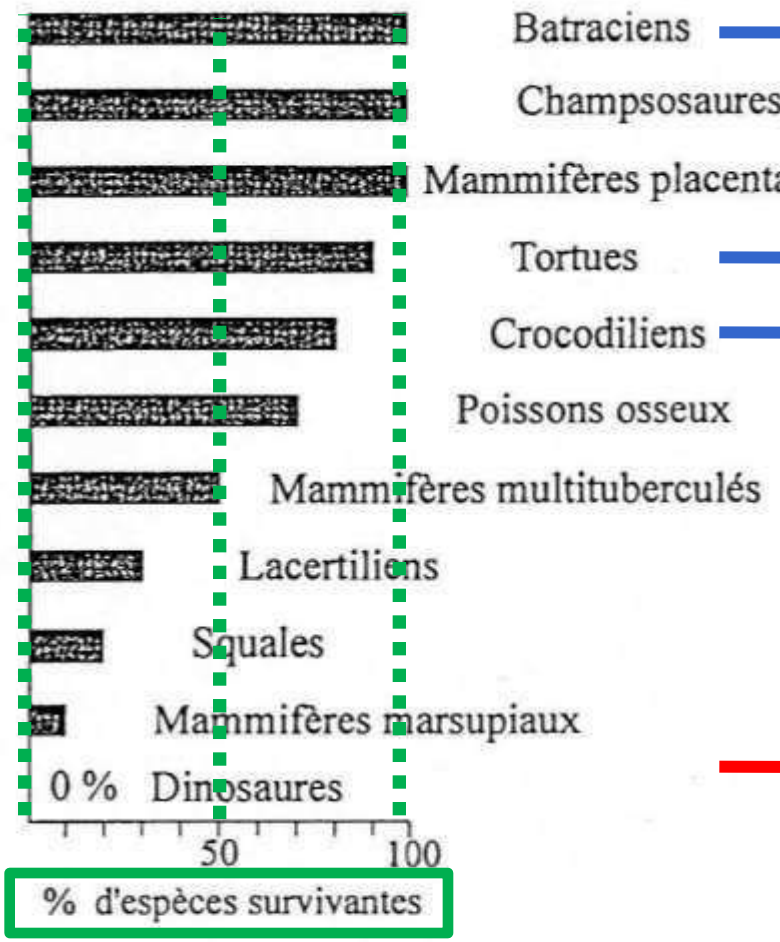
transgressions > radiations

Phylloceras et Lytoceras, derniers survivants



Faits biologiques en milieu continental

Vertébrés



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).

Petite taille

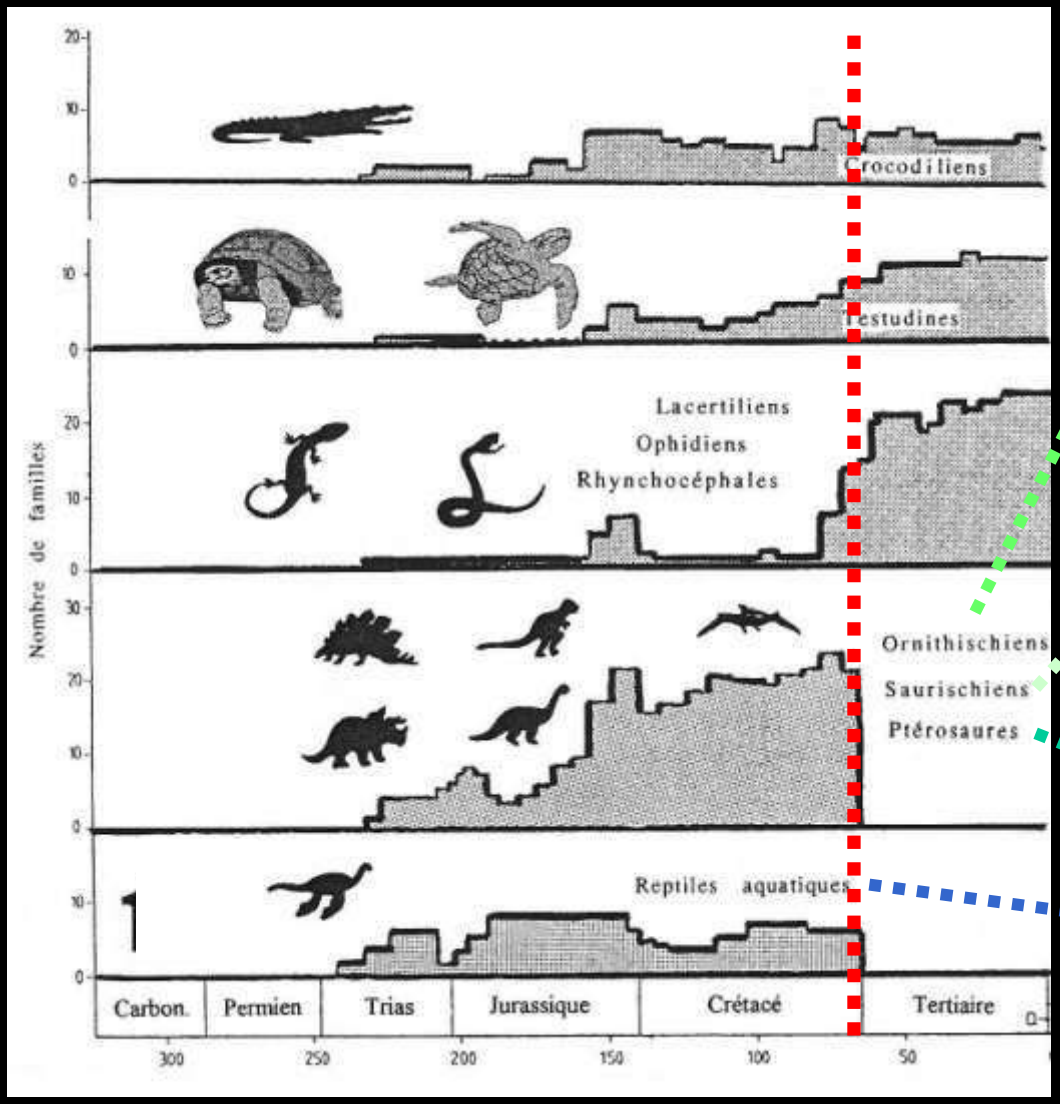
Eau douce (consommation M.O.)

Hétérothermie

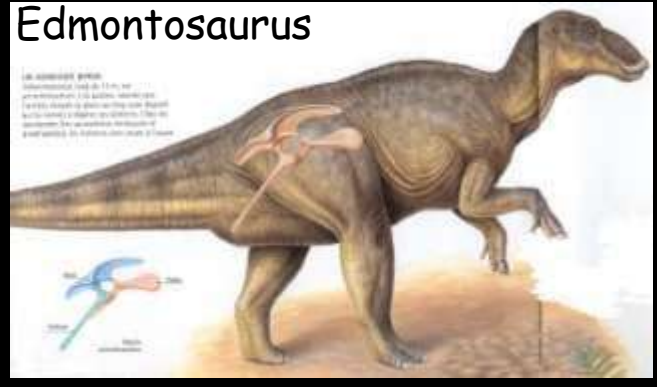
Détérioration, dérive génétique, maladies (virus), parasitisme,...

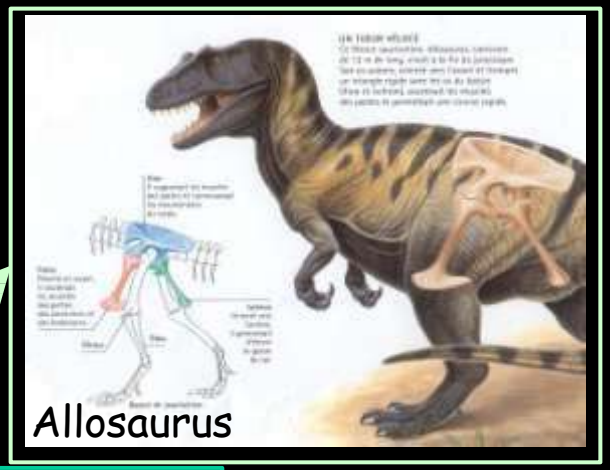
Faits biologiques en milieu continental

Reptiles

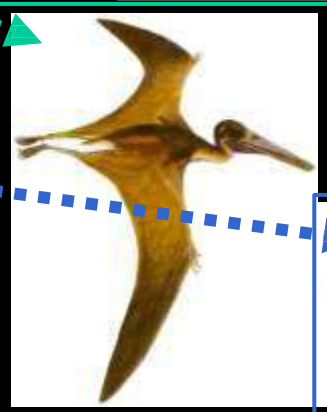


Edmontosaurus





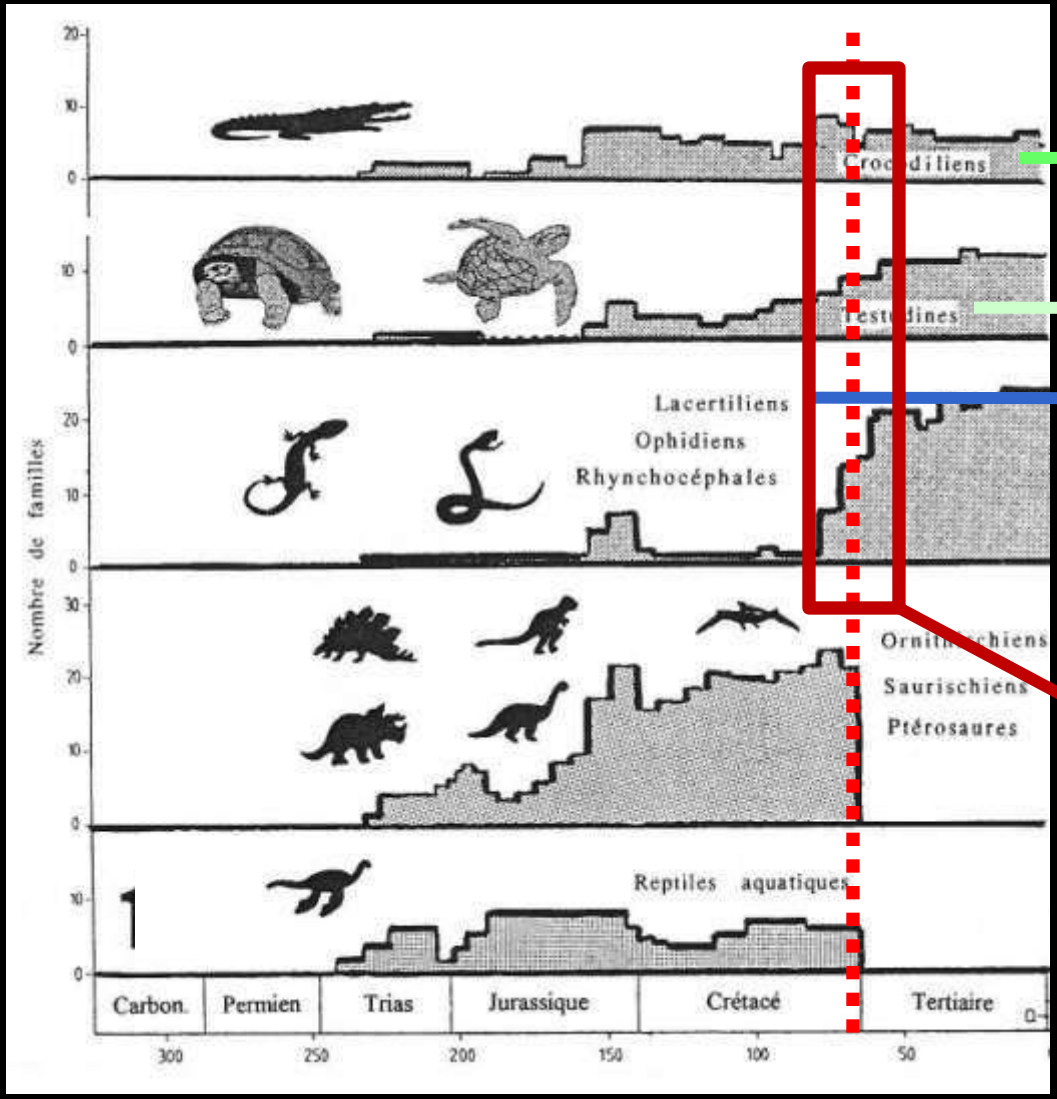
Ptérodactylus



Ichthyosaurus

Faits biologiques en milieu continental

Reptiles



Familles de crocodiles
Extinction = 37%

Familles de cheloniens
Extinction = 26%

Familles de lézards, serpents,...
Extinction = 6%

Renouvellement des familles

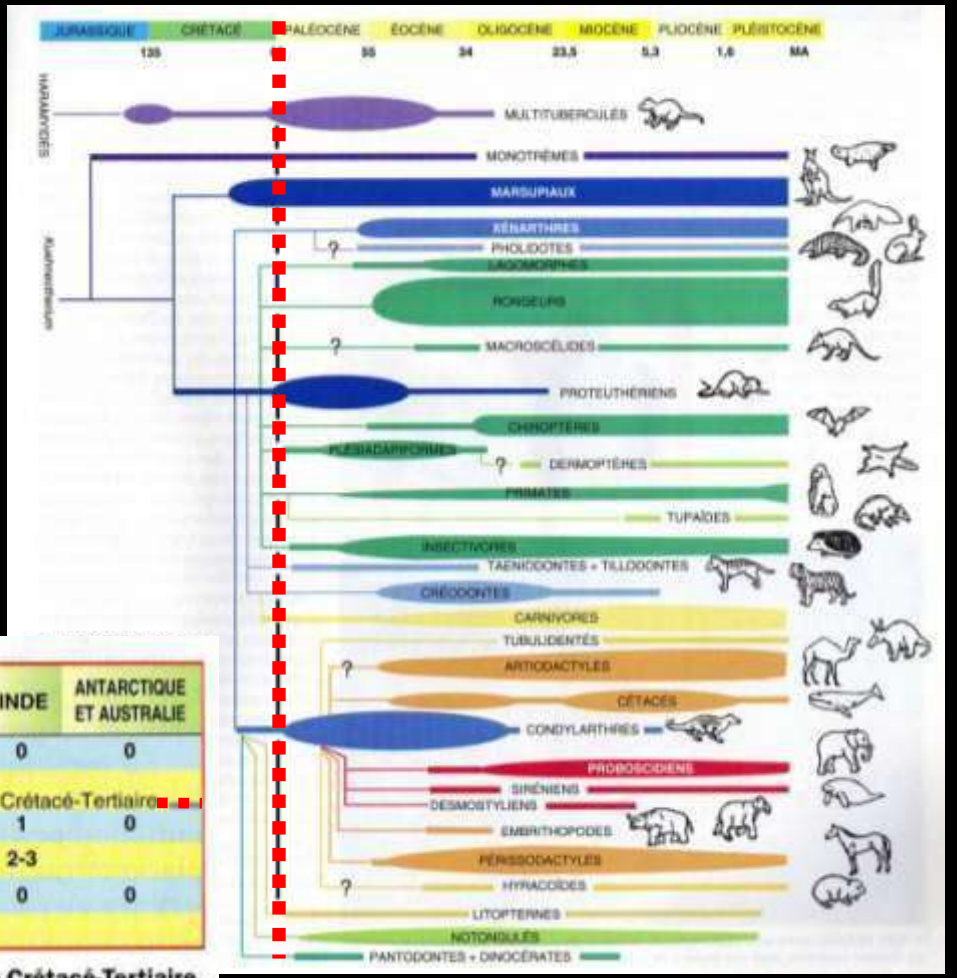
Faits biologiques en milieu continental

Vertébrés

Groupe	Familles présentes	Familles éteintes	Taux d'extinction
Chondrichthyens (Requins & Raies)	44	8	18
Poissons osseux	50	6	12
Amphibiens	11	0	0
Chéloniens (Tortues)	15	4	27
Lacertiliens (Lézards et Serpents)	16	1	6
Crocodiliens	14	5	36
Ptérosauriens (« reptiles volants »)	2	2	100
Plésiosauriens (« reptiles marins »)	3	3	100
Dinosauriens sauf Oiseaux	21	21	100
Oiseaux	12	9	75
Mammifères	22	5	23
Groupes « primitifs »	11	1	9
Marsupiaux	4	3	75
Placentaires	7	1	14
Total des Vertébrés	210	64	30
Poissons	94	14	15
Tétrapodes	116	50	43
Amniotes	105	50	48

Faits biologiques en milieu continental

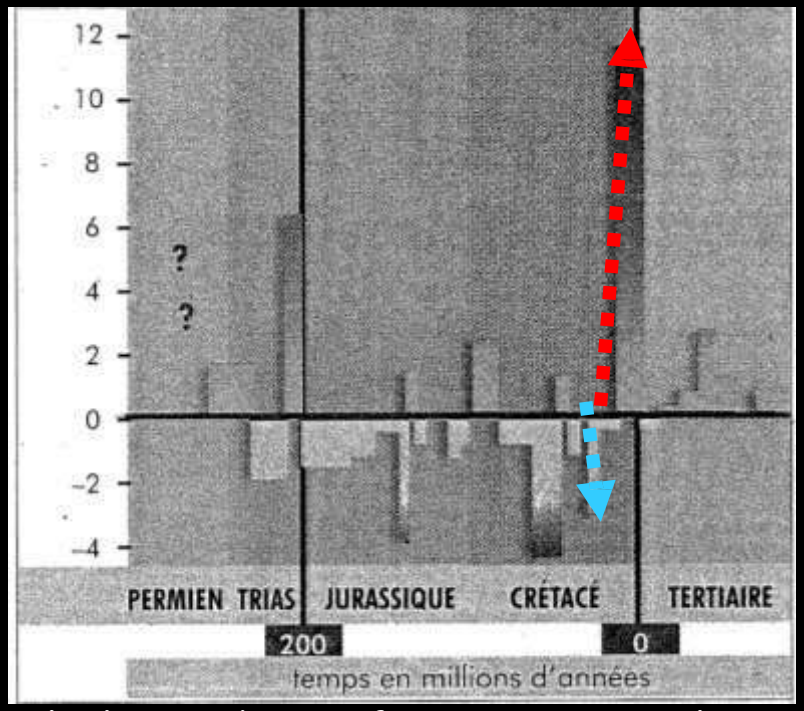
Essor des mammifères



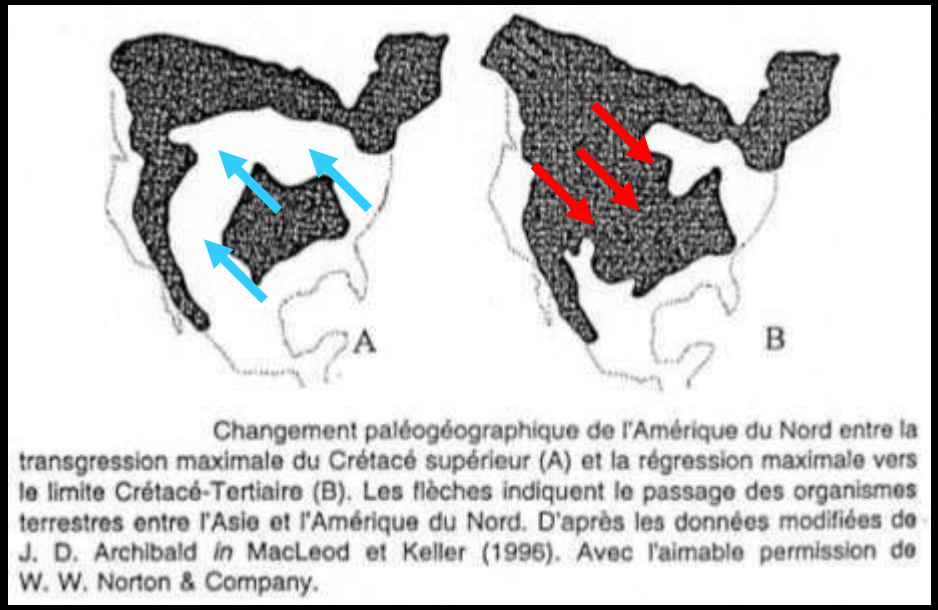
GISEMENTS / ESPÈCES	EUROPE	ASIE	AMÉRIQUE DU NORD	AMÉRIQUE DU SUD	AFRIQUE	MADAGASCAR	INDE	ANTARCTIQUE ET AUSTRALIE
PALÉOCÈNE	5	125	>100	20	1	0	0	0
	50-68	>113	>450	>50	>23			
Limite Crétacé-Tertiaire								
MAASTRICHTIEN-CAMPANIEN	6	>8	>40	6	0	1	1	0
	5-14	>20	107-227	17-37		>1	2-3	
SANTONIEN-CÉNOMANIEN	0	>8	>6	0	0	0	0	0
		>18	6-29					

5. NOMBRES de gisements et d'espèces mammifères connus au passage Crétacé-Tertiaire.

Faits géologiques: transgression - régression marines

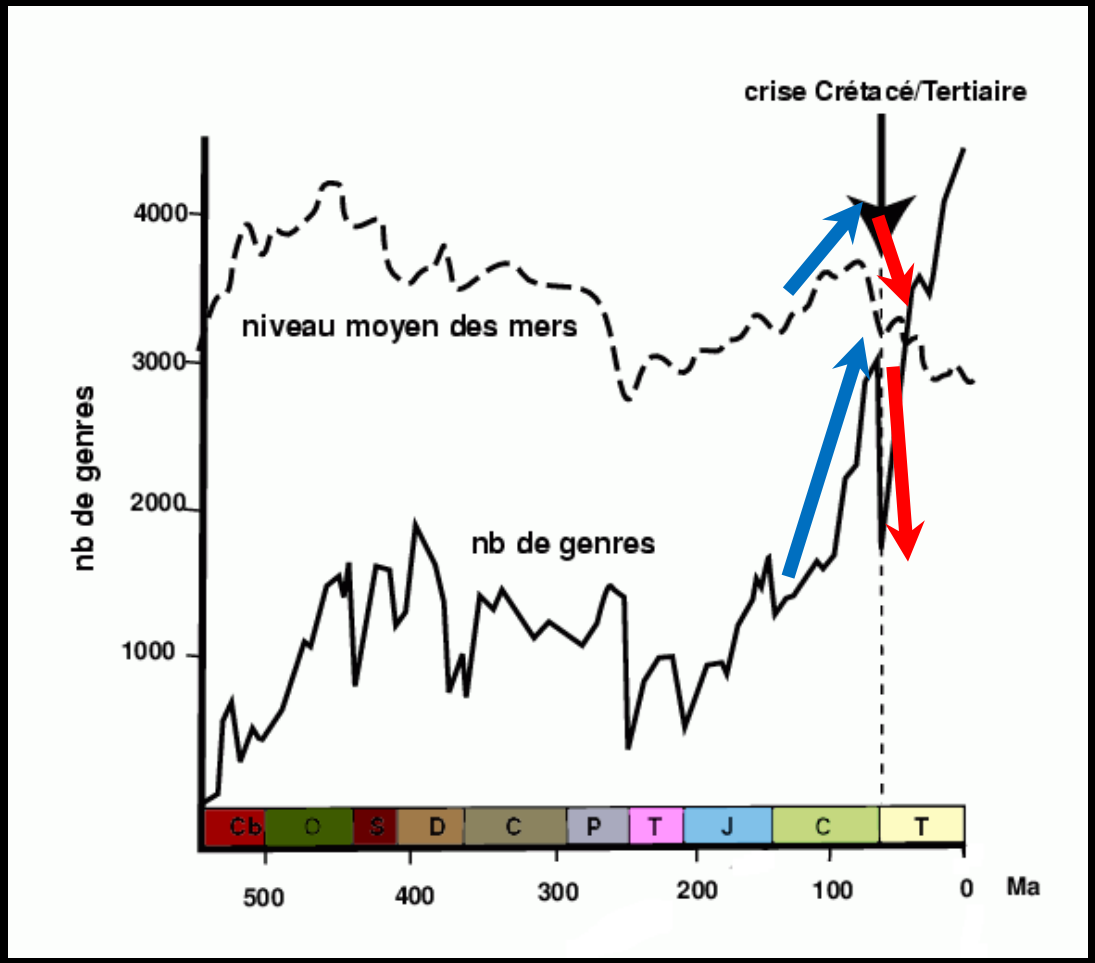


évolution des surfaces continentales
(en millions de m^2)



Changement paléogéographique de l'Amérique du Nord entre la transgression maximale du Crétacé supérieur (A) et la régression maximale vers le limite Crétacé-Tertiaire (B). Les flèches indiquent le passage des organismes terrestres entre l'Asie et l'Amérique du Nord. D'après les données modifiées de J. D. Archibald *in* MacLeod et Keller (1996). Avec l'aimable permission de W. W. Norton & Company.

Faits géologiques : régression marine



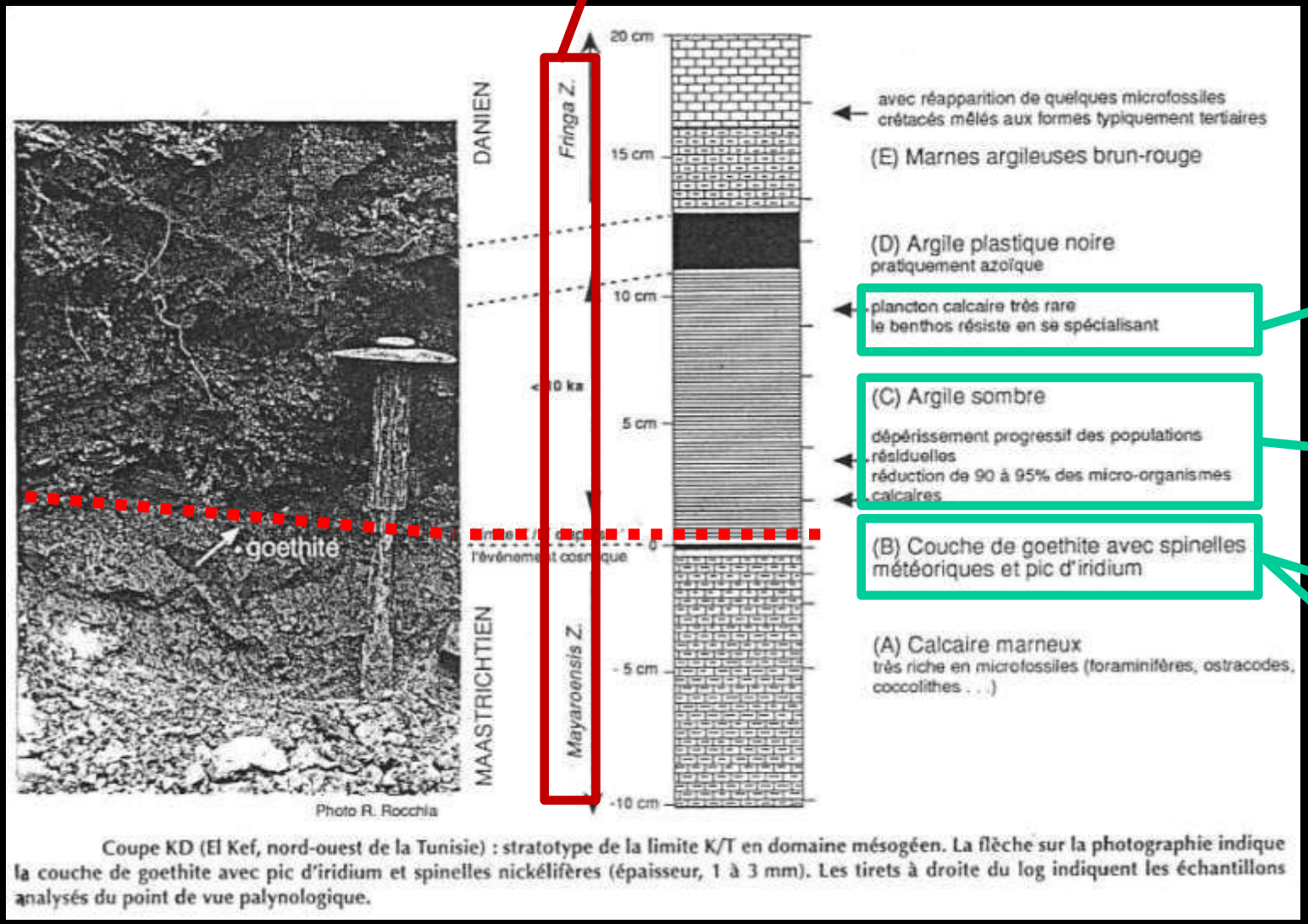
transgression crétacée

- Forte augmentation de la surface des plateaux continentaux
- Moins de compétition
- Augmentation de la biodiversité

régression fini-crétacée

- Forte diminution de la surface des plateaux continentaux: **29 millions de km^2 découverts**
- Crise de la biosphère

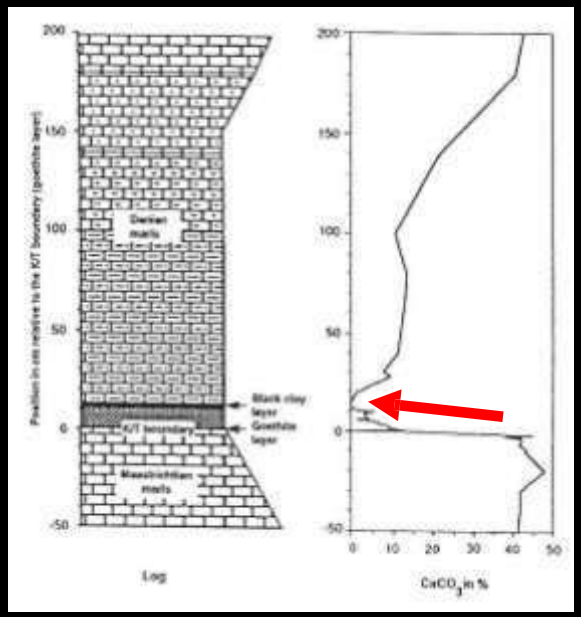
Faits géologiques: le stratotype de la coupe d'El Kef (Tunisie)



Coupe KD (El Kef, nord-ouest de la Tunisie) : stratotype de la limite K/T en domaine mésogéen. La flèche sur la photographie indique la couche de goethite avec pic d'iridium et spinelles nickélifères (épaisseur, 1 à 3 mm). Les tirets à droite du log indiquent les échantillons analysés du point de vue palynologique.

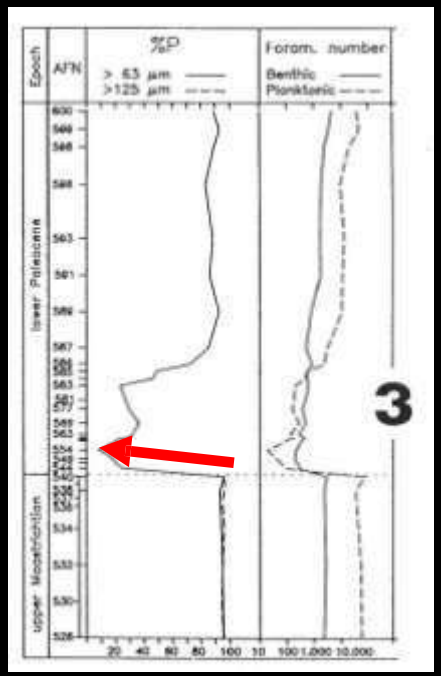
Stratotype = coupe étalon de servant de référence pour la définition et la reconnaissance d'une unité (chrono-)stratigraphique et de ses limites.

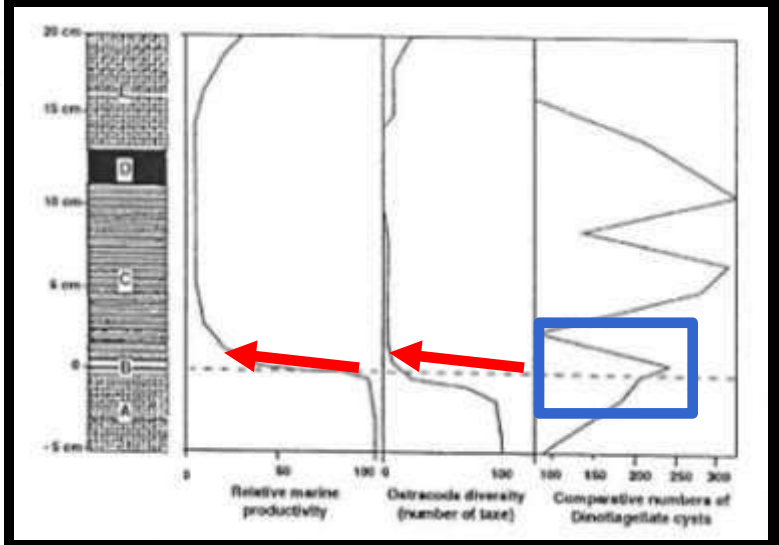
Chute du % de $CaCO_3$ et apparition d'une sédimentation argileuse



> baisse de la température de l'eau et diminution de la photosynthèse (crise de la chaine alimentaire)

Chute du $\delta^{13}C$

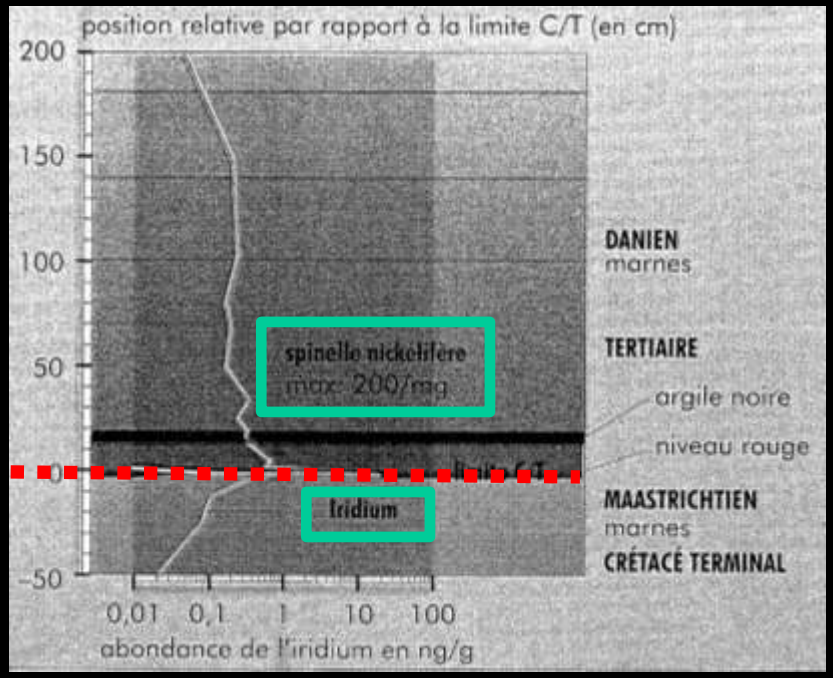


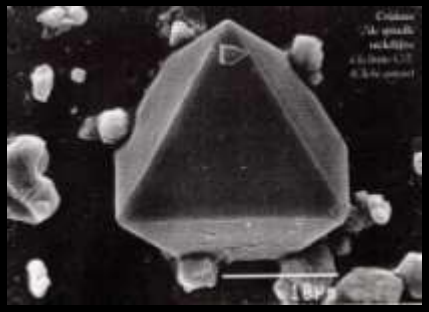


> diminution de la photosynthèse

Horizon riche en spinelles nickélifères

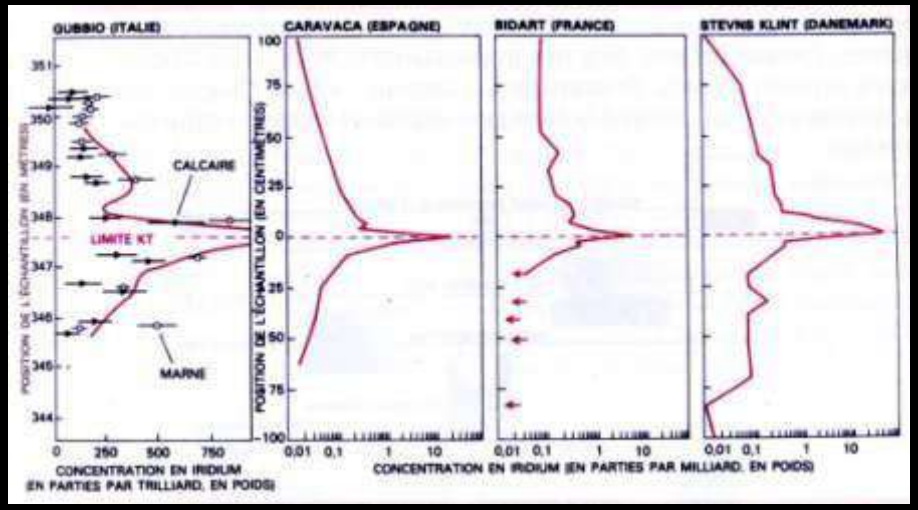
(cristaux formés lorsque les météorites rentrent dans l'atmosphère)



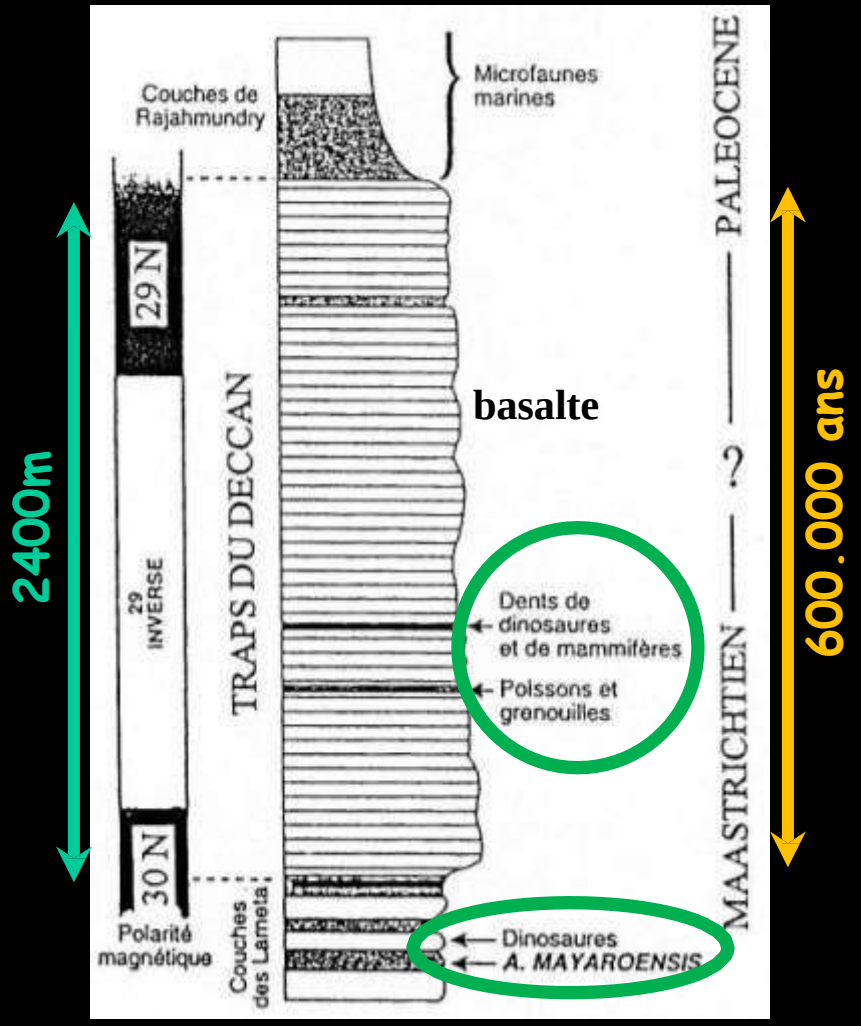


Pic d'Iridium

(travaux d'Alvarez et fils, années 1980)



Volcanisme intense des trapps du Deccan



INTENSITE: épaisseur moyenne de 2400 m, surface comparable à celle de la France !

AU MOMENT DE LA CRISE: l'âge radiométrique des laves = âge de la limite C-T.

« INSTANTANE »: paléomagnétisme montre que l'ensemble du plateau basaltique s'est édifié pendant l'inversion 29R, ce qui donne une durée très «courte» de 600 000 ans

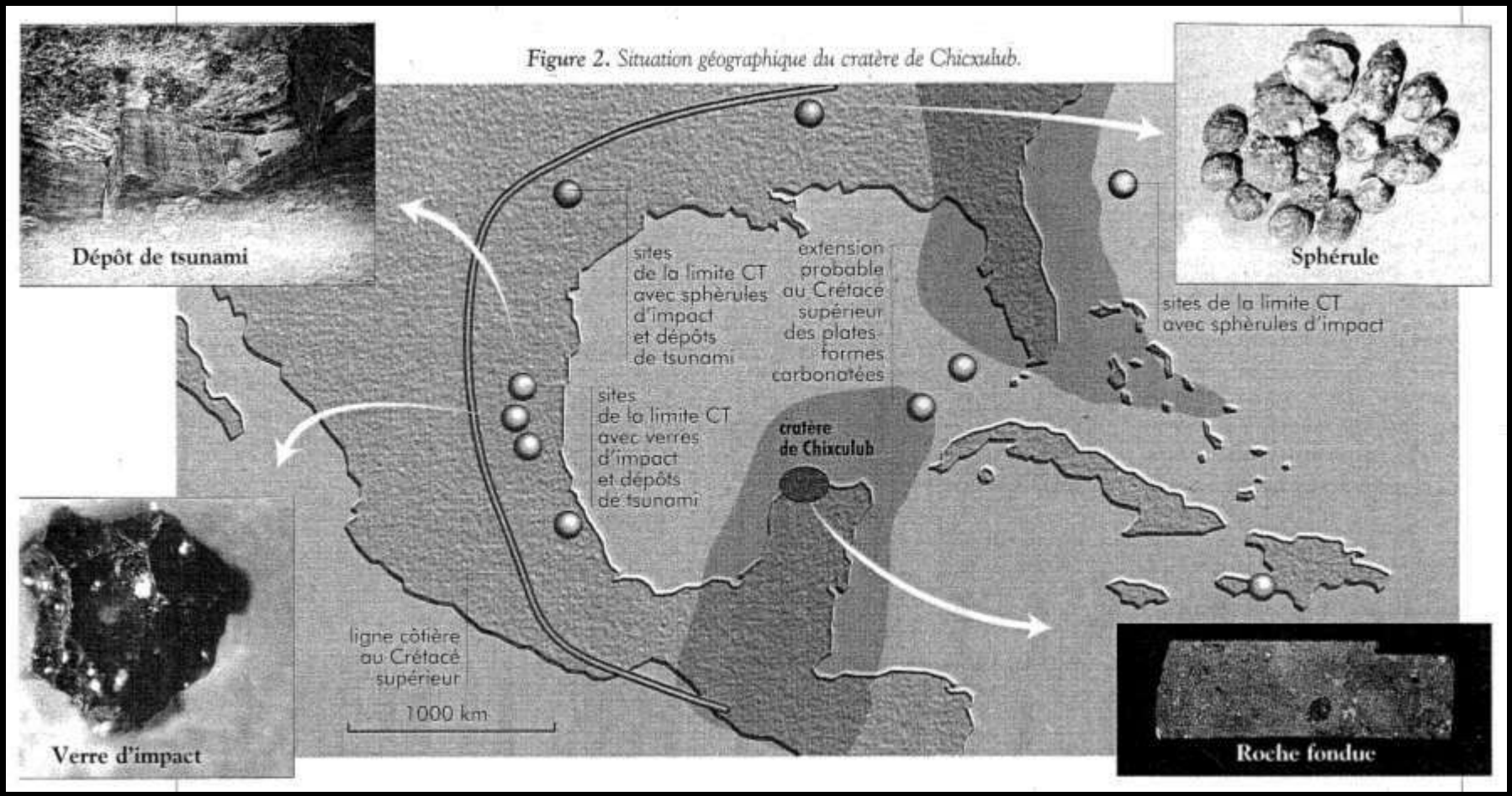
Proposition de scénario

1) Baisse du taux d'expansion océanique > baisse du niveau eustatique global > régression marine > forte crise des organismes des milieux récifaux

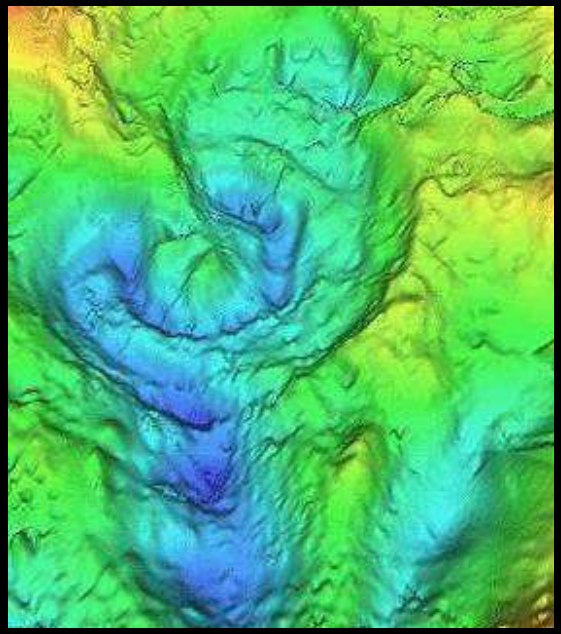
2) Mise en place de points chauds et production de grandes éruptions volcaniques > poussières volcaniques dans la haute atmosphère > réduction de la luminosité > pluies acides et production de SO_2 par les volcans > refroidissement du climat > affection de toute la biosphère

3) Impact d'une météorite à -65 Ma (? Chicxulub, Yucatan, Mexique)

Le cratère de Chicxulub



Le cratère de Chicxulub



Cratère invisible en surface mais visible par gravimétrie !

Présence d'un cratère d'impact

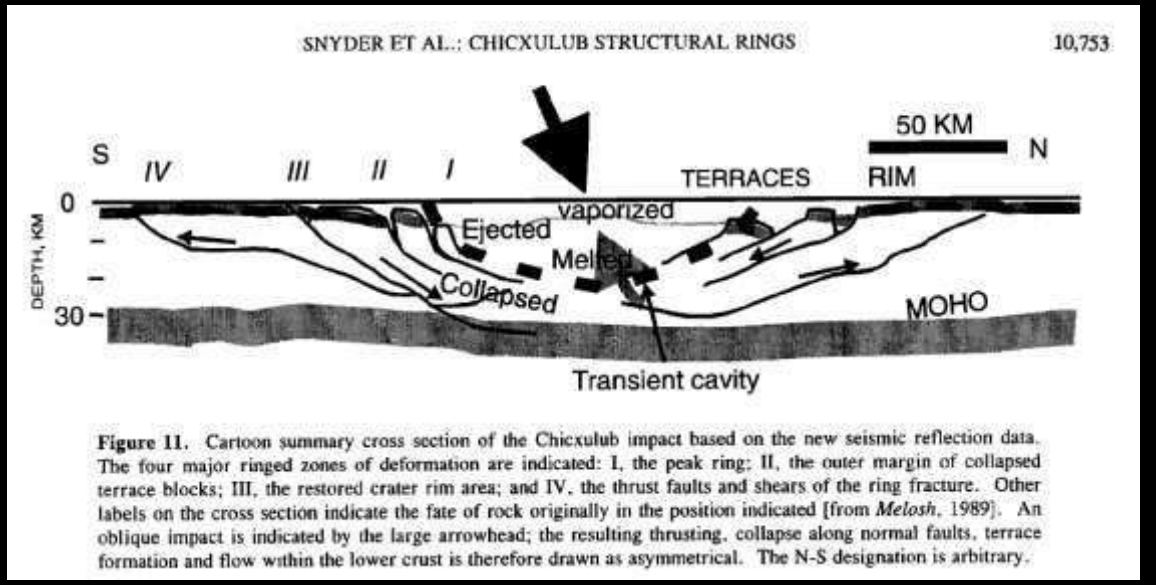


Figure 11. Cartoon summary cross section of the Chicxulub impact based on the new seismic reflection data. The four major ringed zones of deformation are indicated: I, the peak ring; II, the outer margin of collapsed terrace blocks; III, the restored crater rim area; and IV, the thrust faults and shears of the ring fracture. Other labels on the cross section indicate the fate of rock originally in the position indicated [from *Melosh*, 1989]. An oblique impact is indicated by the large arrowhead; the resulting thrusting, collapse along normal faults, terrace formation and flow within the lower crust is therefore drawn as asymmetrical. The N-S designation is arbitrary.

Gravimétrie: méthode géophysique qui étudie les variations du champ de pesanteur et donc de densité des roches

Proposition de scénario

Impact > 3 effets :

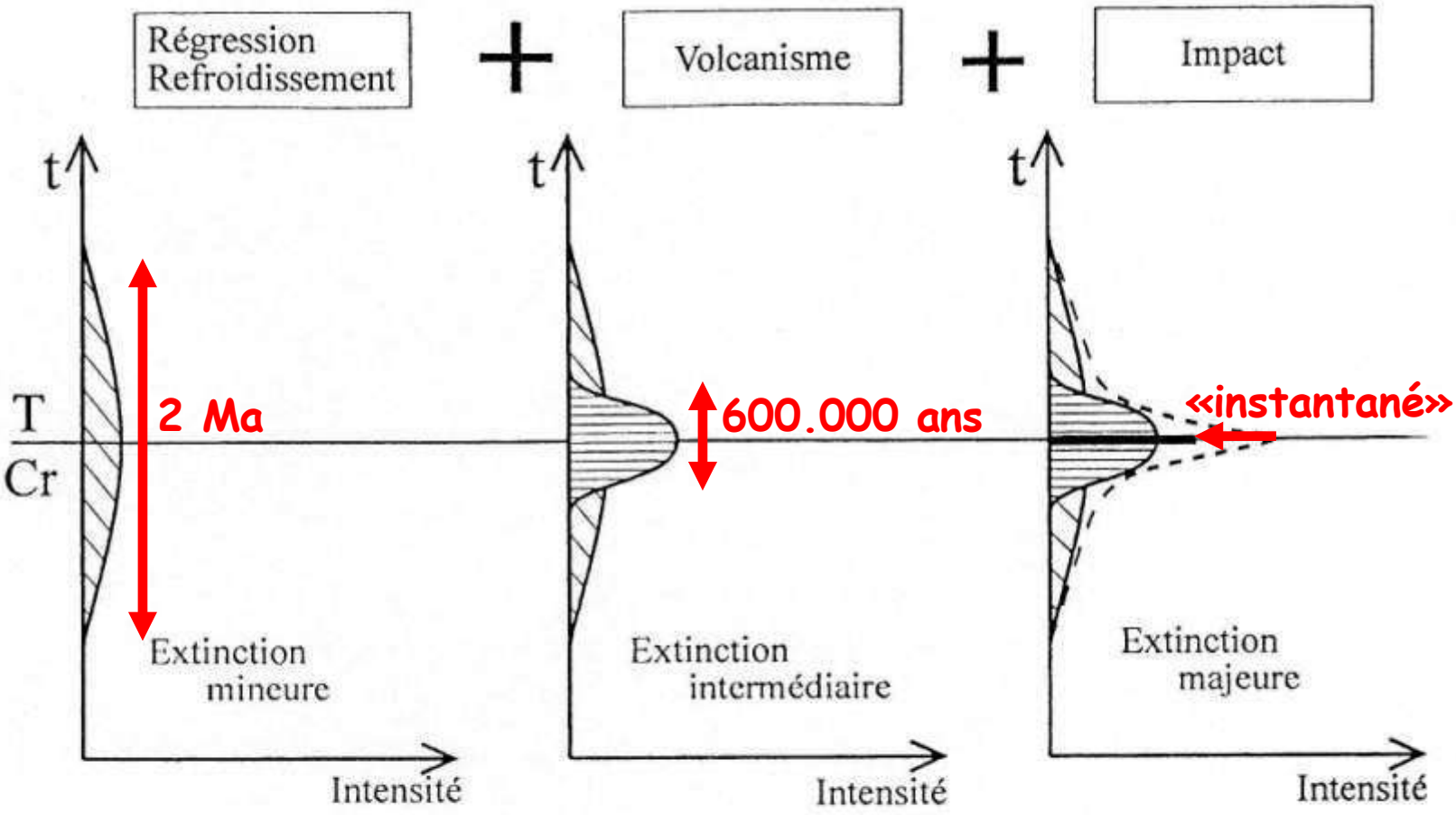
1. **Choc thermique** au moment de l'impact > réchauffement brutal de l'air et de l'eau et grands incendies *Durée quelques heures à quelques jours*

2. **Refroidissement à court terme** : rejet d'une grande quantité de poussières et d'acide sulfurique dans l'atmosphère qui arrêtent les rayons du soleil > photosynthèse stoppée et chaînes alimentaires rompues en milieu marin et continental + baisse de la T d'une dizaine de degrés *Durée plusieurs mois ou années*

3.1. **Pluies acides**: acide sulfurique tombe > acidification des océans > élimination du plancton et suppression de la production de $CaCO_3$

3.2. **Réchauffement à long terme**: CO_2 libéré par l'impact s'est accru (plus de fixation par organismes et moins de forêts) > alliance avec la vapeur d'eau et des oxydes nitriques > effet de serre > hausse de la T de l'air d'une dizaine de degrés *pendant plusieurs années à dizaines de milliers d'années*

Synthèse des événements

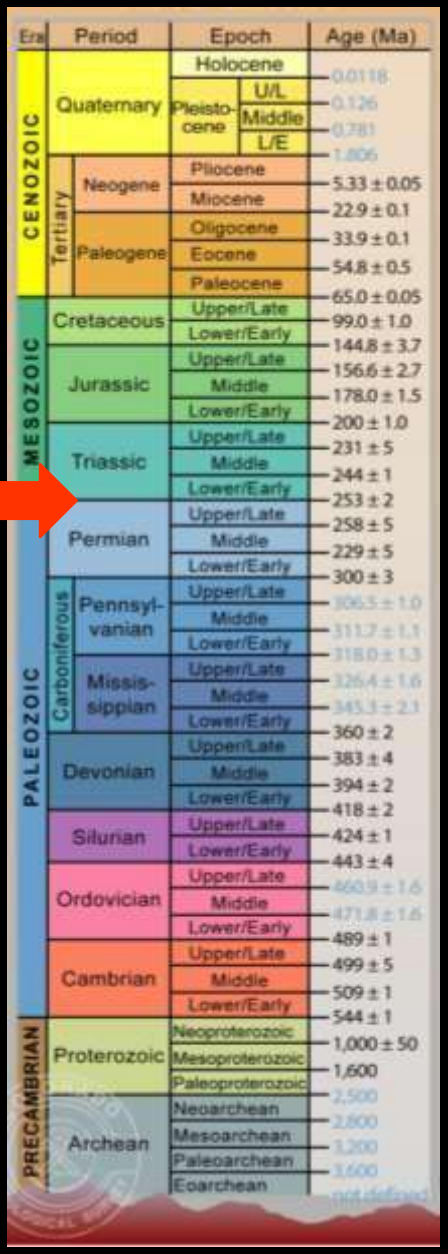


Accumulation de plusieurs causes néfastes à la biosphère, donnant le caractère de l'extinction en masse de la limite Cr/T. Schéma théorique destiné à conceptualiser le phénomène. En pointillés : courbe résultante de l'extinction en masse majeure.

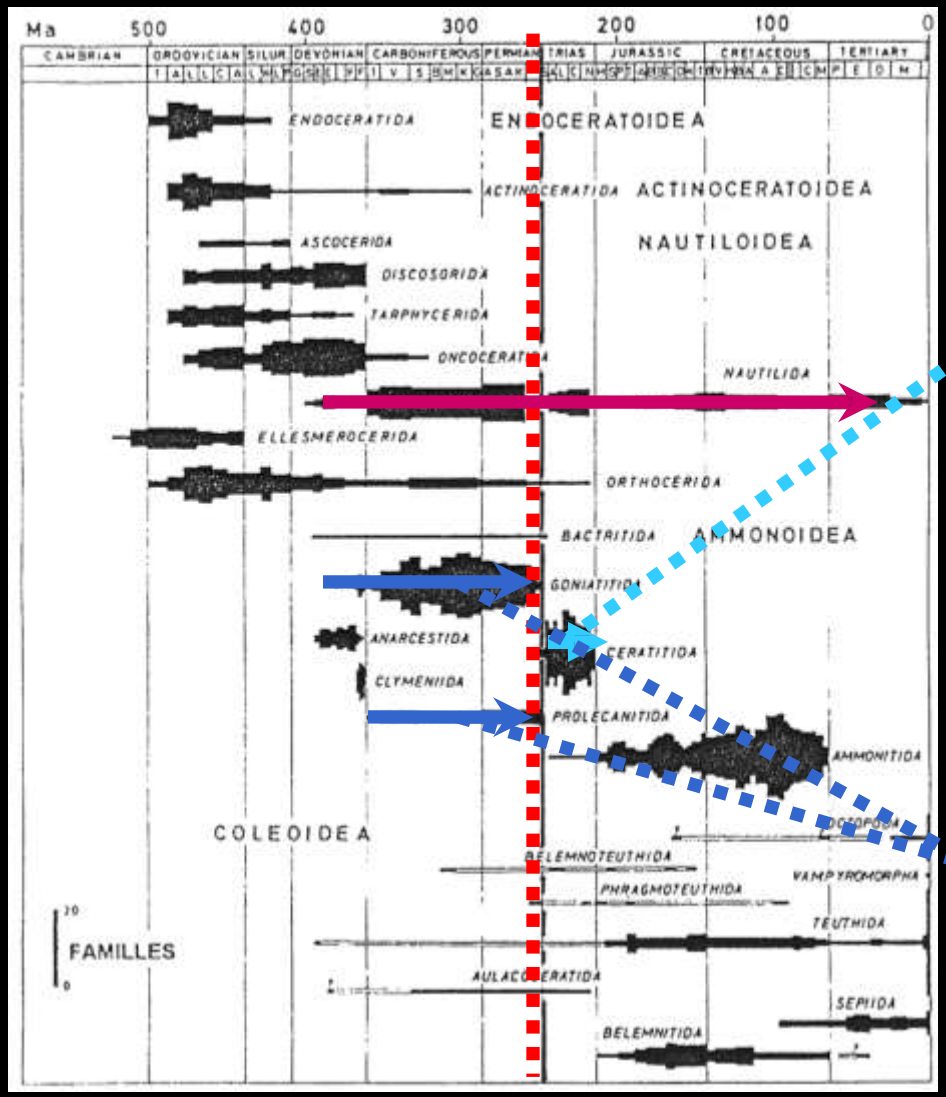
CRISE de la FIN du PERMIEN

Erathem/ Ere	Système/ Période	Etage	Age	Incertitude
Mésozoïque	Trias	Induan	251	+/- 0,4
Paléozoïque	Permien	Changhsingien		

Impact sur la biodiversité



Ammonoïdes

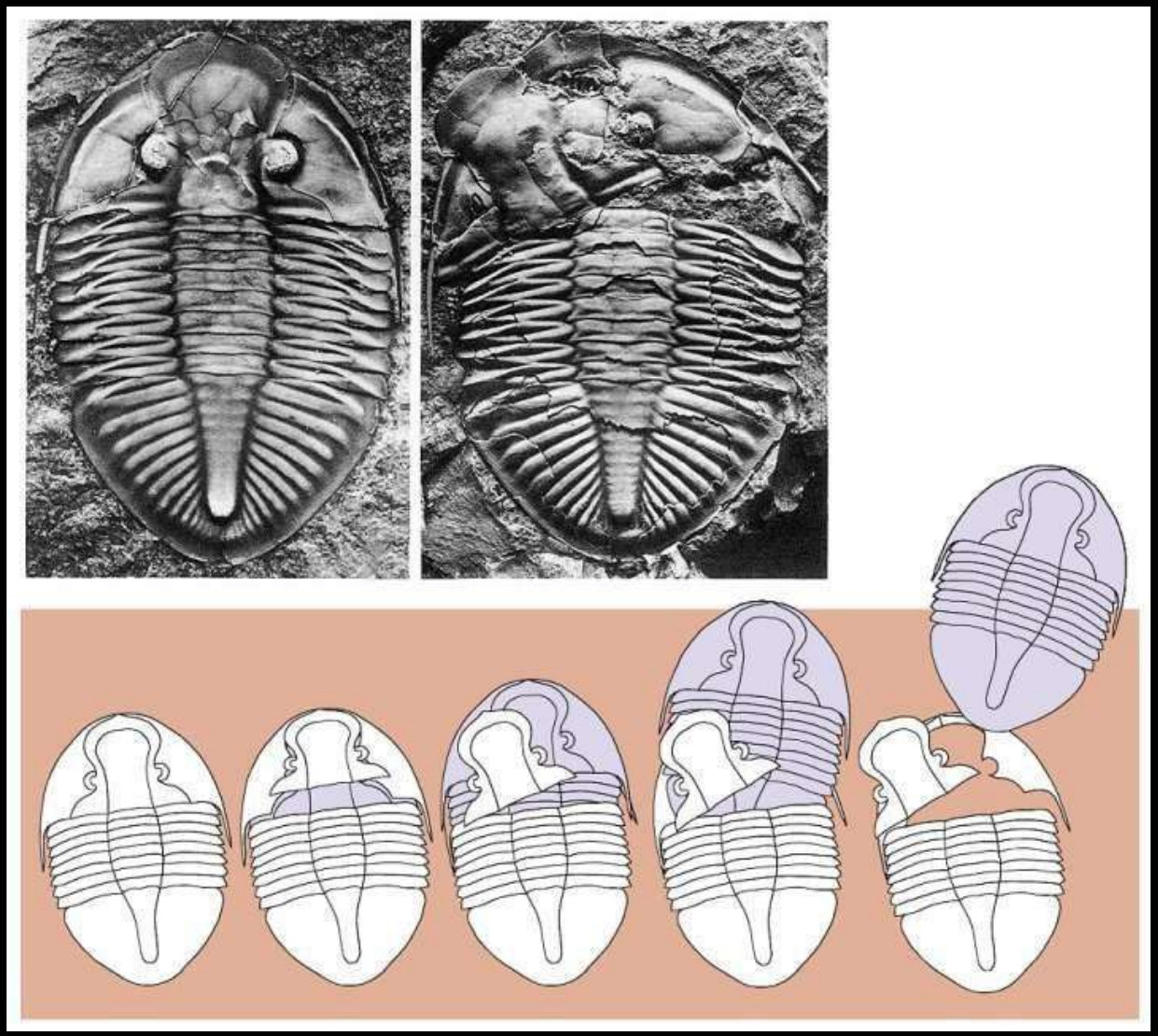


Ceratitida

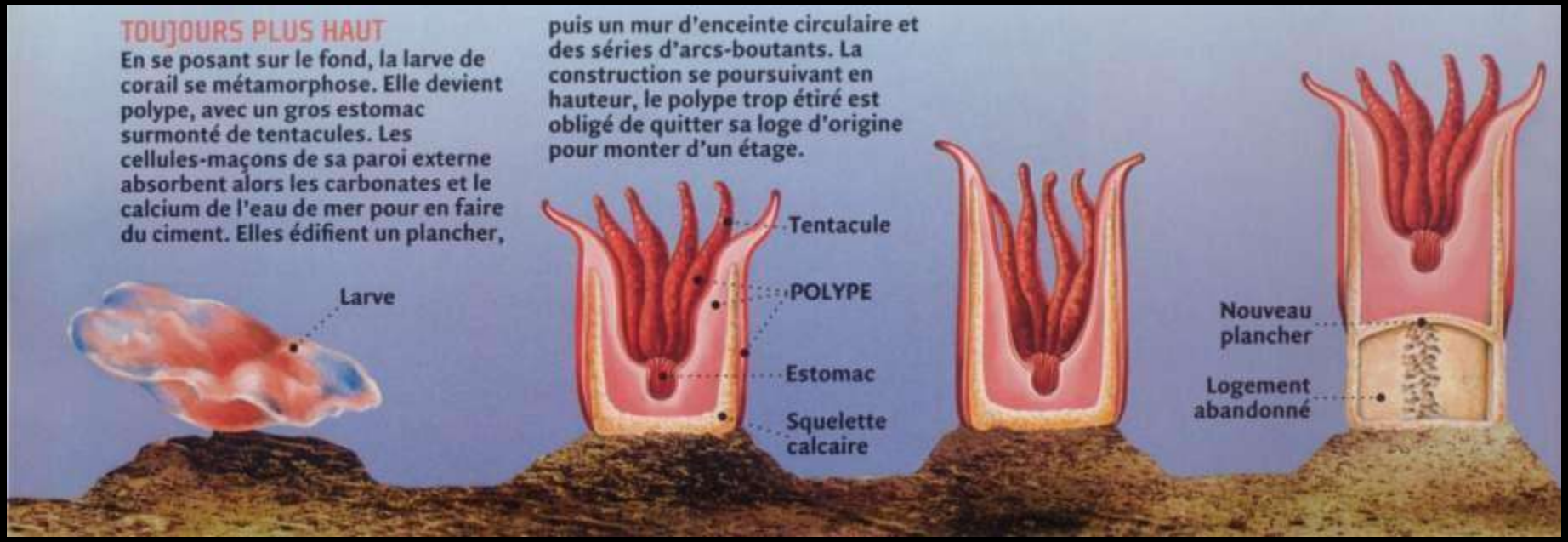
Prolecanitida

Goniatitida

Trilobites



Coraux


TOUJOURS PLUS HAUT
En se posant sur le fond, la larve de corail se métamorphose. Elle devient polype, avec un gros estomac surmonté de tentacules. Les cellules-maçons de sa paroi externe absorbent alors les carbonates et le calcium de l'eau de mer pour en faire du ciment. Elles édifient un plancher, puis un mur d'enceinte circulaire et des séries d'arcs-boutants. La construction se poursuivant en hauteur, le polype trop étiré est obligé de quitter sa loge d'origine pour monter d'un étage.
Larve
Tentacule
POLYPE
Estomac
Squelette calcaire
Nouveau plancher
Logement abandonné

Coraux tétracoralliaires

Zaphrentis

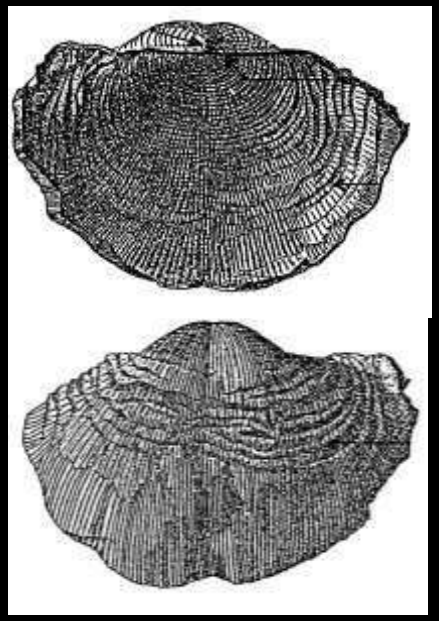
Calceola

Coraux tabulés

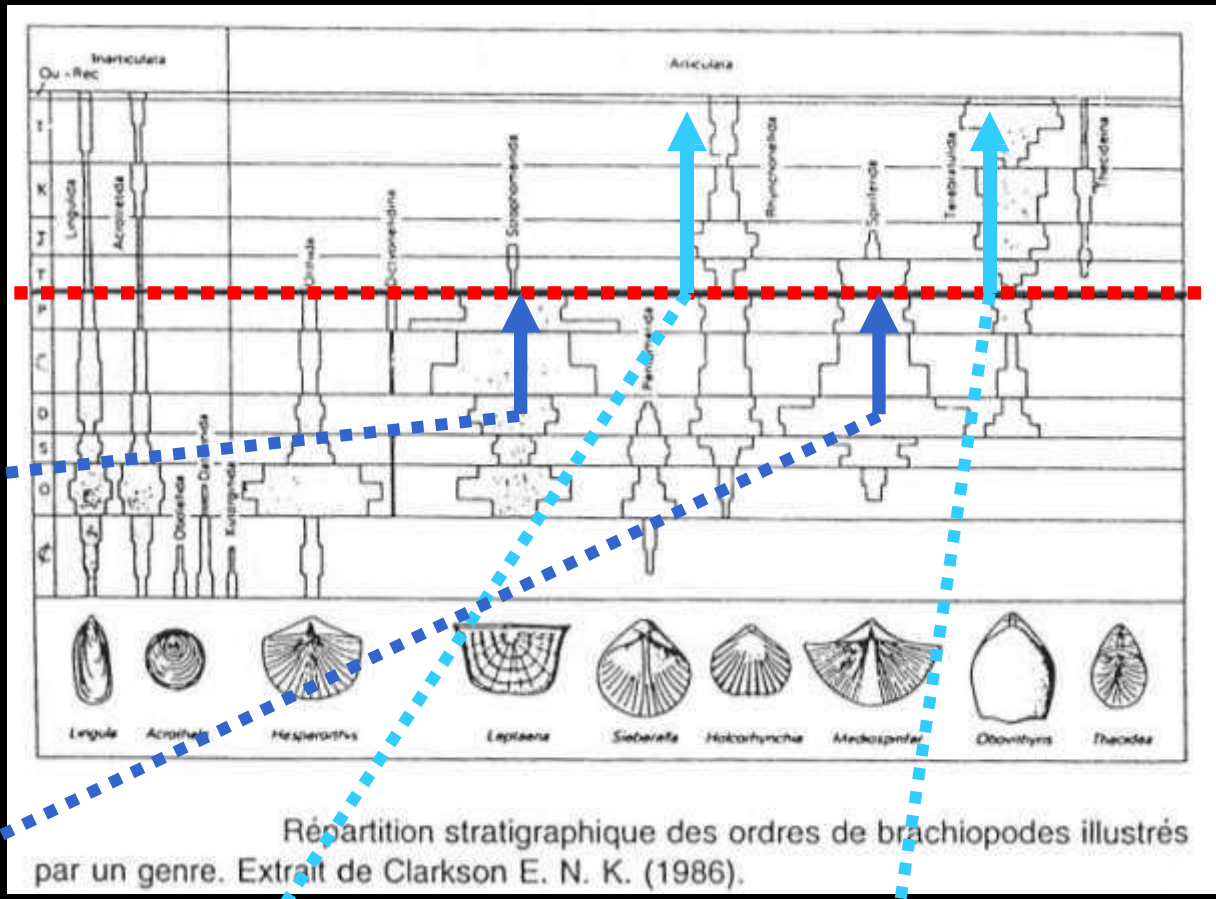
Halysites

Favosites

Brachiopodes



Productus



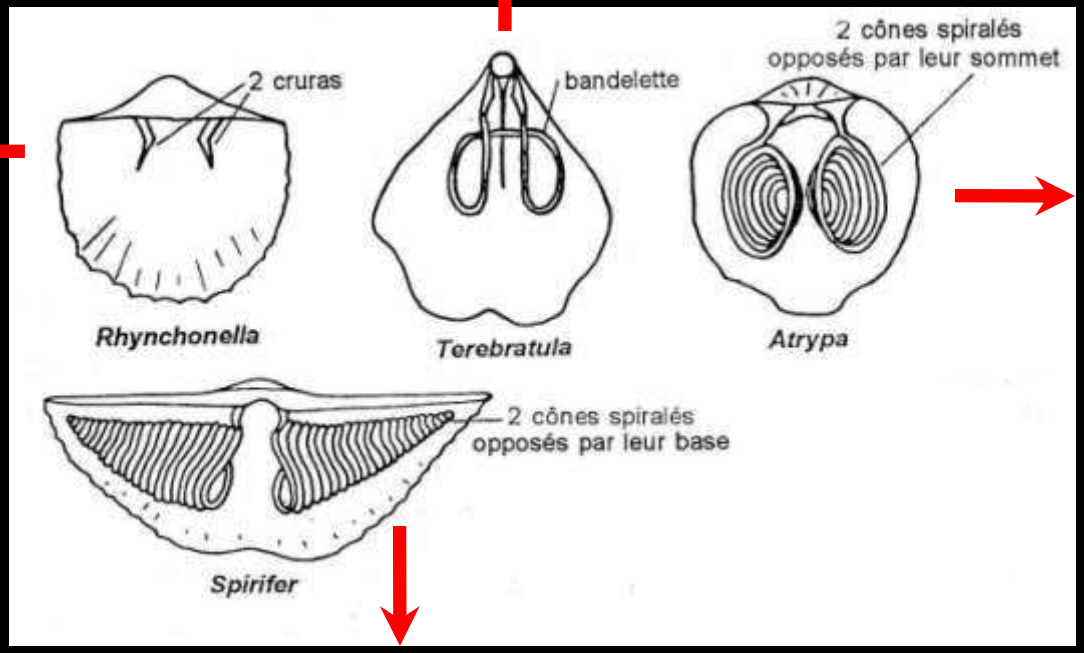
Répartition stratigraphique des ordres de brachiopodes illustrés par un genre. Extrait de Clarkson E. N. K. (1986).

Spirifer

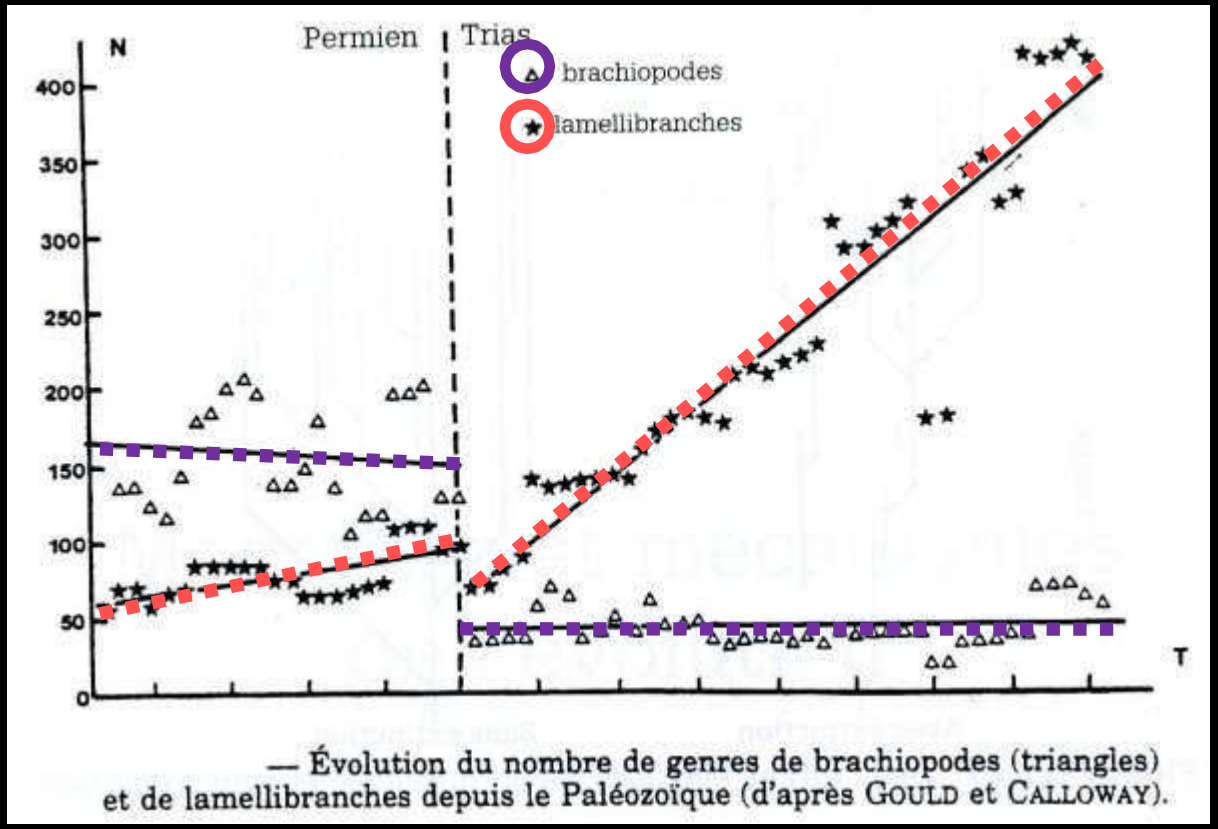
Rhynchonella

Terebratula

Brachiopodes

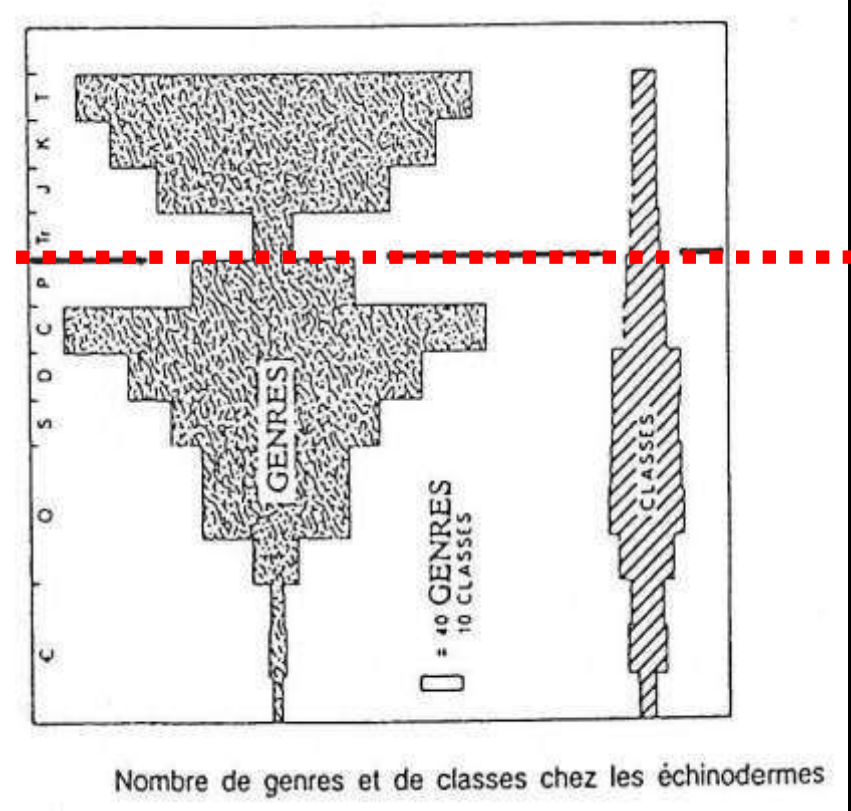


Brachiopodes paléozoïques et Bivalves méso- et cénozoïques



— Évolution du nombre de genres de brachiopodes (triangles) et de lamellibranches depuis le Paléozoïque (d'après GOULD et CALLOWAY).

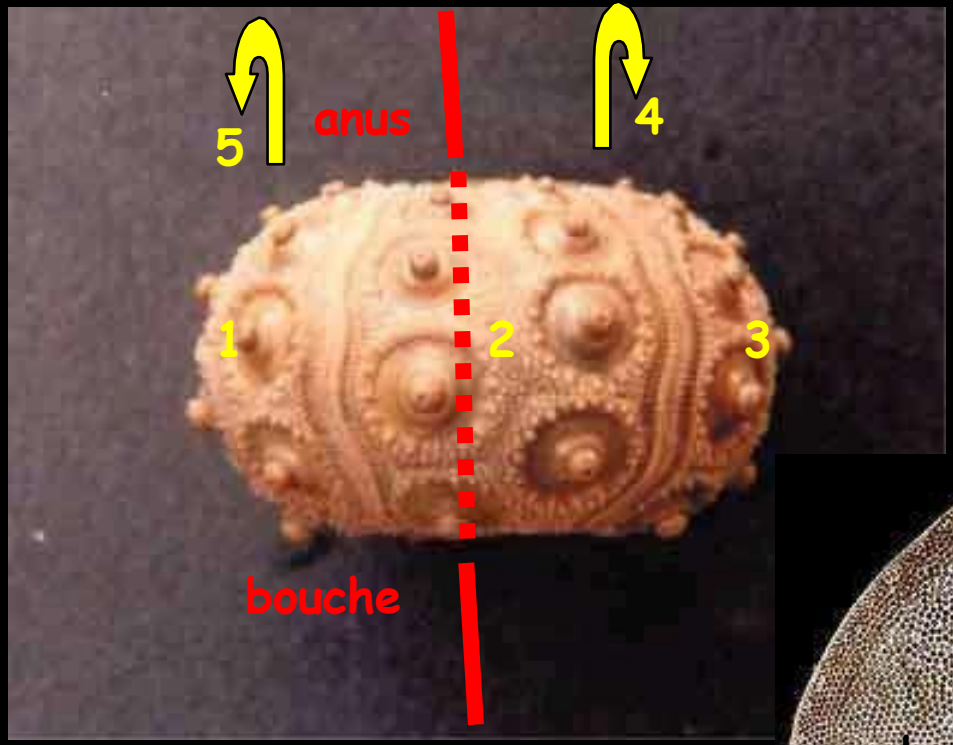
Echinodermes



Nombre de genres et de classes chez les échinodermes

Libres (Echinoïde)	Fixés (Blastoïde, Crinoïde)
Hemicidaris	Encrinus
Archaeocidaris	Pentremites

Echinodermes: Oursins

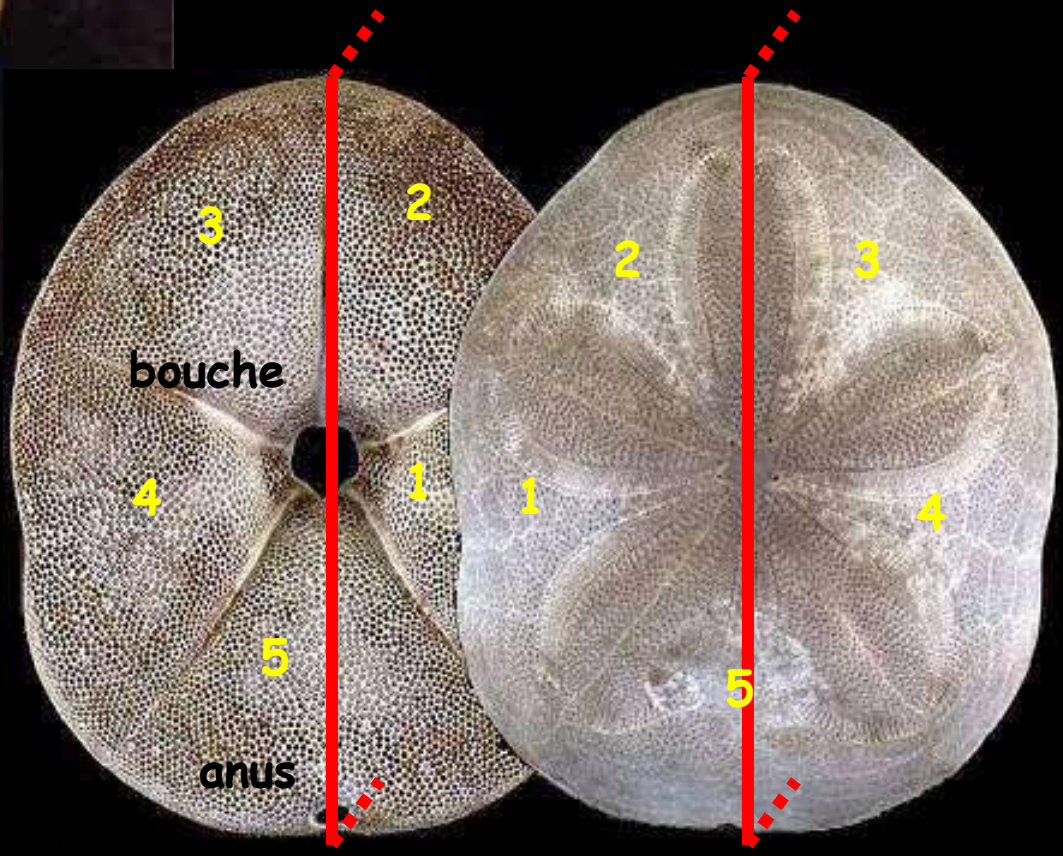


Oursins réguliers

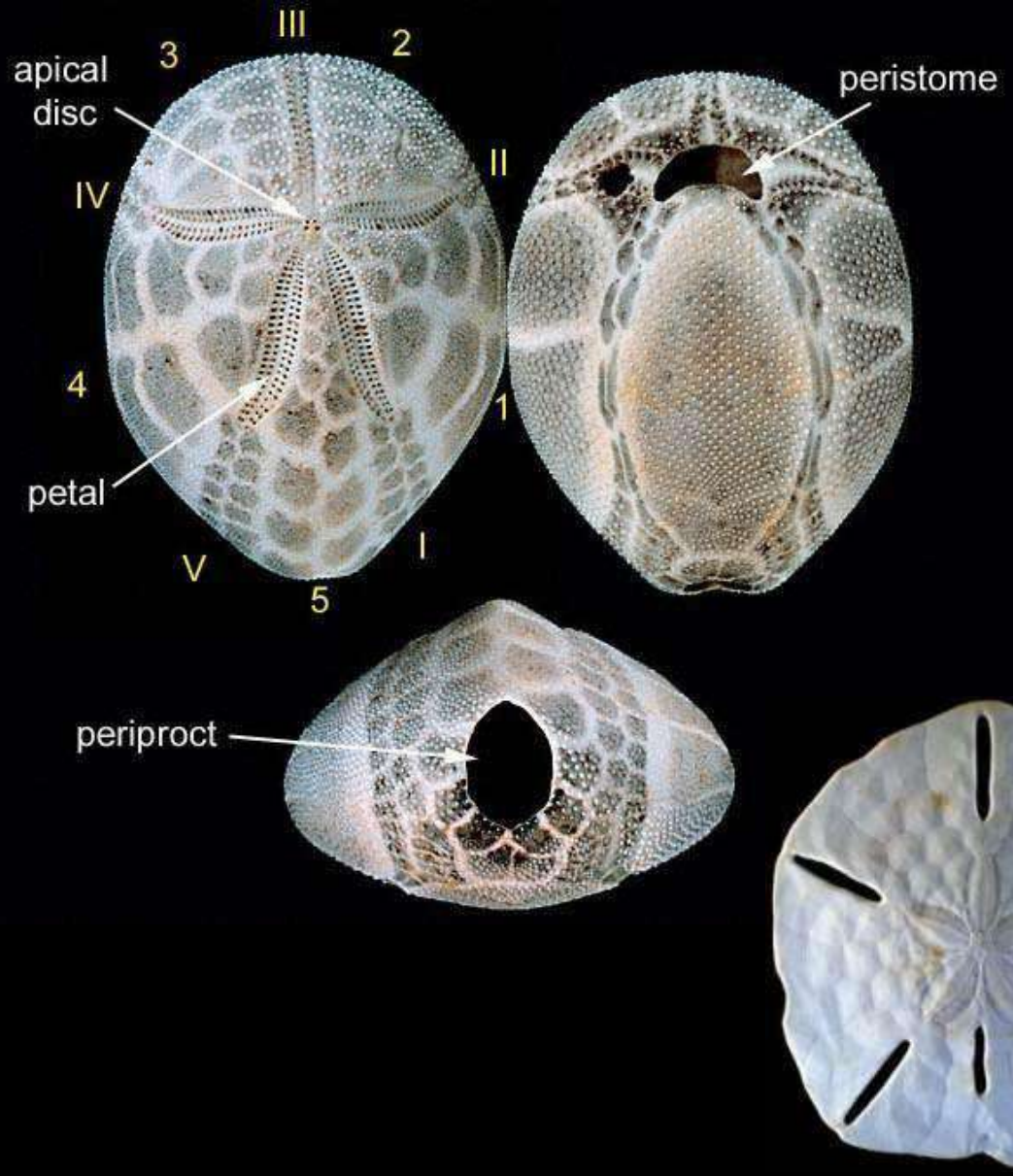
(à symétrie axiale)

Oursins irréguliers

(à symétrie bilatérale)

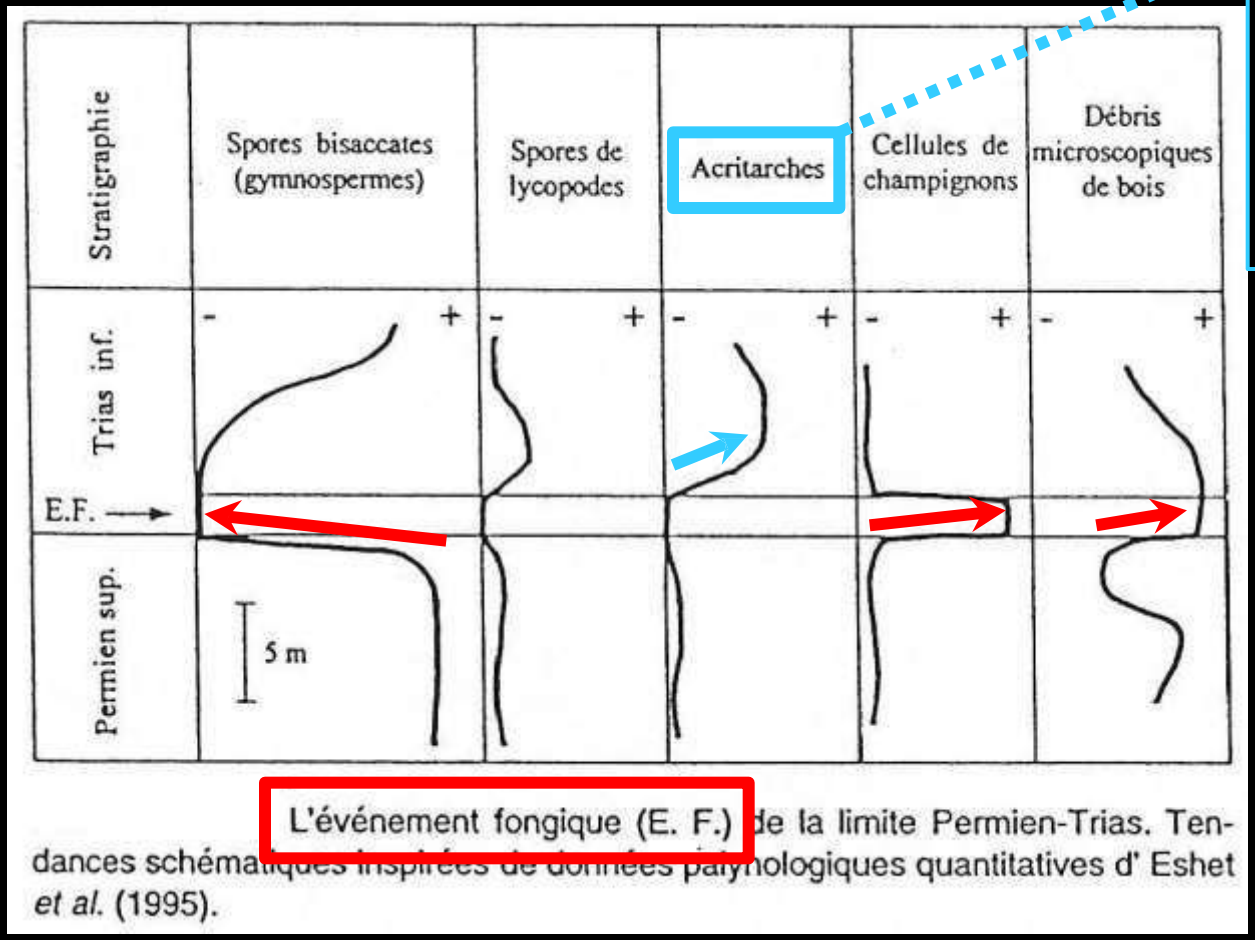


Echinodermes: Oursins irréguliers

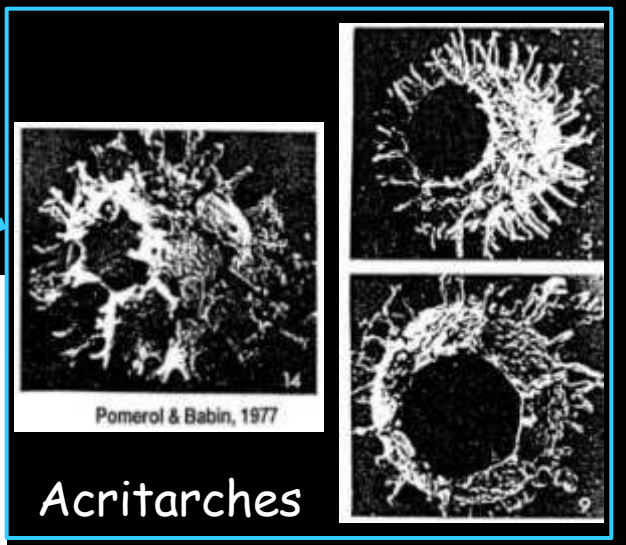


Faits biologiques en milieu continental

Flore



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



Acritarches

Kystes d'algues unicellulaires du phytoplancton,

de 5 à 50 microns

< 50.000 ans

Vertébrés

70 à 77% des familles

Groupes concernés : amphibiens et reptiles Thérapsides (reptiles mammaliens)

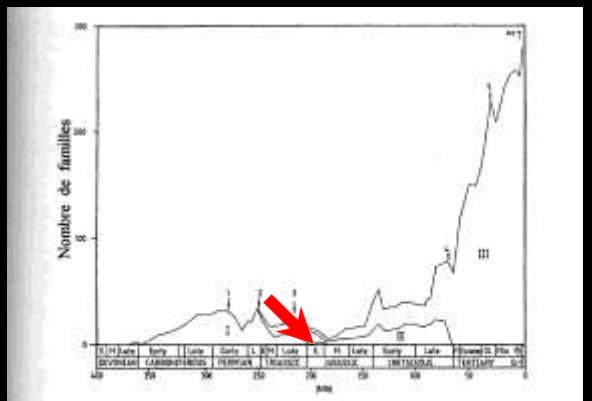
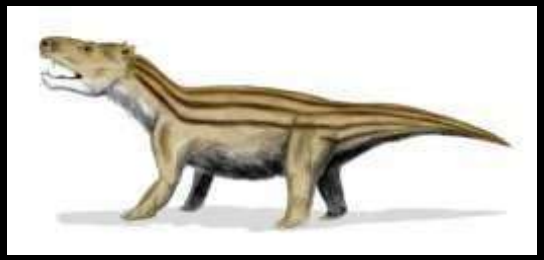
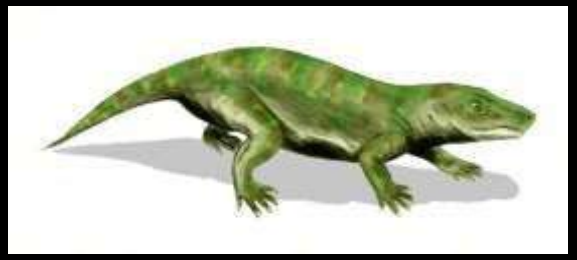


FIGURE 34 : Diversité des familles de Tétrapodes continentaux. I = Amphibiens primitifs, Anapsides et Reptiles à tendances mammaliennes. II = Premiers diapsides, Dinosaures et Ptérosaures. III = Amphibiens modernes, lézards, serpents, tortues, crocodiles, oiseaux et mammifères). 1 à 5 : crises biologiques apparentes. Extrait de M. J. Benton *in* Larwood G. P. (1988).



Cynognathus



Bauria

Insectes:

pic de diversité au Permien supérieur puis chute de 63% au Trias inférieur

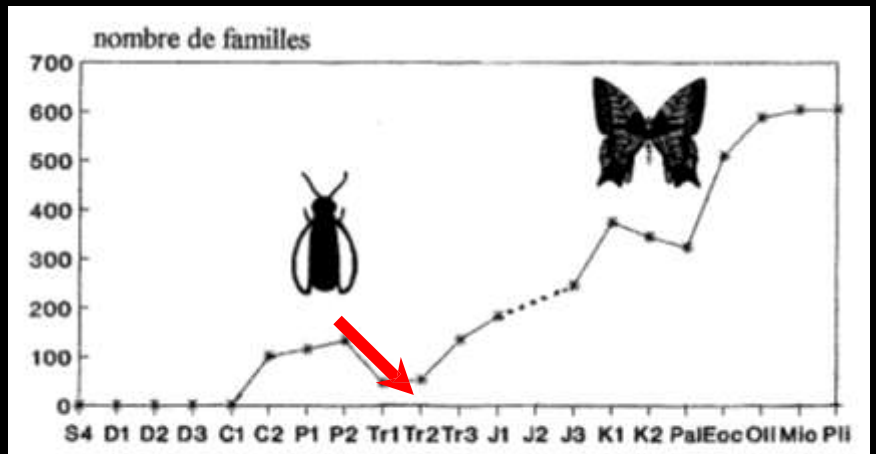
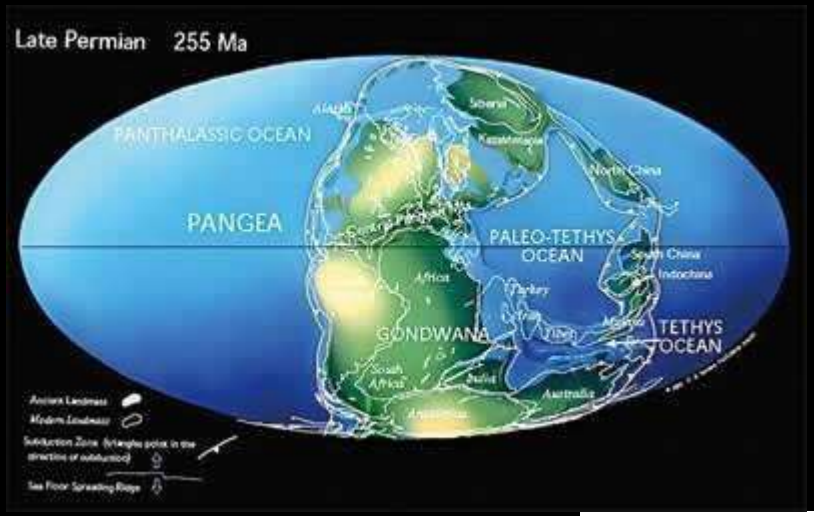


FIGURE 130 : Diversité familiale des insectes au cours du phanérozoïque. Extrait de Jarzembowki E. A. & Ross A. *in* Hart M. B. (1996). Avec l'aimable autorisation de la Geological Society Publishing House.

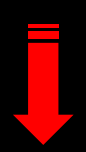
Faits géologiques

Formation de la Pangée

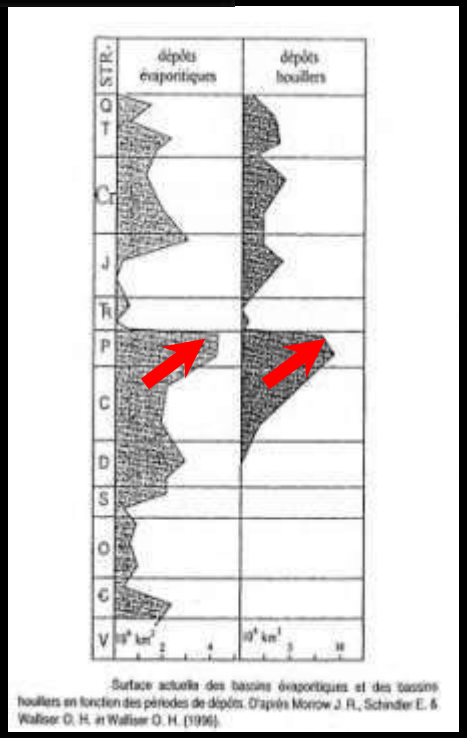


\+

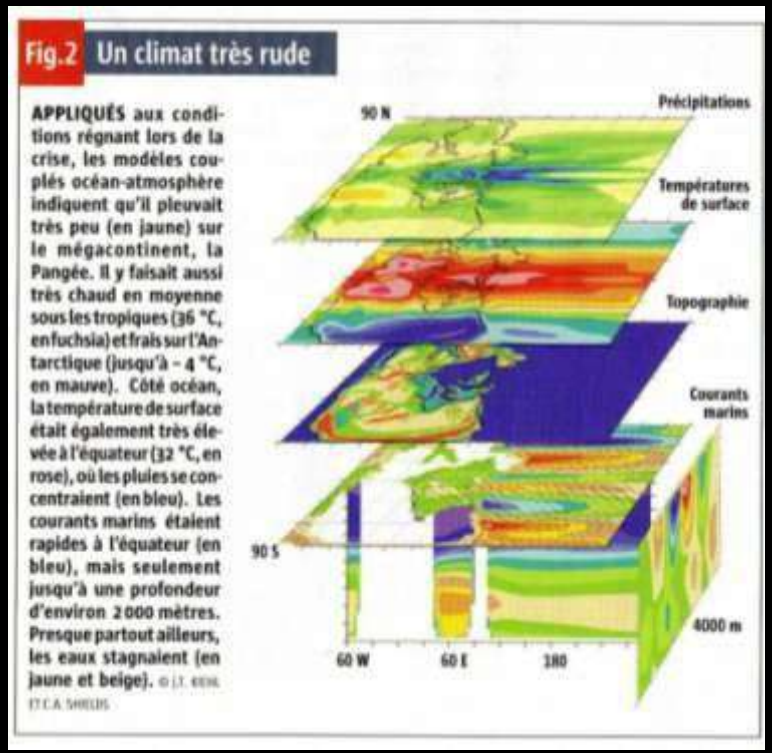
Variations de l'orbite terrestre



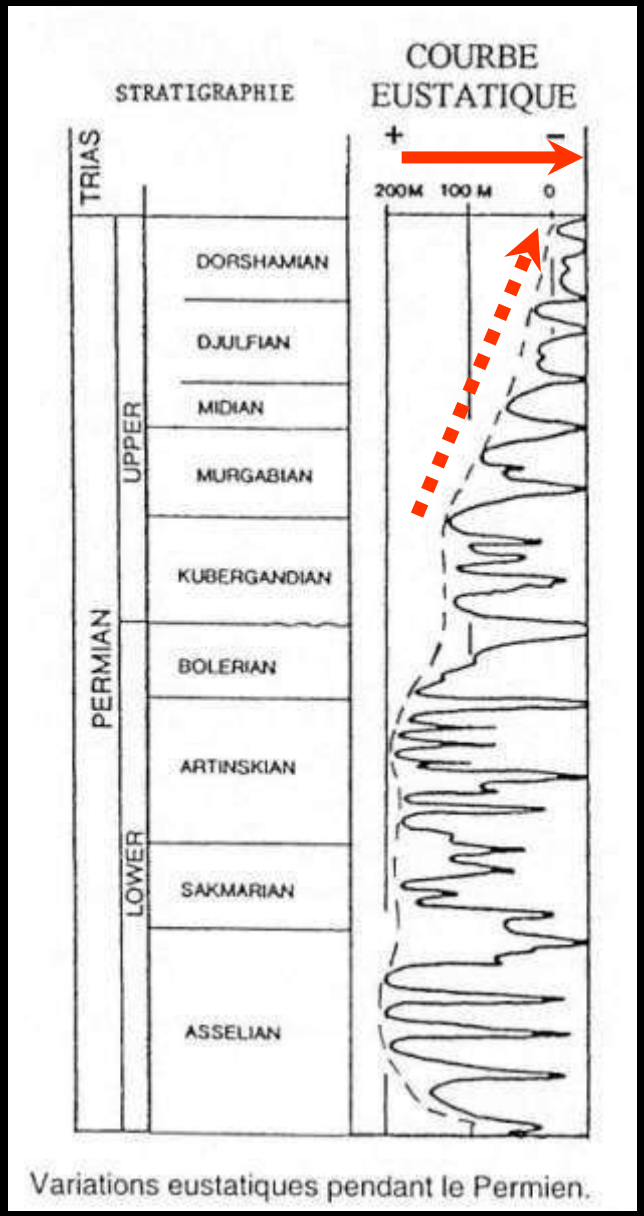
Fait 1: continentalisation du climat global et diminution des milieux côtiers à forte biomasse



Surface actuelle des bassins évaporitiques et des bassins houillers en fonction des périodes de dépôts. D'après Morrow J. R., Schindler E. & Wallser O. H. in Wallser O. H. (1986).



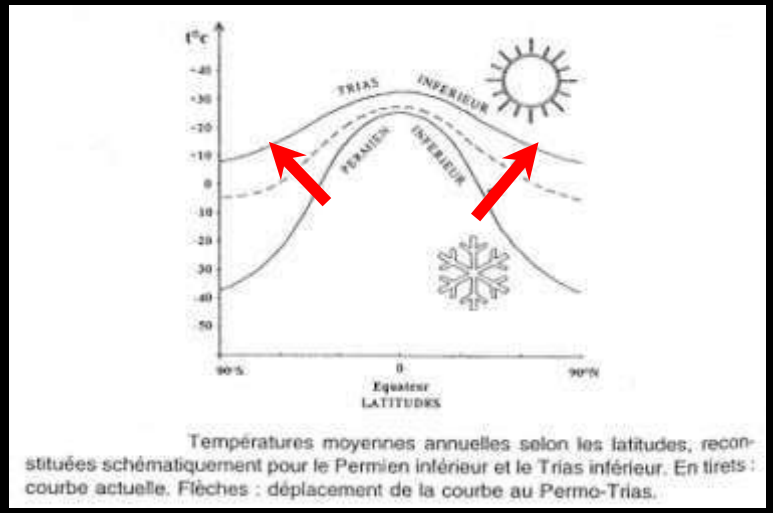
Fait 2: régression marine



Variations eustatiques pendant le Permien.

-250 m

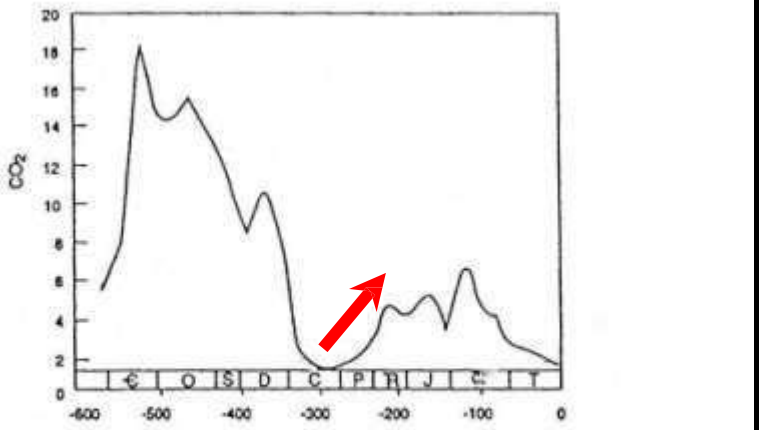
Conséquences:
Continentalisation et aridité du climat



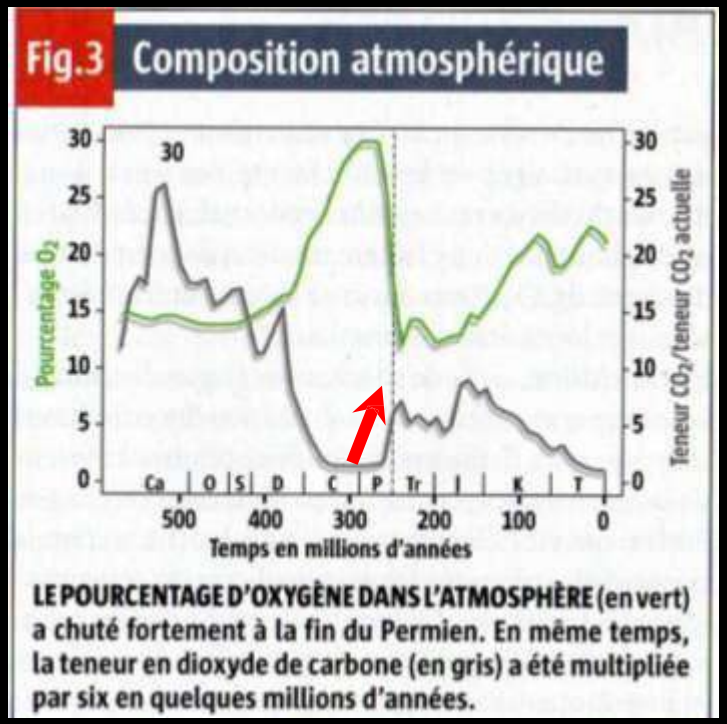
Températures moyennes annuelles selon les latitudes, reconstituées schématiquement pour le Permien inférieur et le Trias inférieur. En tirets : courbe actuelle. Flèches : déplacement de la courbe au Permo-Trias.

Remarque: les cycles transgression-régression sont liés aux super-cycles tectoniques « regroupements en Pangée - dispersion des continents »

Émersion de sédiments très riches en matière organique > augmentation du taux de CO_2 dans l'atmosphère > empoisonnement des individus



Modèle de Berner proposant une estimation moyenne générale de la teneur atmosphérique en CO_2 au cours du Phanérozoïque. Sur l'axe des ordonnées, l'unité représente la valeur du taux actuel du CO_2 (= 0,03%).



Réduction des surfaces épicontinentales > chute de la productivité biologique et du $\delta^{13}C$; disparition de niches écologiques favorables à la vie

Epicontinental: zone marine en bordure d'un continent, au-dessus du plateau continental

Fait 3: baisse de la salinité des eaux

Fermeture de bassins épicontinentaux > accumulation de dépôts salins sur les continents > moins de sel dissous dans les océans > baisse de la salinité

baisse entre 5 et 10% > disparition des organismes sténohalins: échinodermes, céphalopodes, coraux.

Sténohalin: qui présente une tolérance faible aux variations de salinité

Fait 4: éruptions géantes

épanchements volcaniques des trapps de Sibérie :

- épaisseur > 3000m
- volume > 2.500.000 km^3
- durée +/- 1 Ma en 11 phases éruptives

> rejet de SO_2 > pluies acides
> poussières > obscurcissement

> rejet de CO_2 > effet de serre

Localisation supposée des trapps de Sibérie

Trapp: escalier en suédois

Fait 5: dégagement de méthane

Effet de serre dû aux éruptions volcaniques

> réchauffement climatique

> dégel de glaces d'eau, présentes à 1000m sous le plancher océanique, renfermant des hydrates de méthane

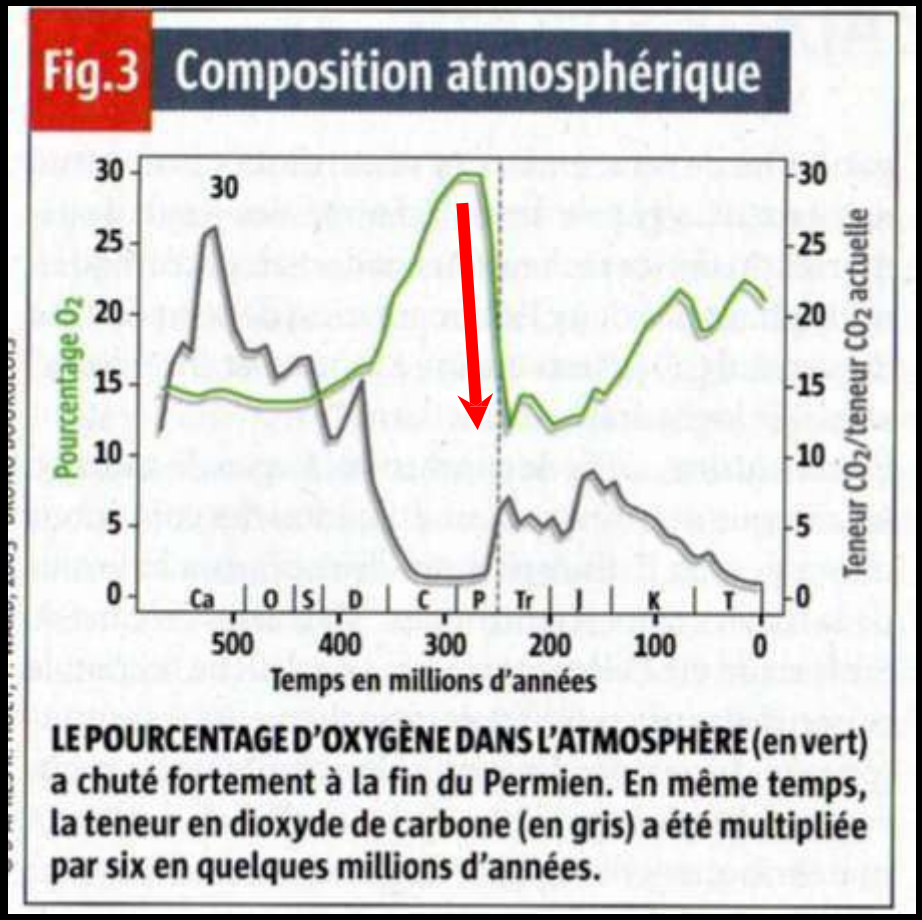
> augmentation de l'effet de serre

> nouvelle hausse des T (+10 C) > nouvelle fontes des hydrates > nouvelle hausse T > ...

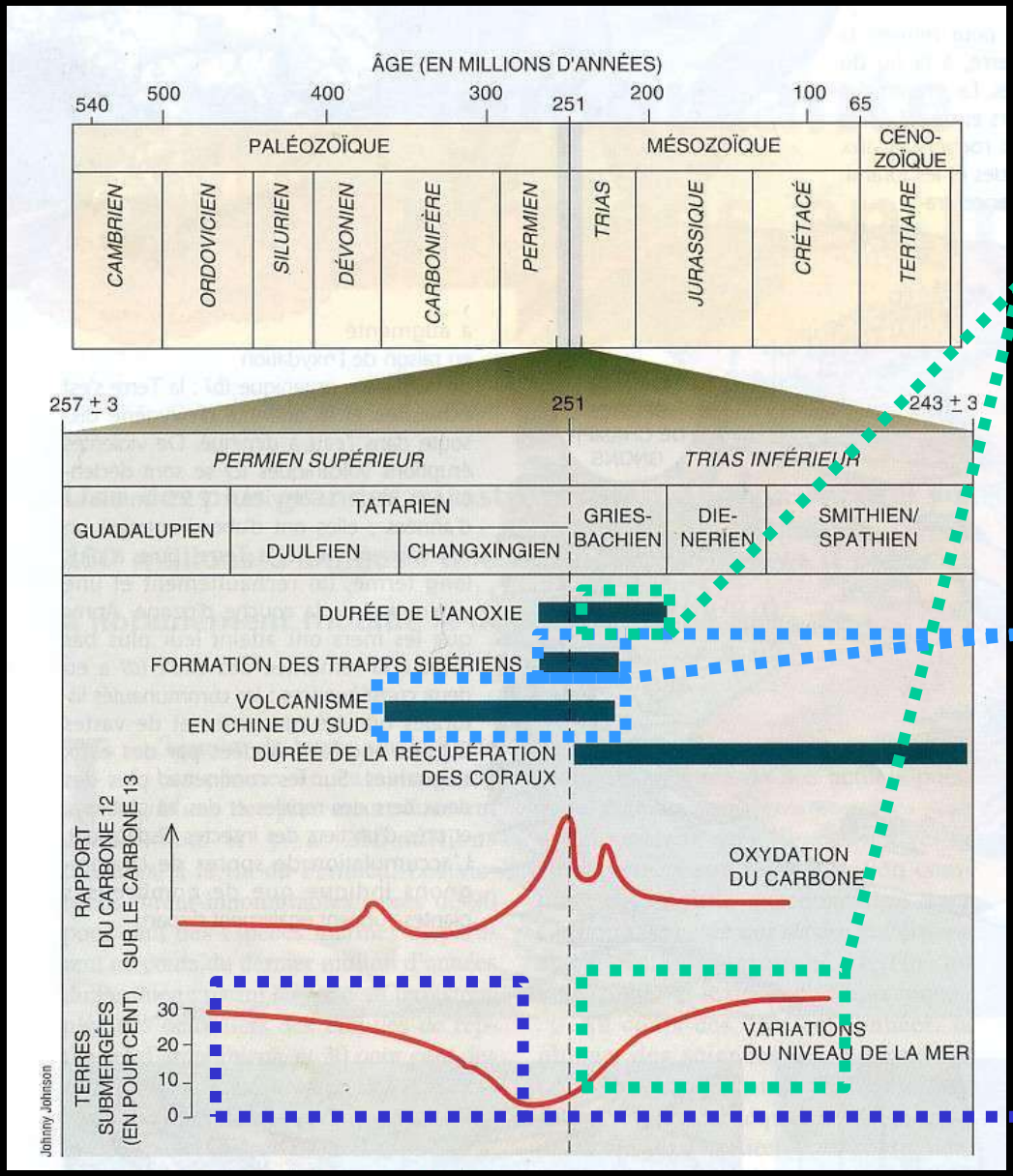
DES BULLES DE MÉTHANE sont ici piégées dans un étang gelé. Dans des hydrates, le piégeage se fait à l'échelle microscopique, dans le réseau cristallin de l'eau. C'est quand la glace se désagrège que les petites bulles de méthane grossissent et remontent vers la surface.

Fait 6: montée eustatique au Trias (+ 200-210m)

Montée d'eaux mal oxygénées
> anoxie des eaux de surface
> conditions défavorables à la vie marine



Synthèse des événements



Trias inférieur:

Transgression d'eaux mal oxygénées > conditions défavorables à la vie

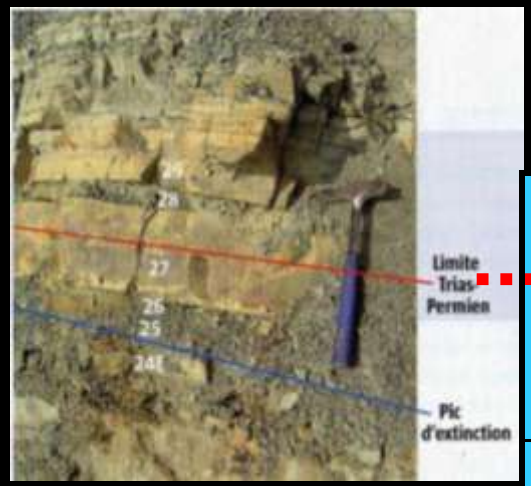
Limite Permien-Trias:

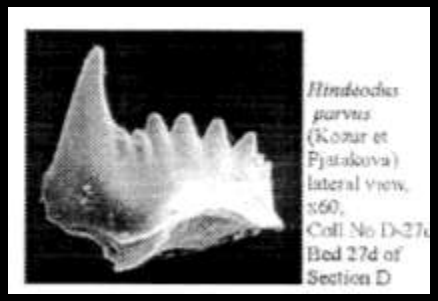
Volcanisme > effet de serre, dégagement de méthane et pluies acides

Permien supérieur:

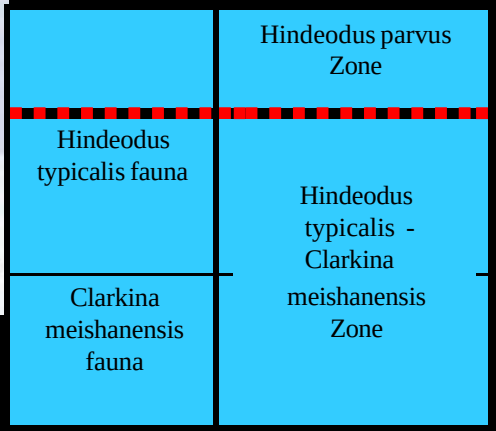
Régression, réchauffement climatique, aridité, baisse de la salinité
> conditions défavorables à la vie

Stratotype de la limite Permien-Trias: coupe D de Meishan (Sud de la Chine)





conodonte



Yin et al. (2001)

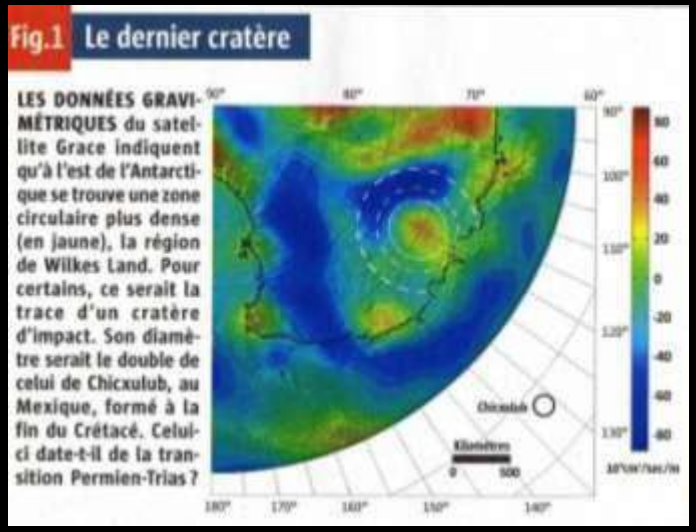
Géoparc

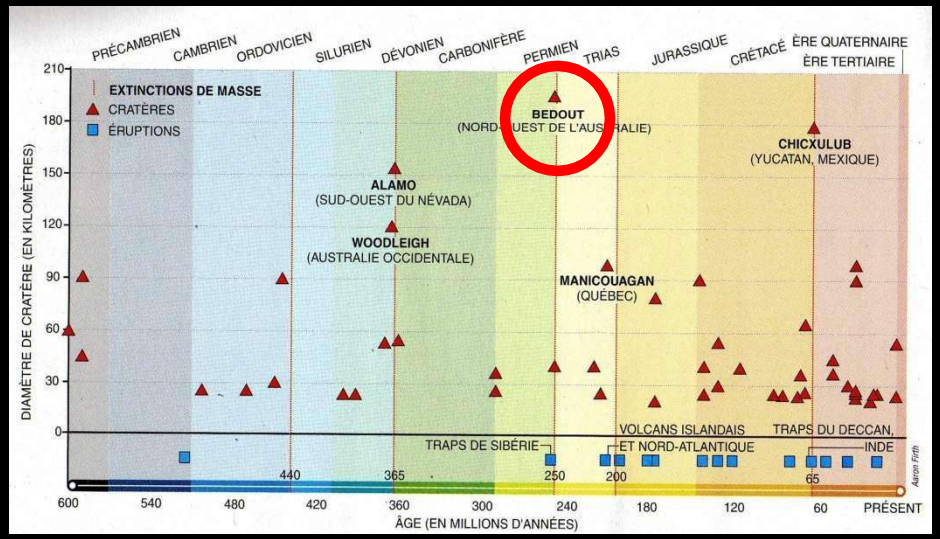
Stratotype = coupe étalon de servant de référence pour la définition et la reconnaissance d'une unité (chrono-)stratigraphique et de ses limites.

Un impact météorique, autre coupable ?

Indice 1 : ? fullerènes

Indice 2 : cratère d'impact de 480 km de D





Gravimétrie: méthode géophysique qui étudie les variations du champ de pesanteur et donc de densité des roches

Impact météorique, oui ou non ?

OUI pour

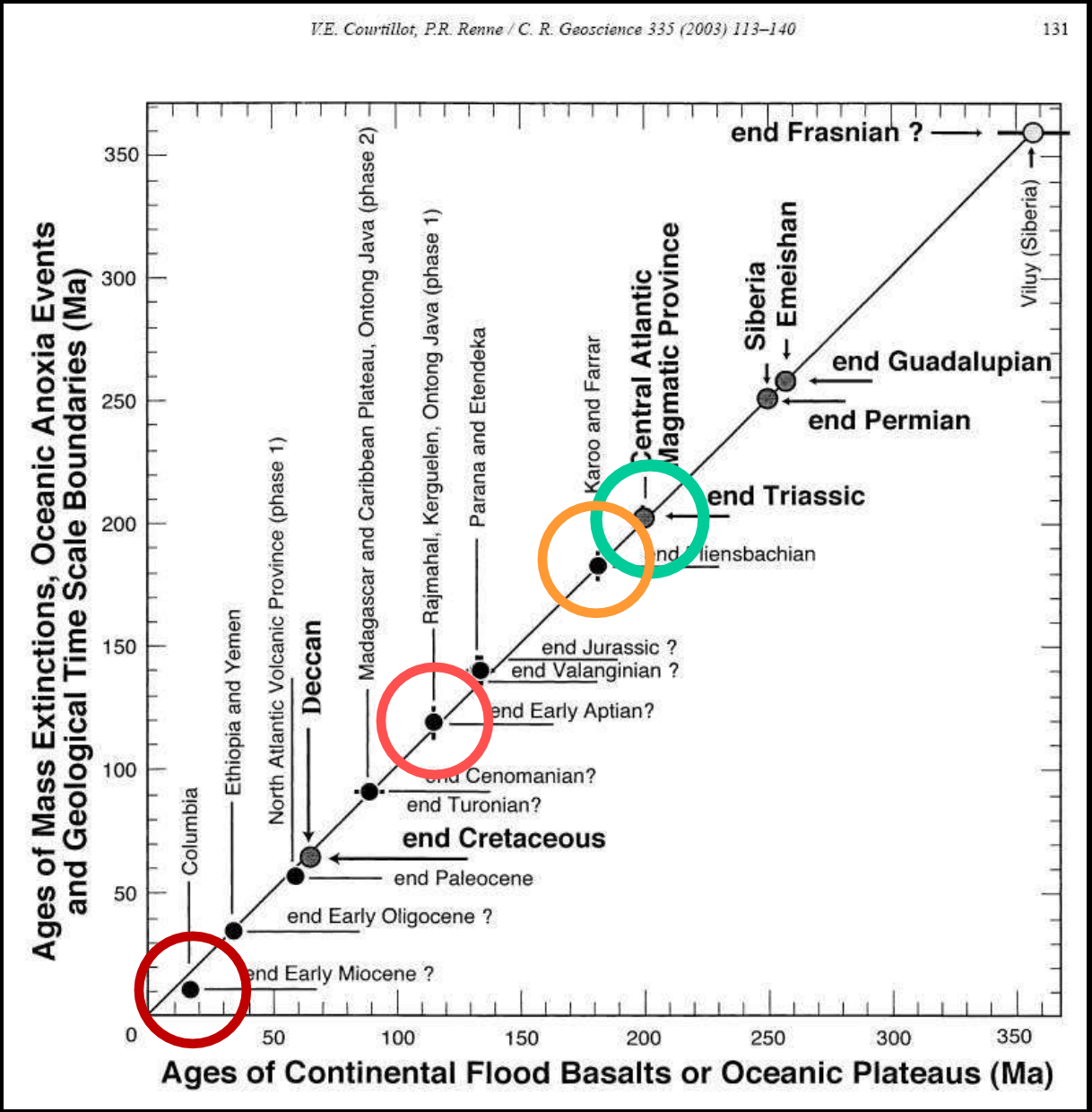
Becker (Science 2004) : Le lieu, la taille et l'âge du cratère de Bedout peuvent expliquer les enregistrements de débris d'impact, dans les sédiments de la limite Permien-Trias, découvertes dans le monde entier.

NON pour

Wignall (Science 2004) : nous concluons que, soit l'impact ne s'est pas produit pendant l'intervalle Permien terminal – Trias basal (et il n'y a donc aucun rapport avec l'extinction de masse Permien-Trias), soit ce n'est pas un cratère d'impact mais plutôt une structure volcanique.

Renne (Science 2004) : par conséquent, le témoignage d'une structure d'impact de Bedout, d'âge limite Permien-Trias, doit être considéré avec la plus grande précaution.

Témoignages d'un magmatisme



Témoignages d'un magmatisme

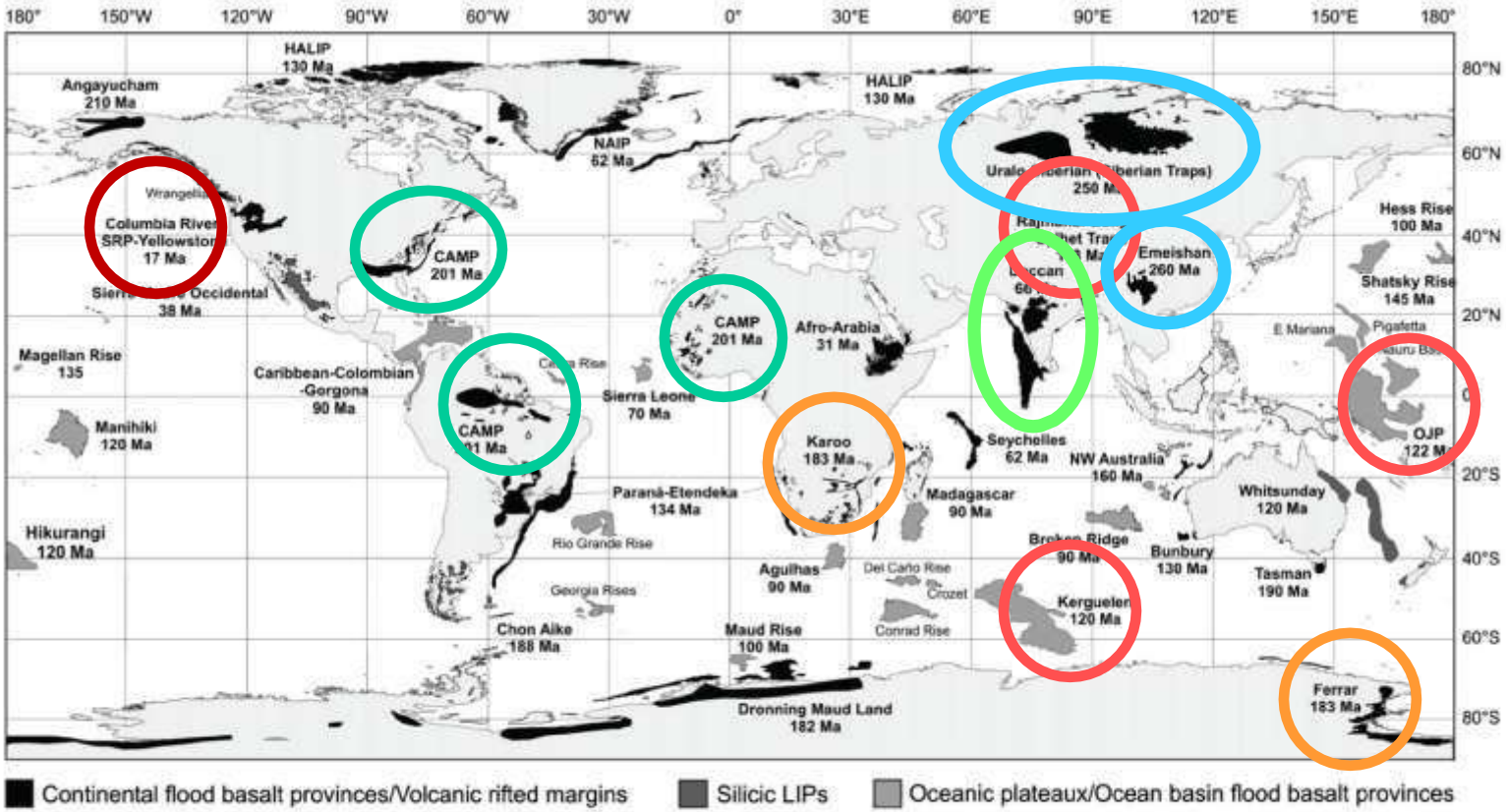


Figure 1 Distribution mondiale des Grandes Provinces Magmatiques mises en place depuis 275 ma. D'après Bryan et Ernst (2008).

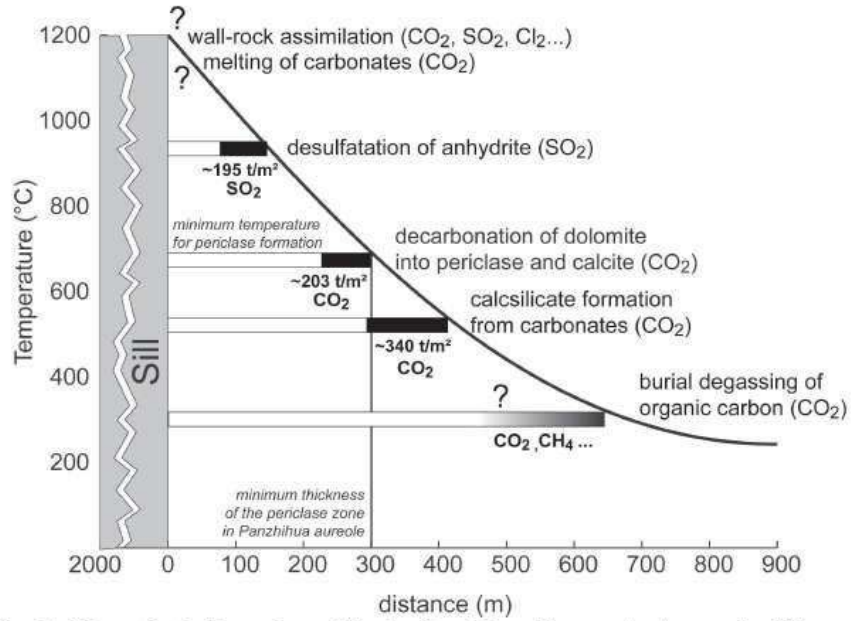


Fig 2. Theoretical thermal profile in Panzhihua-like contact aureole. The maximum distances in the aureole where the metamorphic reactions happen are plotted with bars in which the black fraction represents the amount of gas formed.

Dégagement de SO_2 et CO_2

Rôle des roche sédimentaires

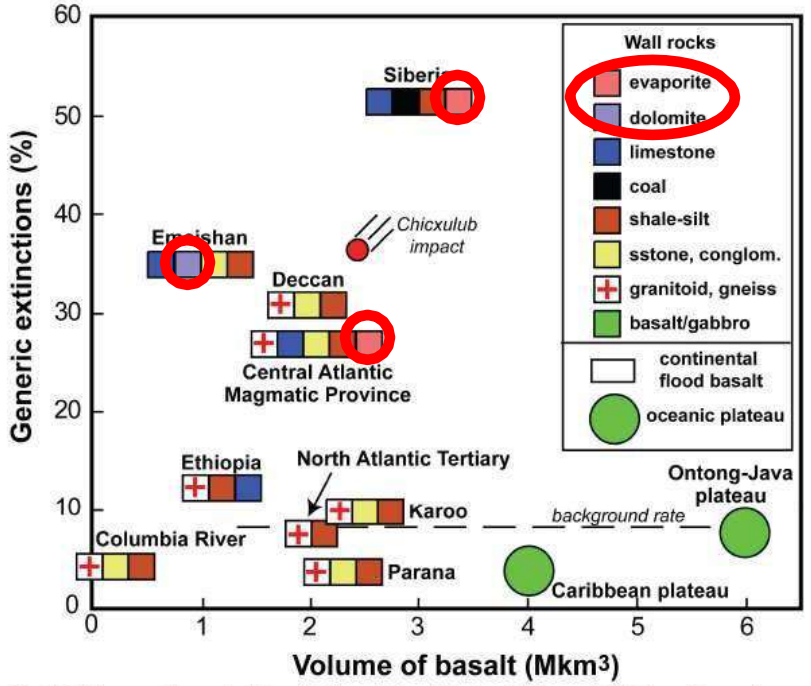


Fig 1. Volume of erupted basalt from Courtillot and Renne (2003) vs Percentage of generic extinctions (from *Rhodes and Muller 2005)* for major LIPs.

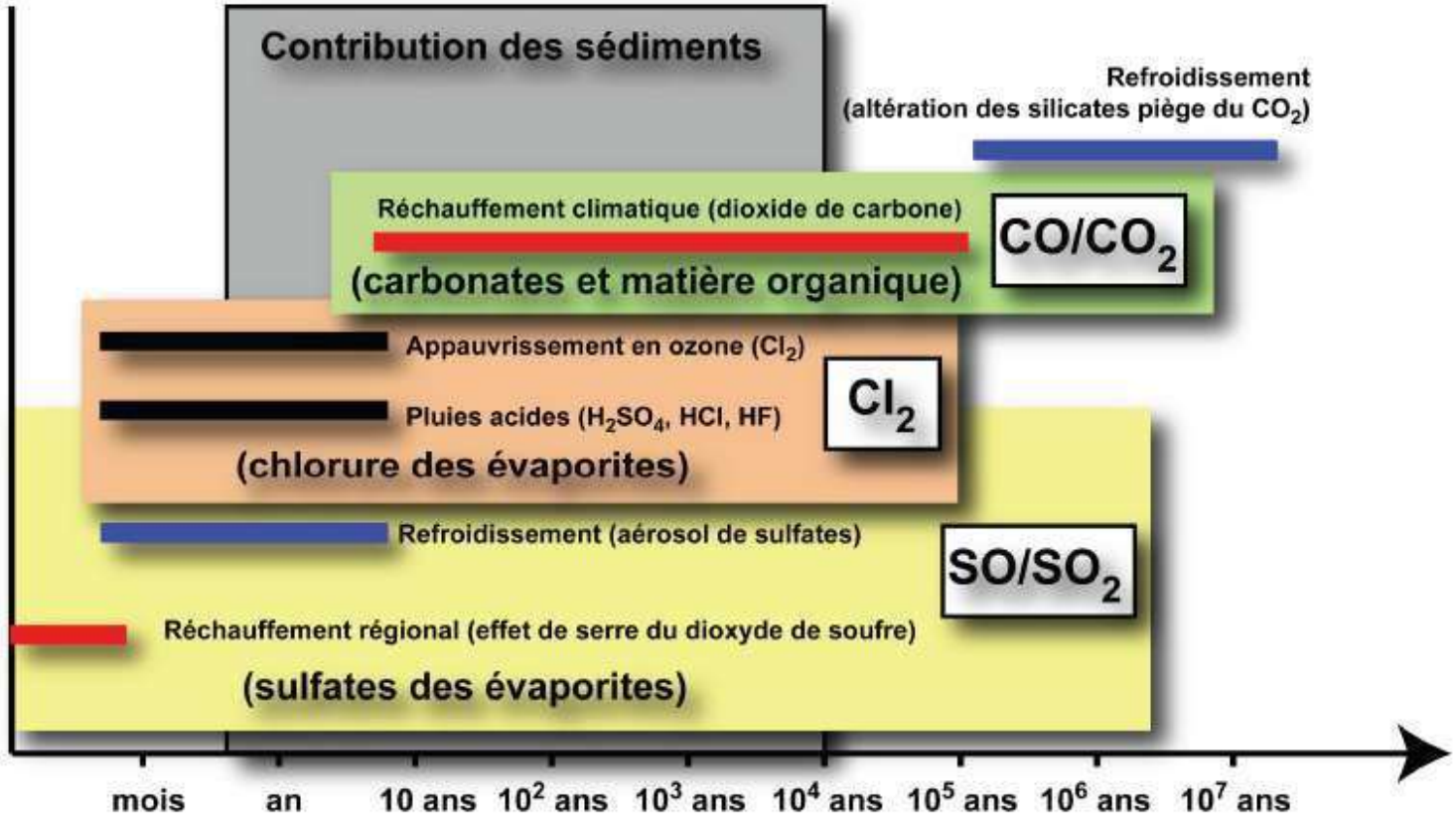


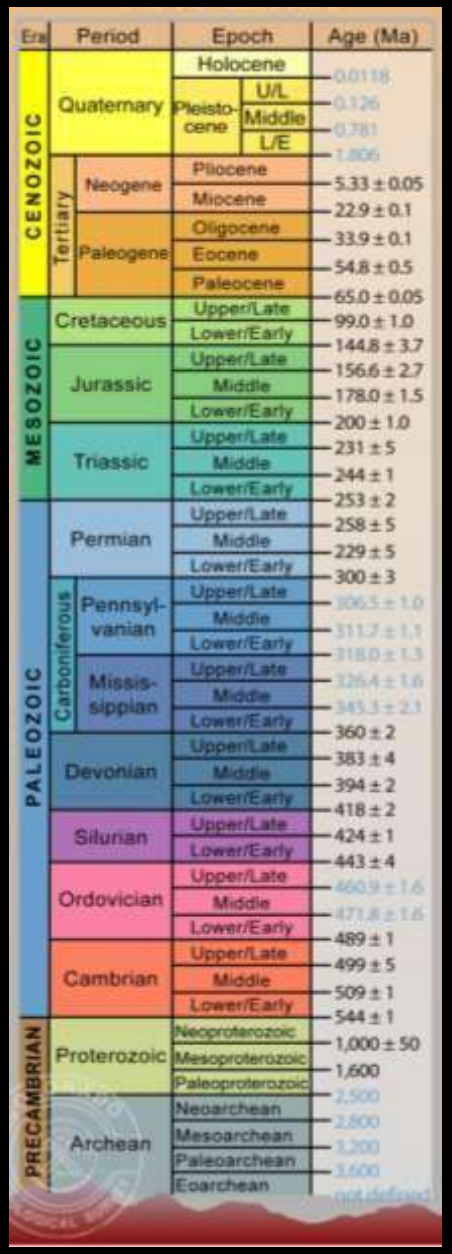
Figure 24 Conséquences sur l'environnement de l'émission de grands volumes de gaz lors de la mise en place de grands volumes de magma dans des sédiments. Les principaux gaz d'origine magmatique impliqués sont SO/SO_2, Cl_2 et CO/CO_2. Le métamorphisme de contact de roches sédimentaires peut considérablement amplifier chacune de ces émissions.

AUTRES CRISES

FIN du TRIAS (-200 Ma)

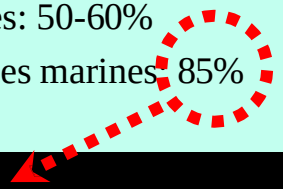
FIN du DEVONIEN (-365 Ma)

FIN de l'ORDOVICIEN (-443 Ma)



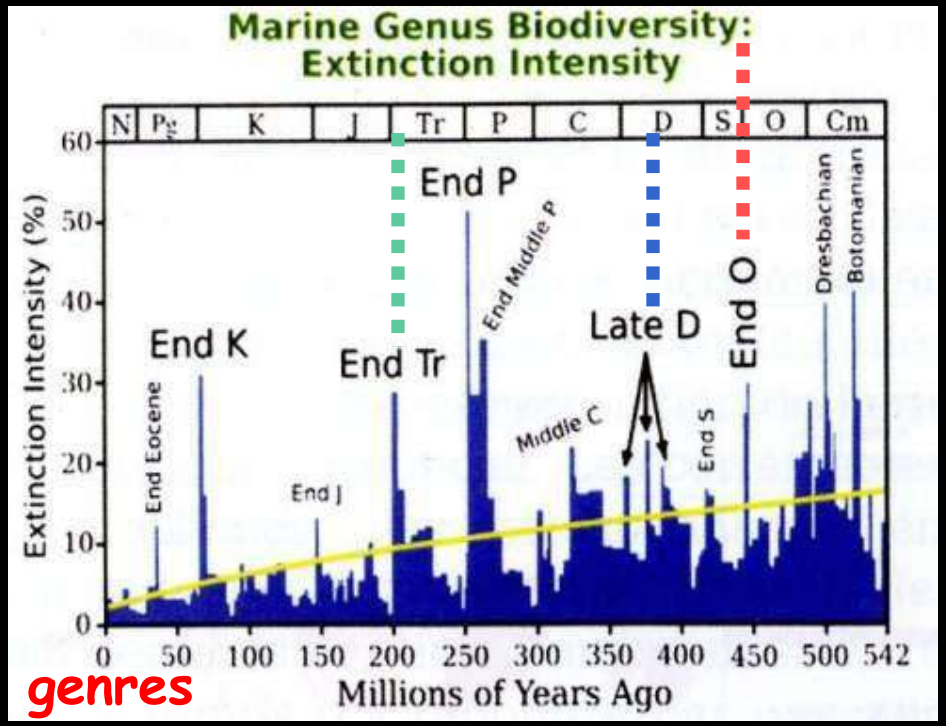
Synthèse des faits

	FIN DE L'ORDOVICIEN	DEVONIEN SUPERIEUR	TRIAS SUPERIEUR
Causes majeures avancées	•Glaciation > refroidissement et régression (1) •Dérive continentale •Transgression et anoxie (2)	•Réchauffement •Transgression et dysoxie (1) •Météorites •Refroidissement et régression (2)	•Météorite •Volcanisme •Réchauffement •Régression (1) •Transgression (2)
Milieux et Groupes concernés	*Milieu récifal tropical* •Coraux solitaires •Bryozoaires •Brachiopodes •Graptolites •Échinodermes •Trilobites	*Milieu récifal tropical* •Coraux coloniaux •Stromatopiridés •Brachiopodes •Ostracodes •Trilobites •Poissons agnathes	*Milieu récifal tropical* •Ammonoïdes •Nautiloïdes •Conodontes •Poissons placodontes •Amphibiens •Reptiles marins
Pourcentages de taxons disparus	Familles: 20-26% Genres: 50-60% Espèces marines: 85%	Familles: 21-22% Genres: 47-57% Espèces marines: 70-80%	Familles: 22-23% Genres: 40-53% Espèces marines: 75%



immenses plateaux continentaux et grandes mers épicontinentales qui abritent 90% des espèces marines

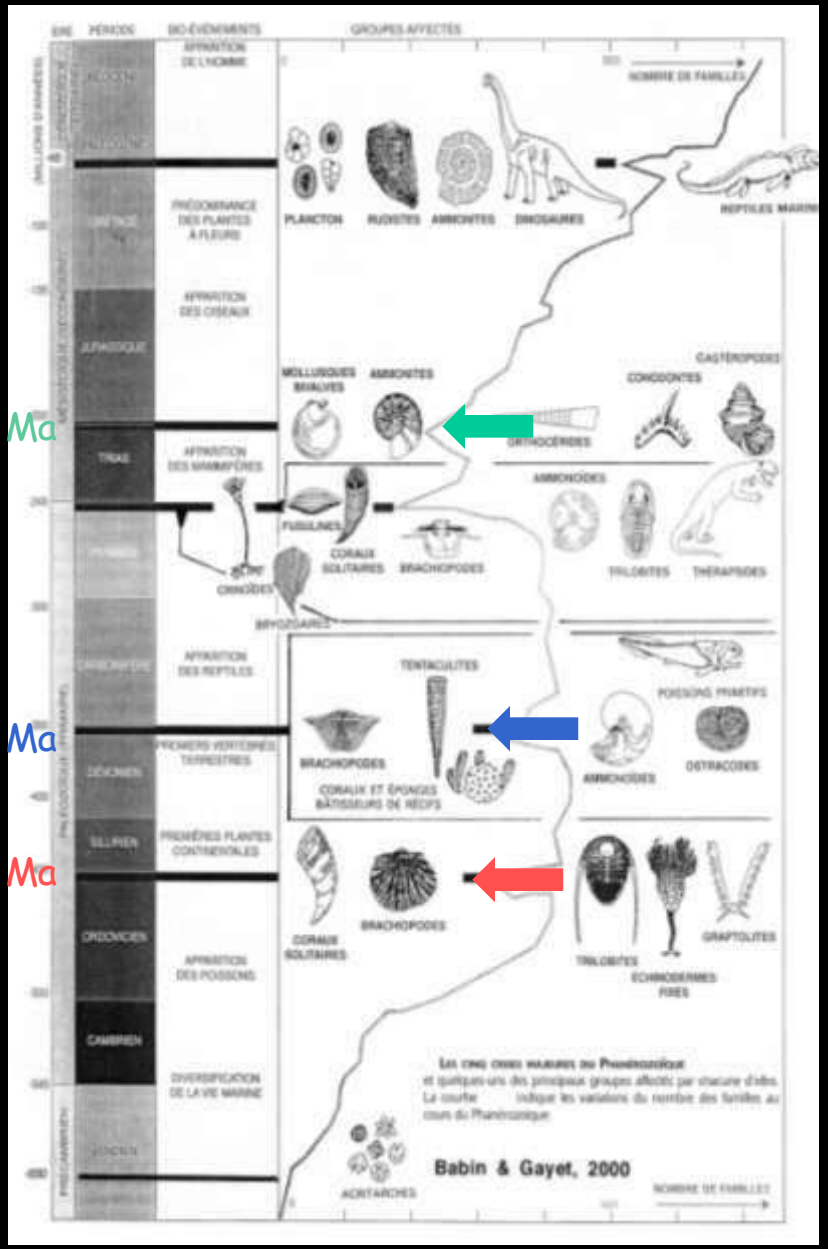
Synthèse des faits



-205 Ma

-365 Ma

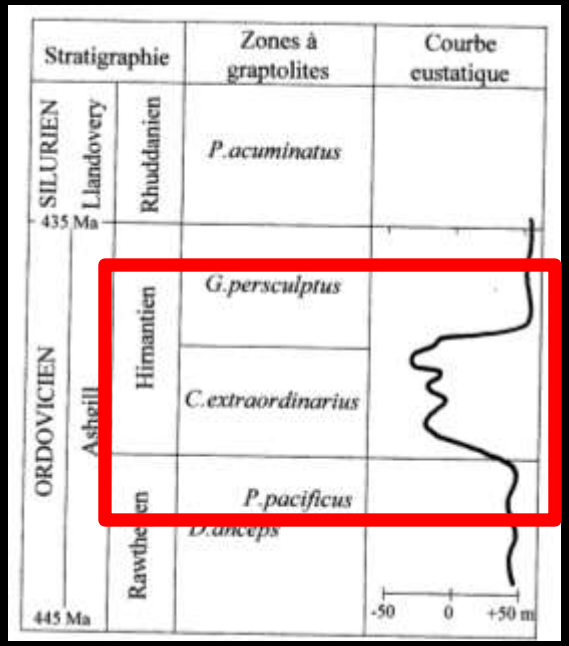
-435 Ma



CRISE de la FIN de l'ORDOVICIEN (-443 Ma)

Critère temporel: durée de 1 à 2 Ma

2 phases: «événement pacificus» de la limite Raxtheyen-Hirnantien et intra-Hirnantien



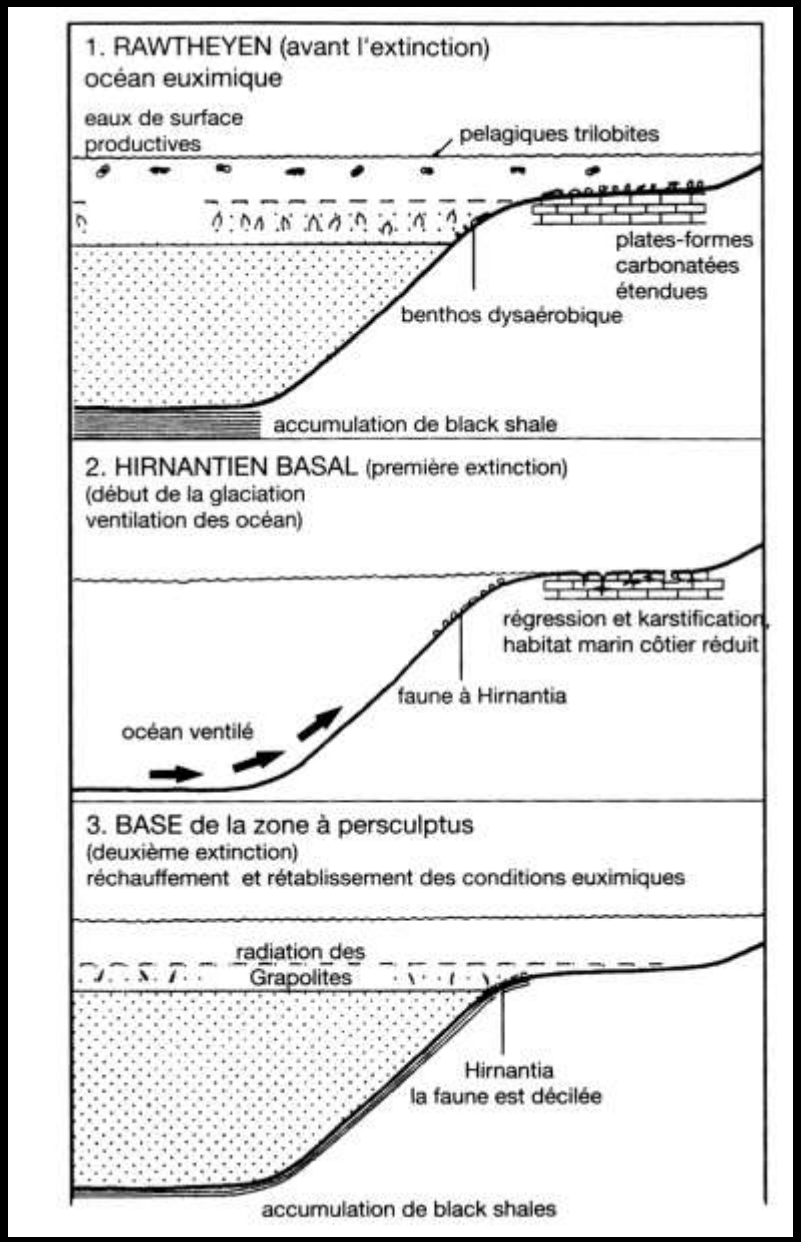
Faits biologiques

Crise aigue chez les trilobites (38 > 14 familles), les coraux (75% genres), graptolites, conodontes,...

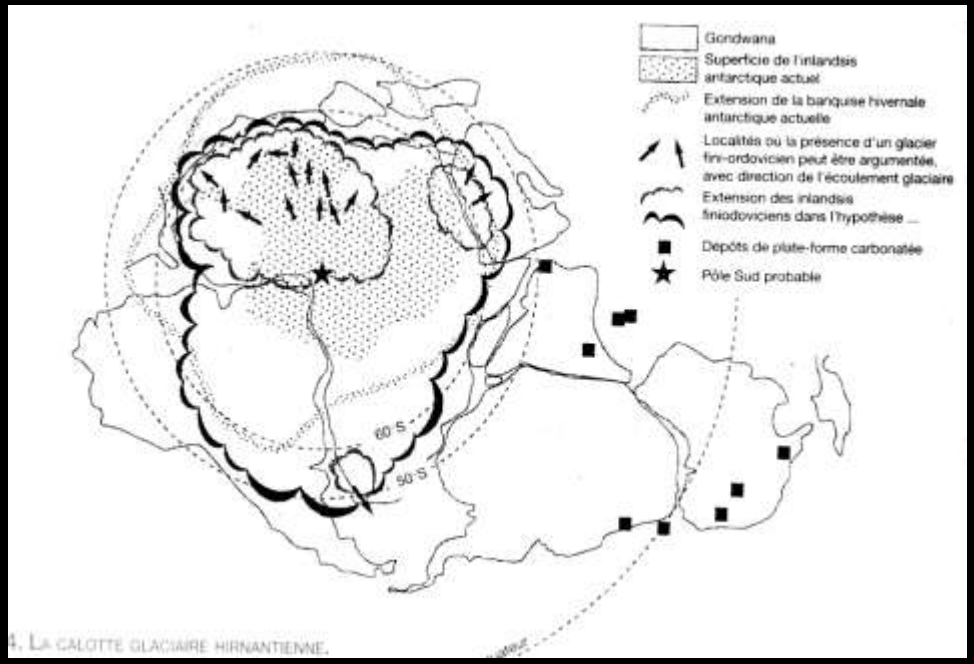
Caractères:

- Groupes atteints représentant du benthos (trilobites, brachiopodes,...) et pelagos (graptolites, nautiloïdes,...)
- Tous les phyla, classes et ordres subsistent mais faible diversité
- Colonisation des milieux profonds par groupes préadaptés

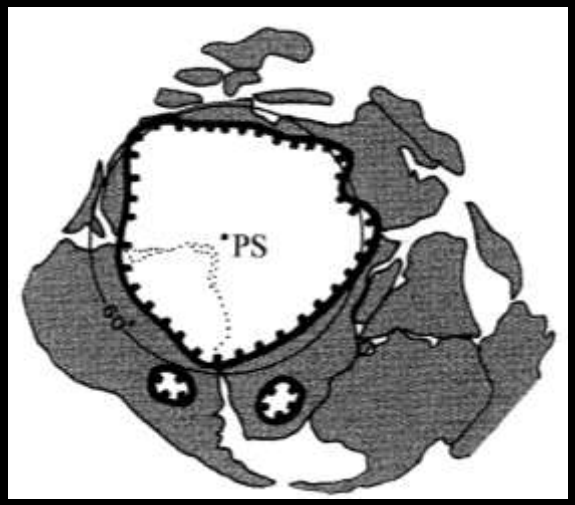
Crise Hirnantienne



Hirnantia



Causes possibles

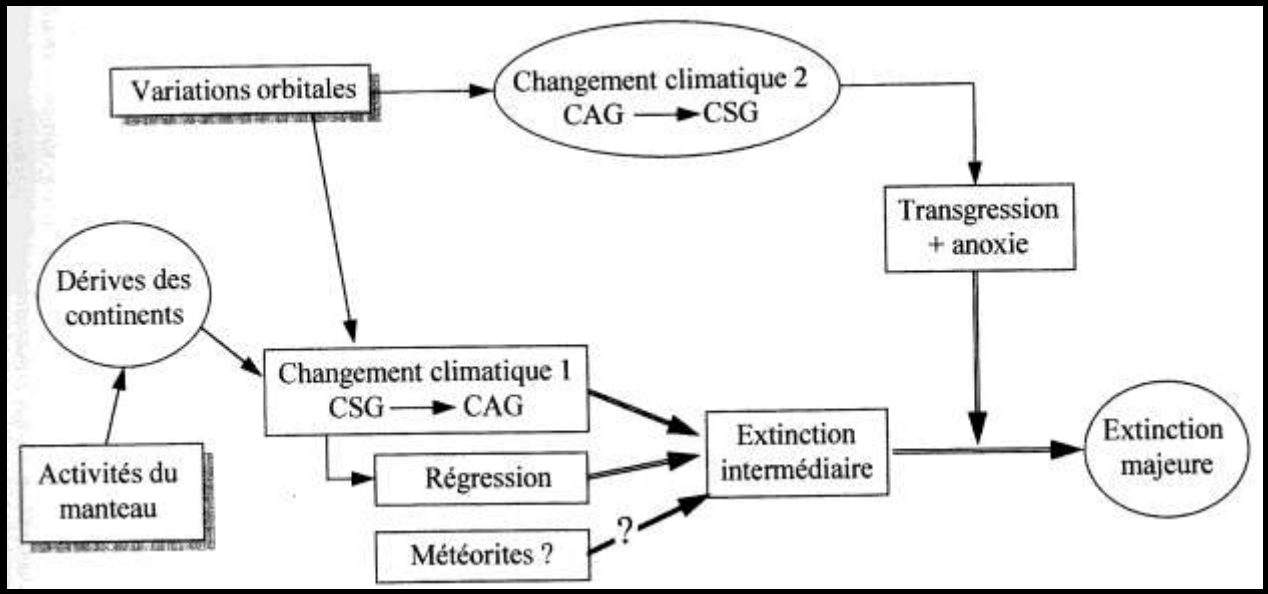


1a) Changement climatique rapide à l'Ordovicien supérieur
> glaciation à très forte extension géographique
> régression (100m)

1b) Dérive continentale
> modification de la courantologie et refroidissement des eaux peu profondes

2) Déglaciation > transgression à l'Ordovicien terminal avec anoxie

? Hypothèse d'un impact météorique très hypothétique



CRISE de la FIN du DEVONIEN (-365 Ma)

Critère temporel: durée de 10 Ma

Faits biologiques

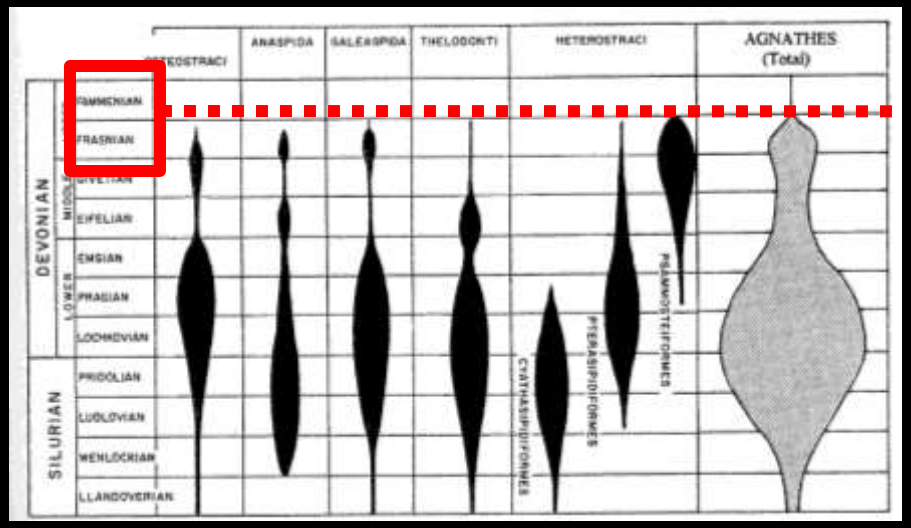
Benthos du milieu récifal benthique, qui disparaît totalement au passage Frasnien-Fammennien:

- crise aigue chez les coraux (80% genres), stromatopores (50%), brachiopodes (86%), ostracodes benthiques (80% espèces), foraminifères benthiques (70%),…

Pelagos:

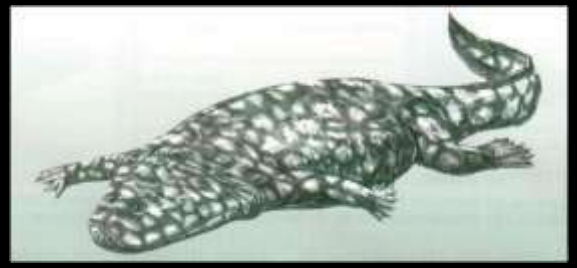
- disparition des tentaculites
- crise forte chez les ammonoïdes, conodontes,…
- relais fauniques chez les acritarches, algues vertes,…

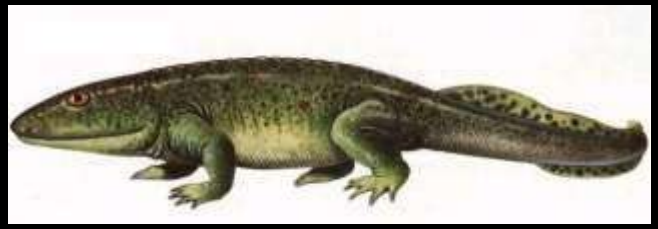
Vertébrés:



Sortie des eaux

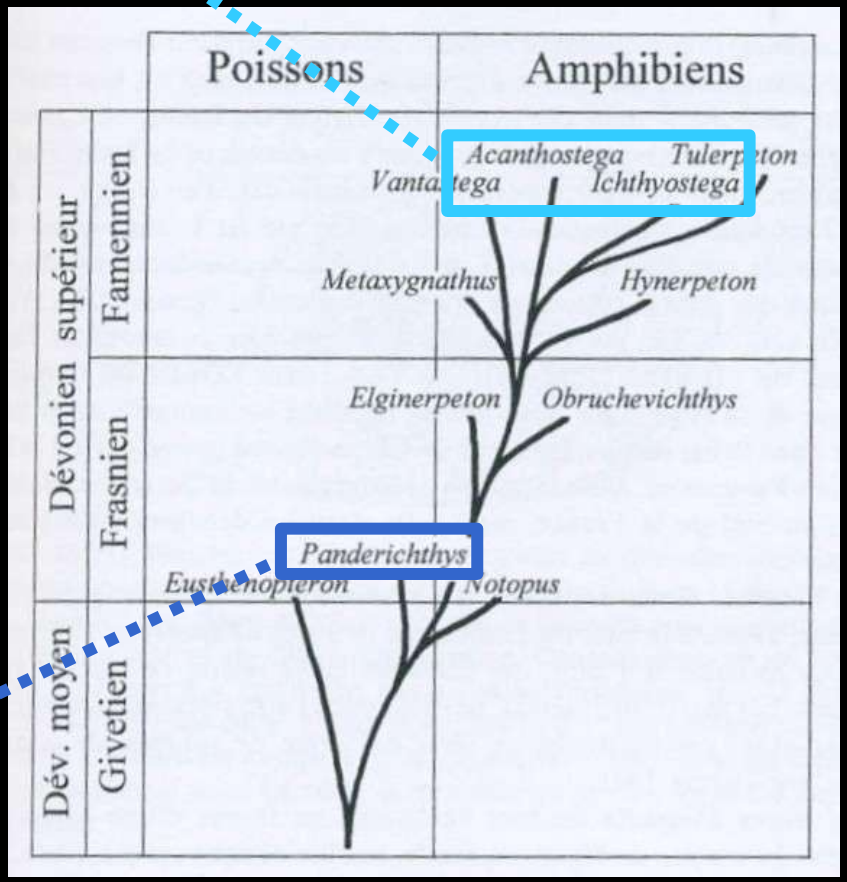
Amphibiens primitifs





Hypothèse paléogéographique:
développement de régions humides (lagunes, deltas, lacs,…) favorable à la colonisation des berges

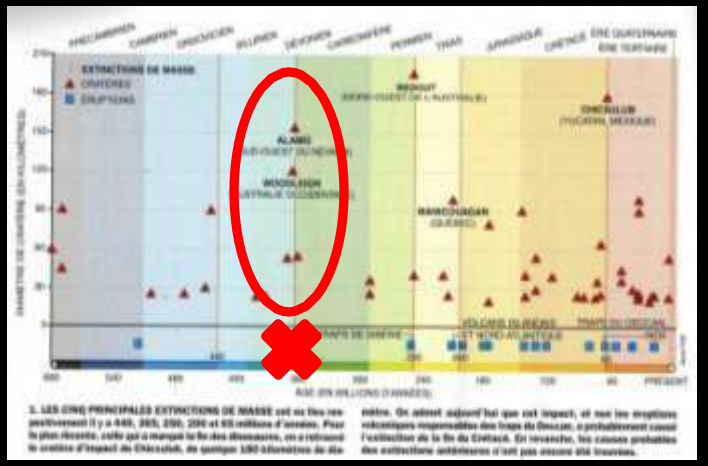
Sarcoptérygiens

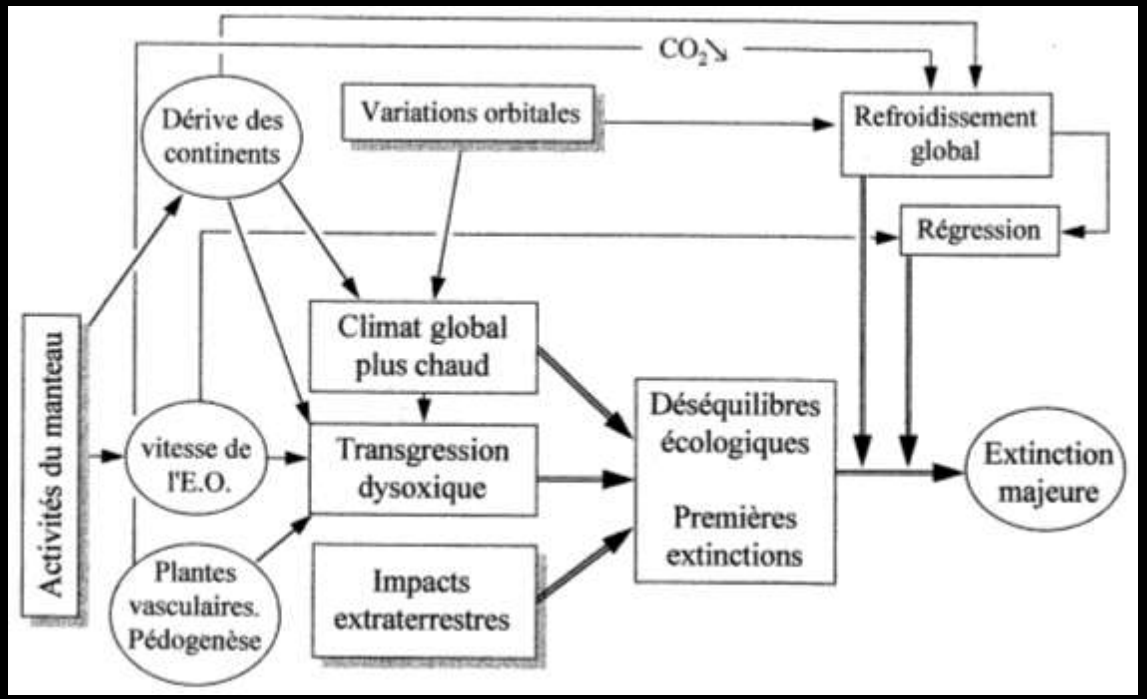


Causes possibles

1) Réchauffement au Givétien
2) Transgression maximale et dysoxie (baisse de l'oxygène dissout) au Frasnien supérieur
3) Série de «petits» impacts météoritiques

4) Refroidissement rapide au Famennien basal et forte régression





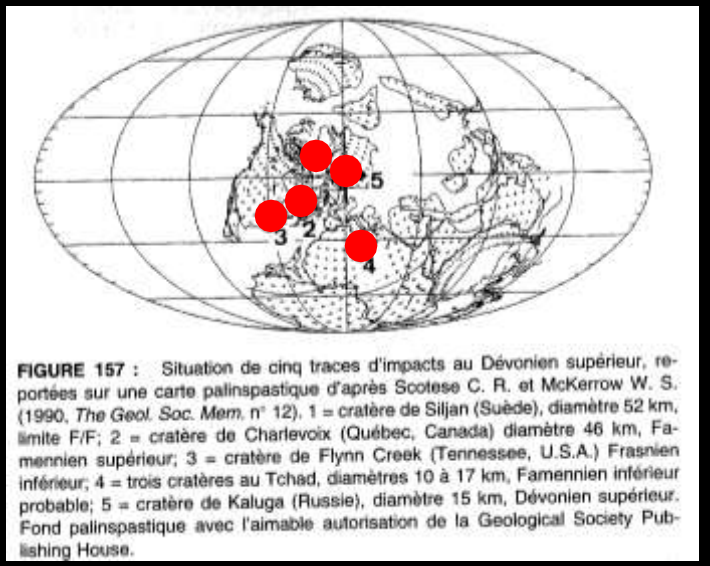
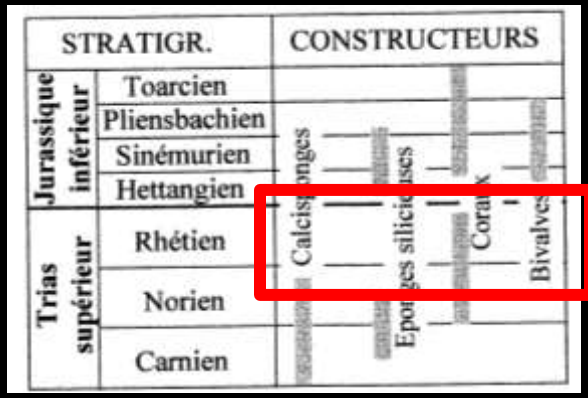


FIGURE 157 : Situation de cinq traces d'impacts au Dévonien supérieur, reportées sur une carte palinspastique d'après Scotese C. R. et McKerrow W. S. (1990, *The Geol. Soc. Mem.* n° 12). 1 = cratère de Siljan (Suède), diamètre 52 km, limite F/F; 2 = cratère de Charlevoix (Québec, Canada) diamètre 46 km, Famennien supérieur; 3 = cratère de Flynn Creek (Tennessee, U.S.A.) Frasnien inférieur; 4 = trois cratères au Tchad, diamètres 10 à 17 km, Famennien inférieur probable; 5 = cratère de Kaluga (Russie), diamètre 15 km, Dévonien supérieur. Fond palinspastique avec l'aimable autorisation de la Geological Society Publishing House.

CRISE de la FIN du TRIAS (-200 Ma)

Critère temporel: durée de 17 Ma



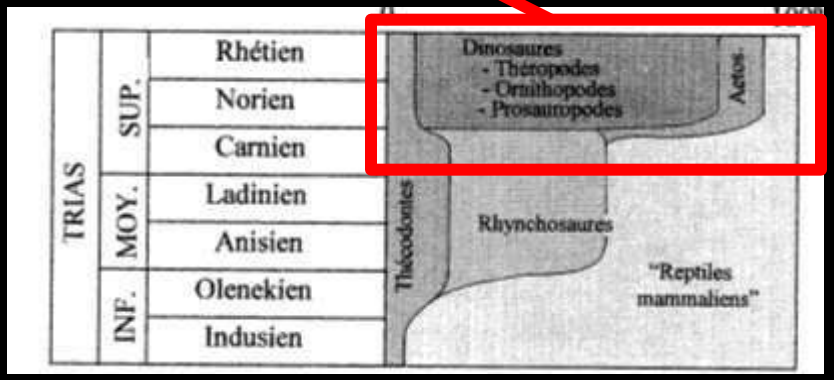
Faits biologiques

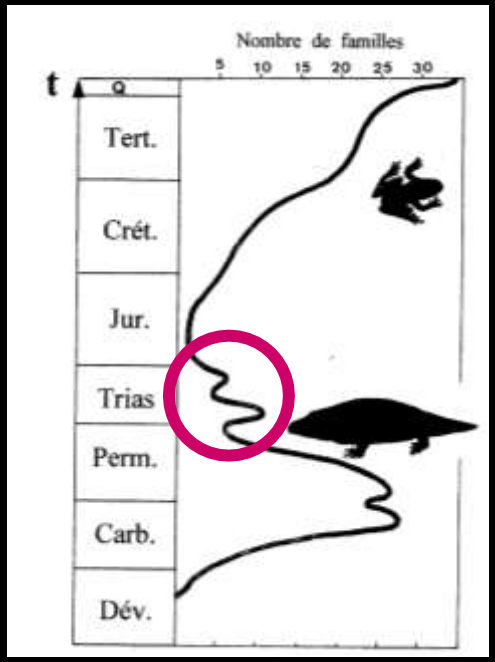
Dans les mers:

- disparition du milieu récifal
- disparition des conodontes
- crise aigue chez les céphalopodes, bivalves, reptiles marins (placodontes et nothosaures),…

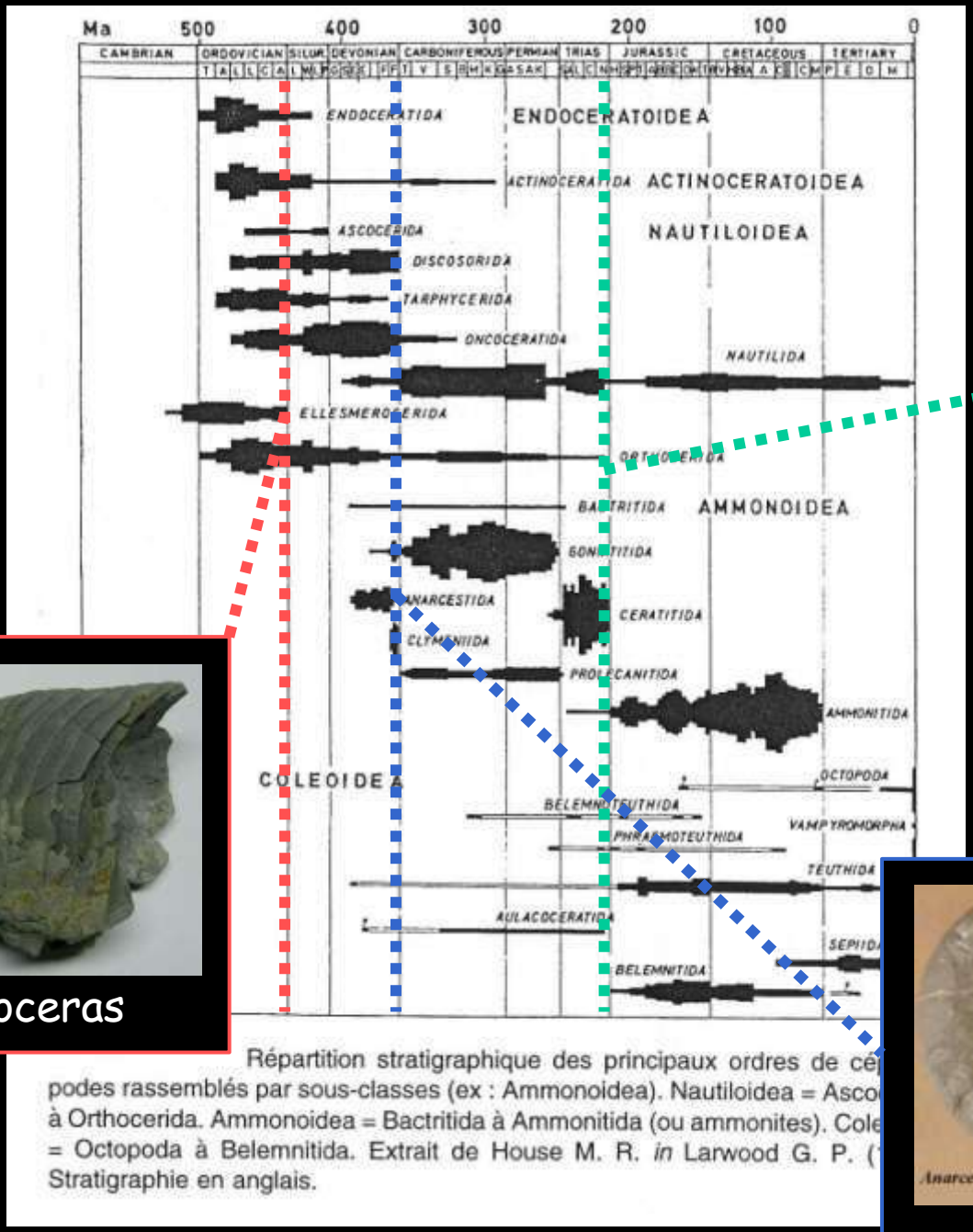
Sur les continents:

- turn-over
- apparition des premiers dinosaures
- crise chez les amphibiens





Céphalopodes



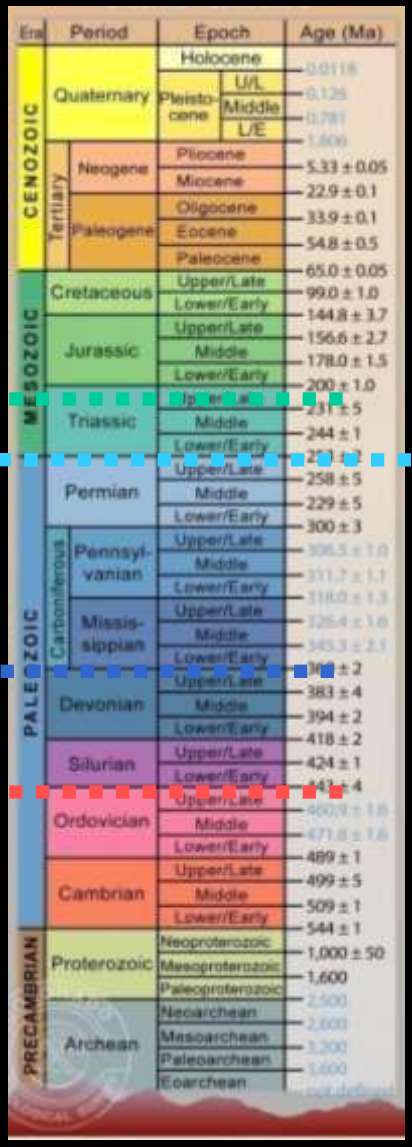
Répartition stratigraphique des principaux ordres de cé
podes rassemblés par sous-classes (ex : Ammonoidea). Nautiloidea = Asco
à Orthocerida. Ammonoidea = Bactritida à Ammonitida (ou ammonites). Cole
= Octopoda à Belemnitida. Extrait de House M. R. *in* Larwood G. P. (
Stratigraphie en anglais.

Orthoceras

Basslerocera

Anarcestes

Coraux



Hexacoralliaires

Tabulés

Tetracoralliaires

Astrocoenia

Aulosmilia

Favosites

Halysites

Calceola

Zaphrentis

CONCLUSIONS

Les crises biologiques sont dues à:

- des modifications dans la dynamique terrestre
- des événements extraterrestres

Ces événements terrestre ou extraterrestres conduisent à:

- du volcanisme
- des régressions et transgressions
- des changements climatiques
- des variations de la salinité
- des anoxies et dysoxies
- des impacts de météorites

La conjonction et la succession «rapide» de ces phénomènes géologiques conduisent aux grandes crises biologiques

Les grandes crises biologiques sont un facteur majeur de l'évolution (disparitions - apparitions) de la vie sur la Terre

Et l'action de l'Homme ? Une sixième crise ?

Vertébrés disparus

Oiseaux	Toutes espèces confondues	**258**
Mammifères	Marsupiaux	11
	Insectivores	12
	Chiroptères	7
	Primates	3
	Lagomorphes	1
	Rongeurs	30
	Carnivores	25
	Pinnipèdes	2
	Proboscidiens	2
	Siréniens	1
	Périssodactyles	6
	Artiodactyles	6
	TOTAL	**106**

Amphibiens	Anoures	1
	Discoglossidés	1
	TOTAL	**2**
Poissons	Catostomatidés	4
	Coregonidés	²
	Crottidés	1
	Cyprinidés	6
	Cyprinodontidés	6
	Protoctidés	1
	TOTAL	**20**
Reptiles	Tortues	12
	Crocodiles	2
	Lézards	12
	Serpents	8
	TOTAL	**34**

Une sixième crise !

Les causes :

- Destruction des habitats directe (déforestation,) ou indirecte (changement climatique , pollutions) > 30.000 espèces / an !!!
- Invasions par des espèces allogènes
- Elimination par la pêche

La grande « nouveauté » : pour la première fois, la crise est due à l'action d'une espèce, NOUS, et non à des phénomènes physiques !!!