

LES GRANDES CRISES BIOLOGIQUES

-

Une illustration par les données paléontologiques et géologiques

Emmanuel ROBERT

Ingénieur de recherche à l'Observatoire de Grenoble (OSUG)

Chargé des collections paléontologiques



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

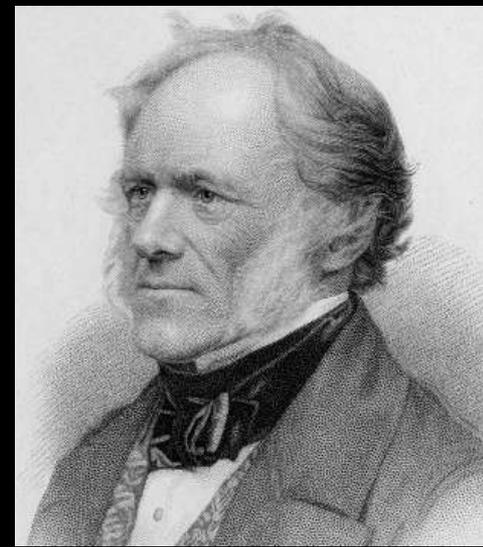
- *s'inspire des travaux de De Maillet (1656-1738)*
- introduit la notion **d'irréversibilité du temps** :
 - 1) empilement des strates livre le déroulement du temps;
 - 2) histoire de la Terre a une durée de 75.000 ans = long refroidissement (subdivisé en 7 périodes).





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



Eonothem Eon	Era Eratheum Era	System Period	Series Epoch	Stage Age	Age Ma	GSSP		
Phanerozoic	Cenozoic	Quaternary*	Holocene		0.0118			
			Pleistocene	Upper		0.126		
				Middle		0.781		
				Lower		1.806	▶	
			Neogene	Pliocene	Gelasian		2.588	▶
					Piacenzian		3.600	▶
		Miocene		Zanclean		5.332	▶	
				Messinian		7.246	▶	
				Tortonian		11.608	▶	
				Serravallian		13.82	▶	
		Paleogene	Oligocene	Langhian		15.97	▶	
				Burdigalian		20.43	▶	
	Aquitanian				23.03	▶		
	Chatthian				28.4 ± 0.1	▶		
	Rupelian				33.9 ± 0.1	▶		
	Priabonian				37.2 ± 0.1	▶		
	Eocene		Bartonian		40.4 ± 0.2	▶		
			Lutetian		48.6 ± 0.2	▶		
			Ypresian		55.8 ± 0.2	▶		
			Thanetian		58.7 ± 0.2	▶		
	Paleocene		Selandian		61.7 ± 0.2	▶		
			Danian		65.5 ± 0.3	▶		
			Cretaceous	Upper	Maastrichtian		70.6 ± 0.6	▶
					Campanian		83.5 ± 0.7	▶
					Santonian		85.8 ± 0.7	▶
					Coniacian		89.3 ± 1.0	▶
	Lower	Turonian			93.5 ± 0.8	▶		
		Cenomanian			99.6 ± 0.9	▶		
Albian				112.0 ± 1.0	▶			
Aptian				125.0 ± 1.0	▶			
Mesozoic	Triassic	Upper	Burdigalian		130.0 ± 1.5	▶		
			Hauterivian		136.4 ± 2.0	▶		
			Valanginian		140.2 ± 3.0	▶		
		Middle	Barremian		145.5 ± 4.0	▶		
			Berriasian					

Eonothem Eon	Era Eratheum Era	System Period	Series Epoch	Stage Age	Age Ma	GSSP	
Phanerozoic	Mesozoic	Jurassic	Upper	Tithonian		145.5 ± 4.0	
				Kimmeridgian		150.8 ± 4.0	▶
				Oxfordian		155.7 ± 4.0	▶
			Middle	Callovian		161.2 ± 4.0	▶
				Bathonian		164.7 ± 4.0	▶
				Bajocian		167.7 ± 3.5	▶
		Lower	Aalenian		171.6 ± 3.0	▶	
			Toarcian		175.6 ± 2.0	▶	
			Pliensbachian		183.0 ± 1.5	▶	
			Sinemurian		189.6 ± 1.5	▶	
			Hettangian		196.5 ± 1.0	▶	
			Rhaetian		199.6 ± 0.6	▶	
	Paleozoic	Triassic	Upper	Norian		203.6 ± 1.5	▶
				Carnian		216.5 ± 2.0	▶
				Ladinian		228.0 ± 2.0	▶
			Middle	Anisian		237.0 ± 2.0	▶
				Anisian		245.0 ± 1.5	▶
		Lower	Olenekian		249.7 ± 0.7	▶	
			Induan		251.0 ± 0.4	▶	
			Changhsingian		253.8 ± 0.7	▶	
		Permian	Lopingian	Wuchiapingian		260.4 ± 0.7	▶
				Capitanian		265.6 ± 0.7	▶
	Wordian				268.0 ± 0.7	▶	
	Roadian				270.6 ± 0.7	▶	
	Kungurian				275.6 ± 0.7	▶	
	Artinskian				284.4 ± 0.7	▶	
	Cisuralian		Sakmarian		294.6 ± 0.8	▶	
			Asselian		299.0 ± 0.8	▶	
Gzhelian				303.9 ± 0.9	▶		
Kasimovian				306.5 ± 1.0	▶		
Moscovian				311.7 ± 1.1	▶		
Bashkirian				318.1 ± 1.3	▶		
Serpukhovian				326.4 ± 1.6	▶		
Carboniferous	Pennsylvanian	Viséan		345.3 ± 2.1	▶		
		Tournaisian		359.2 ± 2.5	▶		
		Lower					

Eonothem Eon	Era Eratheum Era	System Period	Series Epoch	Stage Age	Age Ma	GSSP	
Phanerozoic	Paleozoic	Devonian	Upper	Famennian		359.2 ± 2.5	
				Frasnian		374.5 ± 2.6	▶
				Givetian		385.3 ± 2.6	▶
			Middle	Emsian		391.8 ± 2.7	▶
				Eifelian		397.5 ± 2.7	▶
				Pragian		407.0 ± 2.8	▶
		Lower	Lochkovian		411.2 ± 2.8	▶	
			Pridoli		416.0 ± 2.8	▶	
			Ludfordian		418.7 ± 2.7	▶	
			Ludlow		421.3 ± 2.6	▶	
			Gorstian		422.9 ± 2.5	▶	
			Homerian		426.2 ± 2.4	▶	
	Silurian	Wenlock	Sheinwoodian		428.2 ± 2.3	▶	
			Telychian		436.0 ± 1.9	▶	
		Llandovery	Aeronian		439.0 ± 1.8	▶	
			Rhuddanian		443.7 ± 1.5	▶	
			Hirnantian		445.6 ± 1.5	▶	
	Ordovician	Upper	Katian		455.8 ± 1.6	▶	
			Sandbian		460.9 ± 1.6	▶	
			Darriwilian		468.1 ± 1.6	▶	
		Middle	Stage 3		471.8 ± 1.6	▶	
			Floian		478.6 ± 1.7	▶	
		Lower	Tremadocian		488.3 ± 1.7	▶	
			Stage 10		~ 492.0 *	▶	
			Stage 9		~ 496.0 *	▶	
			Paibian		501.0 ± 2.0	▶	
			Stage 7		~ 503.0 *	▶	
			Drumian		~ 506.5 *	▶	
Cambrian	Series 3	Stage 5		~ 510.0 *	▶		
		Stage 4		~ 517.0 *	▶		
		Stage 3		~ 521.0 *	▶		
	Series 2	Stage 2		~ 534.6 *	▶		
		Stage 1		542.0 ± 1.0	▶		

Eonothem Eon	Era Eratheum Era	System Period	Age Ma	GSSP GSSA	
Precambrian	Proterozoic	Neo-proterozoic	Ediacaran	542	▶
			Cryogenian	~630	▶
			Tonian	850	▶
		Meso-proterozoic	Stenian	1000	▶
			Ectasian	1200	▶
			Calymnian	1400	▶
	Archean	Paleo-proterozoic	Statherian	1600	▶
			Orosinian	1800	▶
			Rhyacian	2050	▶
		Neoproterozoic	Siderian	2300	▶
			Neoproterozoic	2500	▶
			Neoproterozoic	2800	▶
			Mesoarchean	3200	▶
			Paleoarchean	3600	▶
			Eoarchean	Lower limit not defined	▶

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 the 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 Geological Time Scale 2004', by F.M. Gradstein, J.G. Ogg, A.G. Smith, et al. (2004; Cambridge University Press).

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

Copyright © 2007 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.

DEFINITION

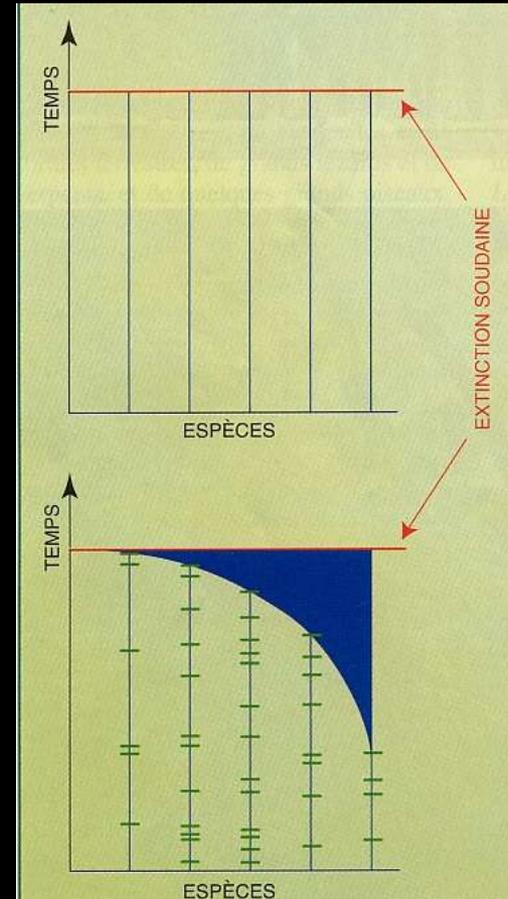
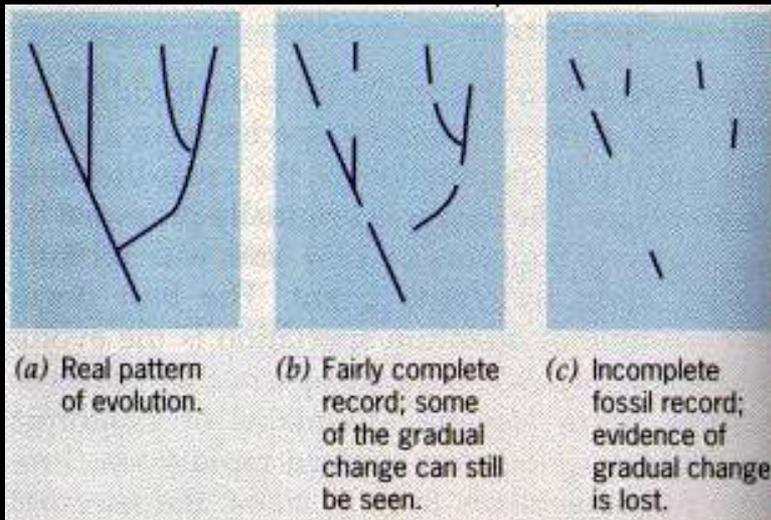
Crise biologique majeure (ou extinction de masse) =
disparition en masse d'espèces, dans un temps «court» et identifiable
à l'échelle globale

> 3 critères

- 1) Critère taxonomique: grand nombre espèces, genres, familles,...;
- 2) Critère temporel: «instantanéité»;
- 3) Critère paléogéographique: témoignages sur l'ensemble de la Terre.

Problème de définition des critères

Enregistrement paléontologiques incomplets

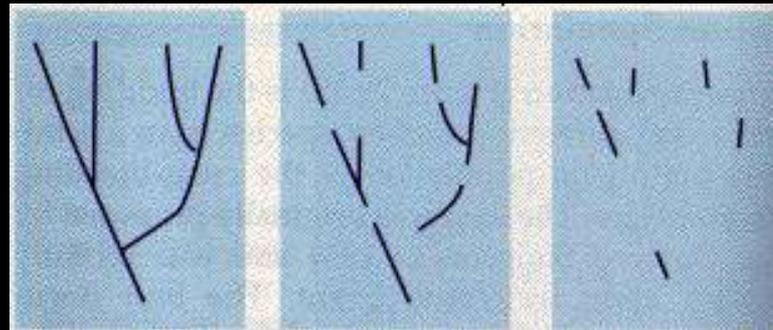


a. Idéalement (en haut), une extinction soudaine se manifeste par la disparition de plusieurs espèces (lignes verticales) à une date précise (ligne rouge horizontale). En pratique, toute extinction soudaine paraît graduelle à cause des lacunes dans l'enregistrement fossilifère (chaque tiret vert représente un fossile de l'espèce).

Estimation de la durée des événements et des étages

Erathem/ Ere	Système/ Période	Série/ Epoque	Etage	Age	Incertitude
Cénozoïque	Paléogène	Paléocène	Danien	65,5	+/- 0,3
Mésozoïque	Crétacé	Crétacé supérieur	Maestrichien		
Mésozoïque	Trias	Trias inférieur	Induan	251	+/- 0,4
Paléozoïque	Permien	Lopingien	Changhsingien		

Type de matériel (microfaune *versus* vertébrés)



Précision de l'échantillonnage, ...

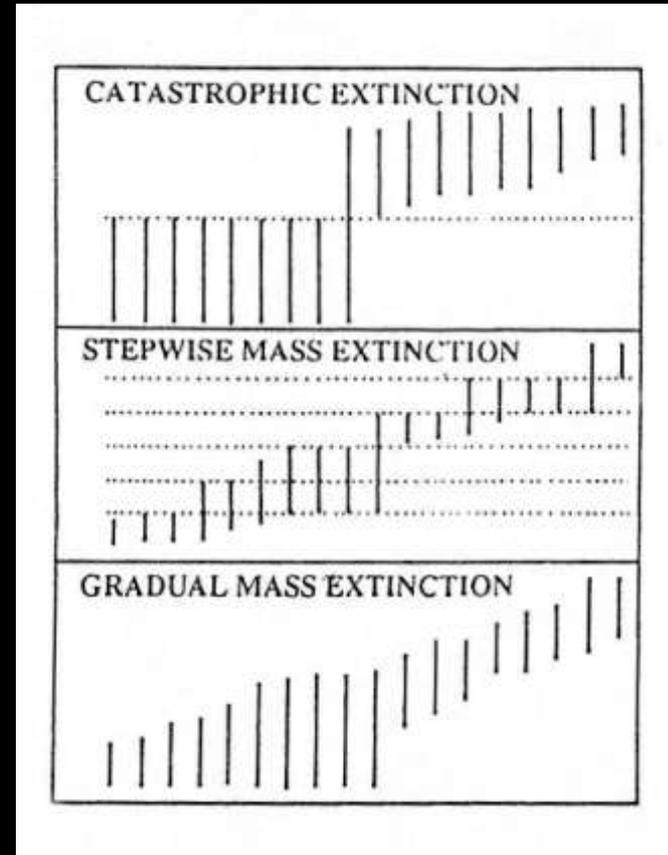
3 types de crises

catastrophiques



par étapes

graduelles



BIG FIVE

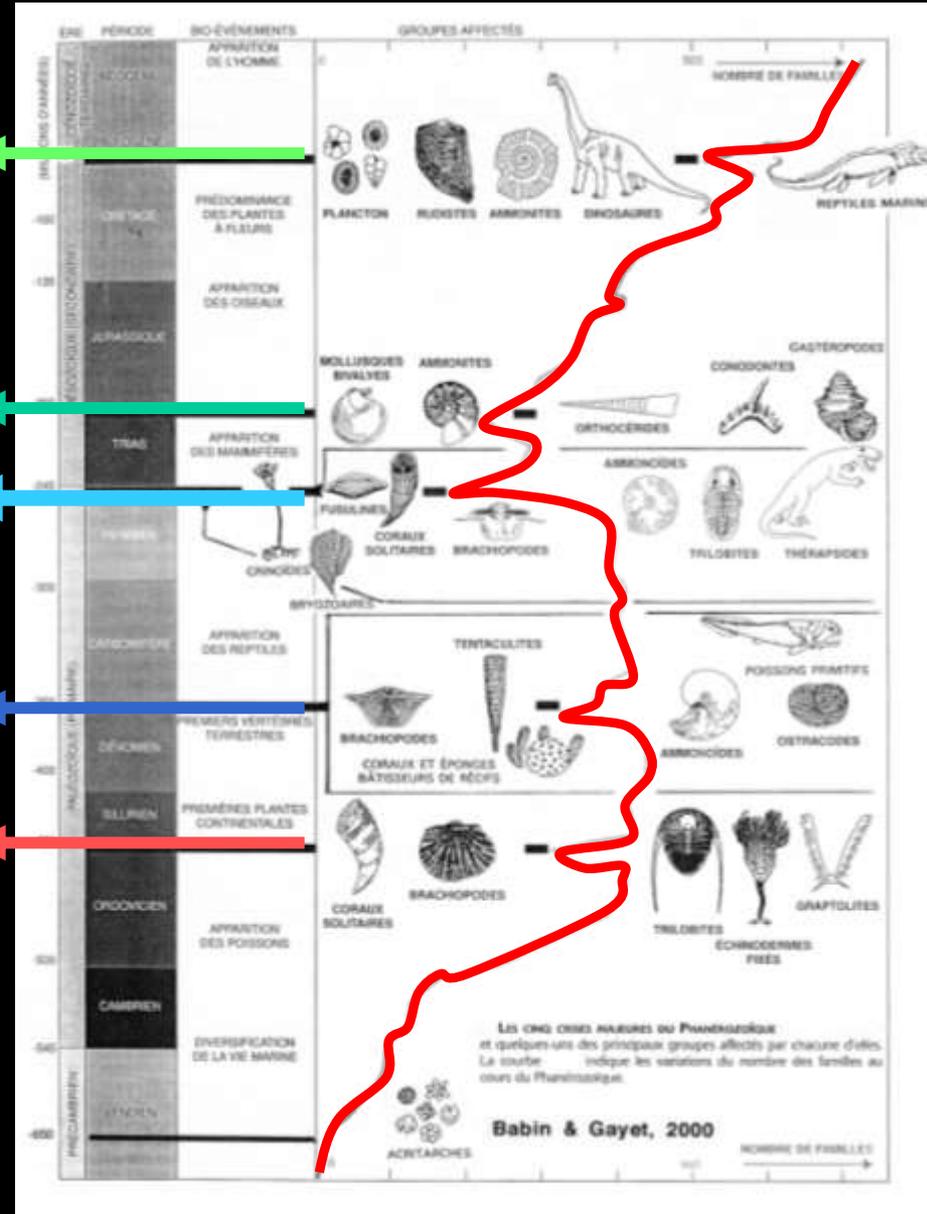
Fin du Crétacé (-65 Ma)

Fin du Trias (-200 Ma)

Fin du Permien (-251 Ma)

Dévonien supérieur (-365 Ma)

Fin de l'Ordovicien (-443 Ma)

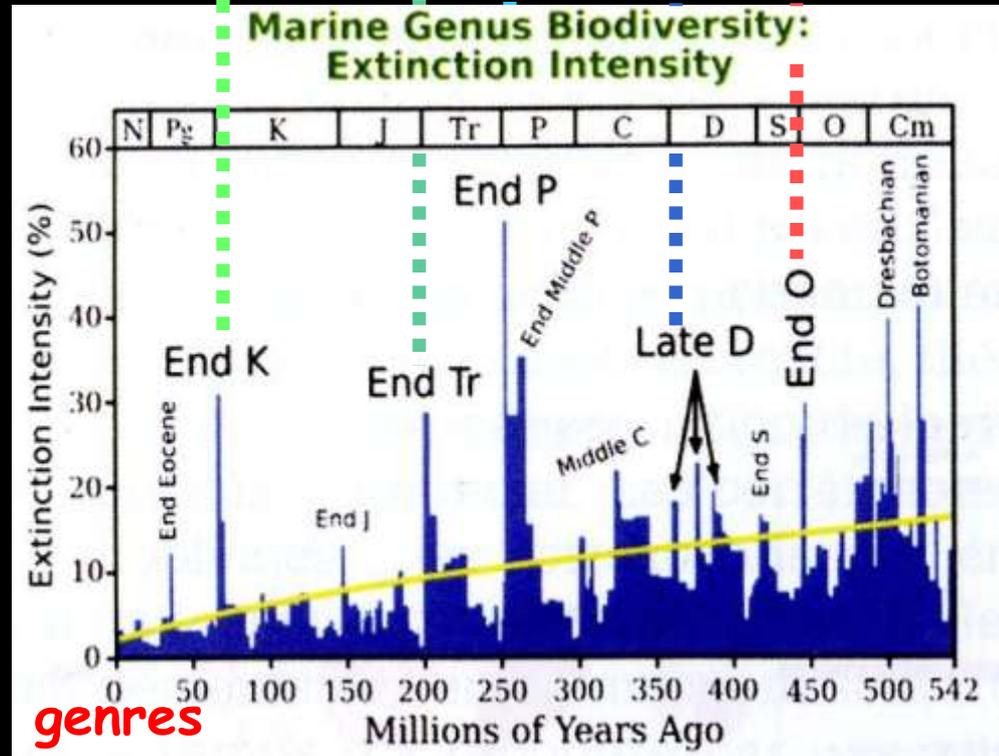
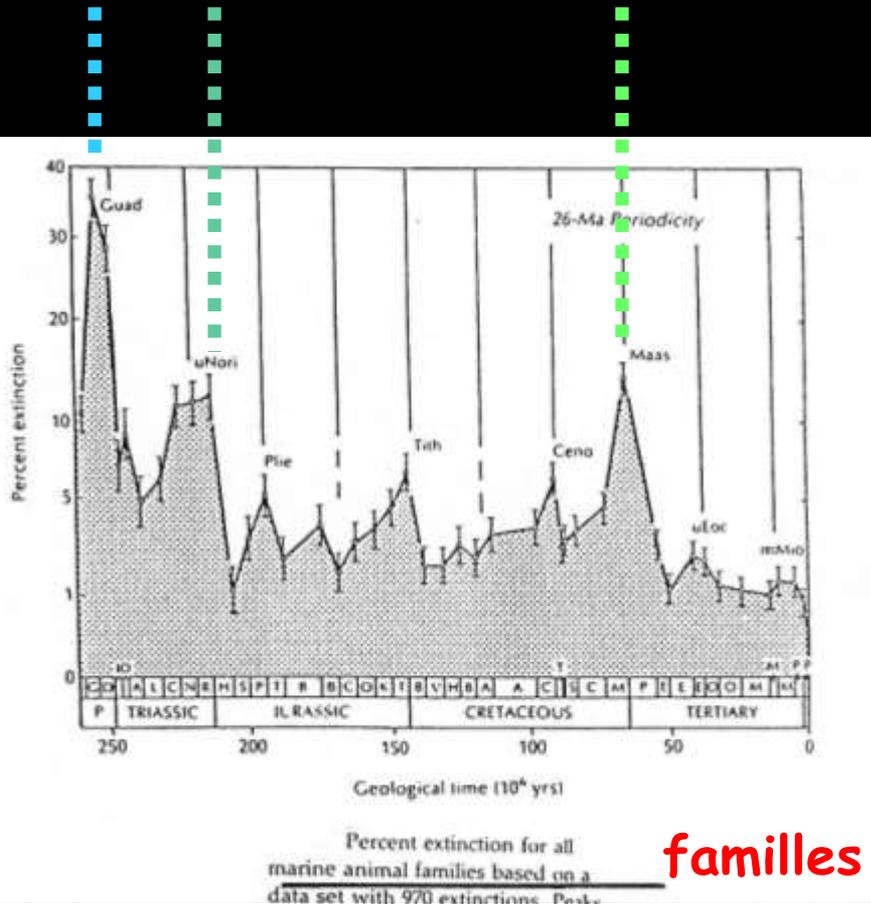


Vue générale

	FIN DE L'ORDOVICIEN	DEVONIEN SUPERIEUR	PERMIEN SUPERIEUR	TRIAS SUPERIEUR	LIMITE CRETACE/TERTIAIRE
Milieus et Groupes concernés	<i>Milieu récifal</i> <ul style="list-style-type: none"> •Coraux (solitaires) •Bryozoaires •Brachiopodes •Trilobites •Graptolites •Échinodermes 	<i>Milieu récifal</i> <ul style="list-style-type: none"> •Coraux tabulés •Stromatopiridés •Poissons (ostracodermes) •Trilobites •Brachiopodes •Conodontes •Tentaculites 	<i>Milieu récifal</i> <ul style="list-style-type: none"> •Trilobites •Coraux •Brachiopodes (articulés) •Gigantostracés •Fusulines 	<i>Milieu récifal</i> <ul style="list-style-type: none"> •Ammonoïdes •Nautiloïdes •Conodontes •Poissons placodontes •Amphibiens •Reptiles 	<ul style="list-style-type: none"> •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

Pourcentage de taxons disparus



Crises intermédiaires et mineures

Cénomaniens supérieur

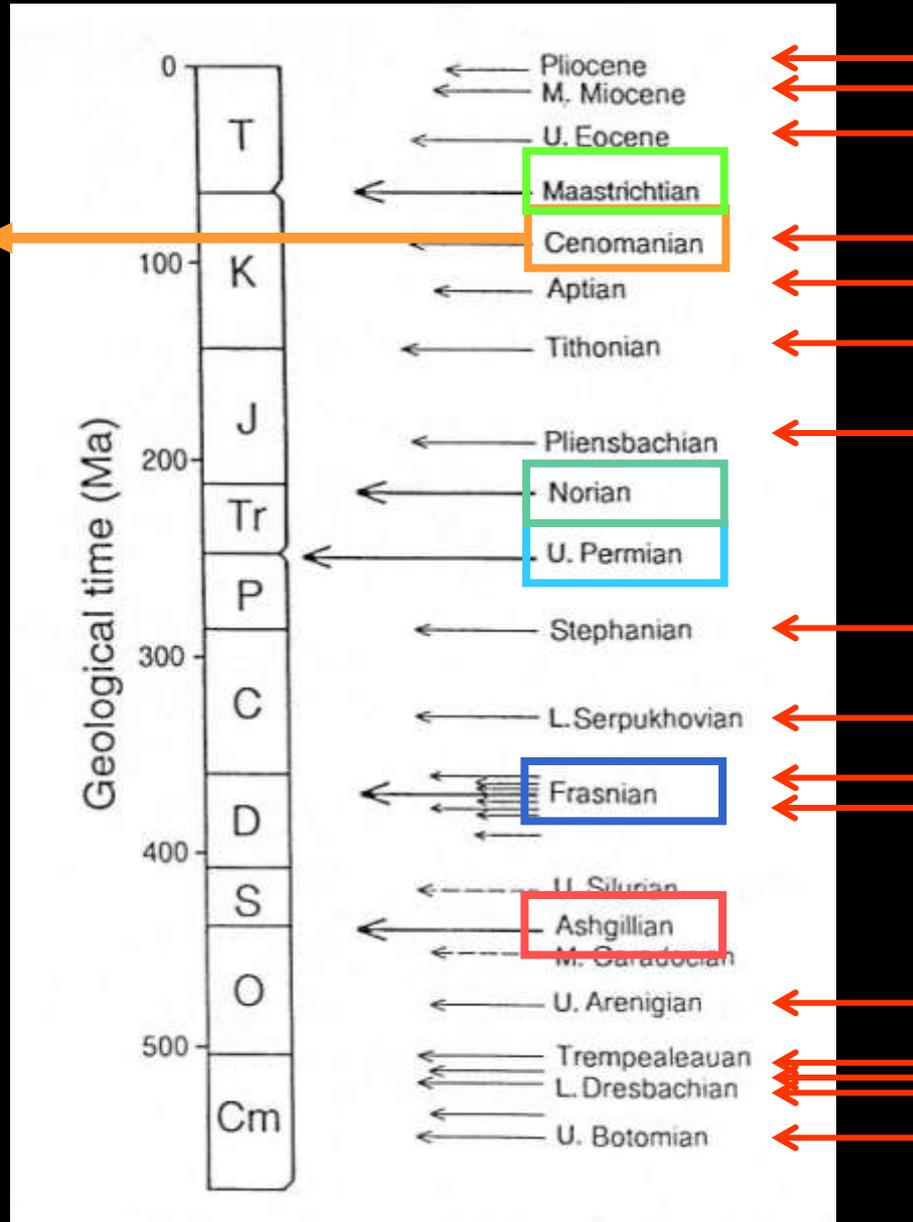
durée +/- 1 Ma

7% des familles

26% des genres marins

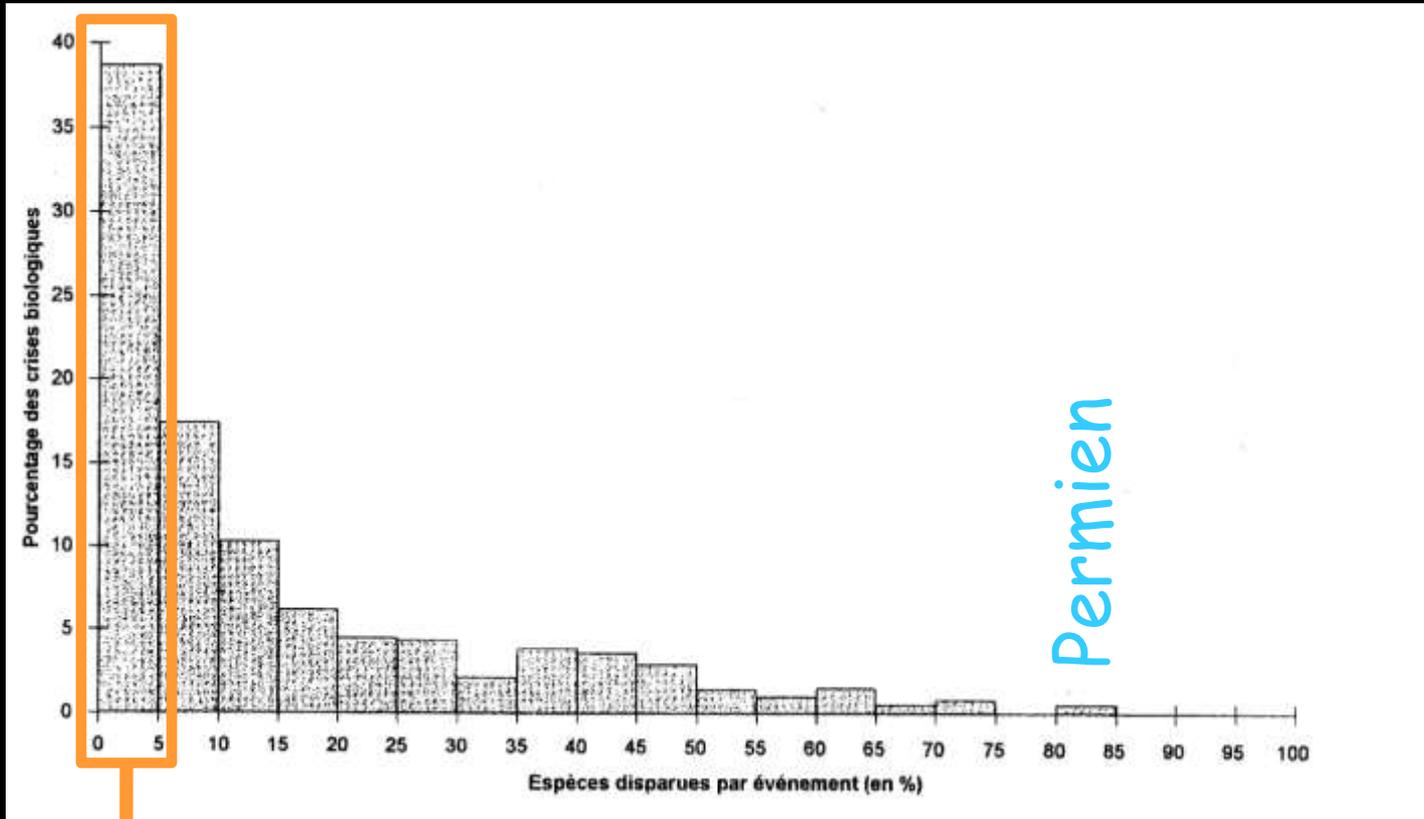
Phase 1: peuplements benthiques: rudistes, foraminifères, ostracodes

Phase 2: organismes planctoniques : phytoplancton, foraminifères



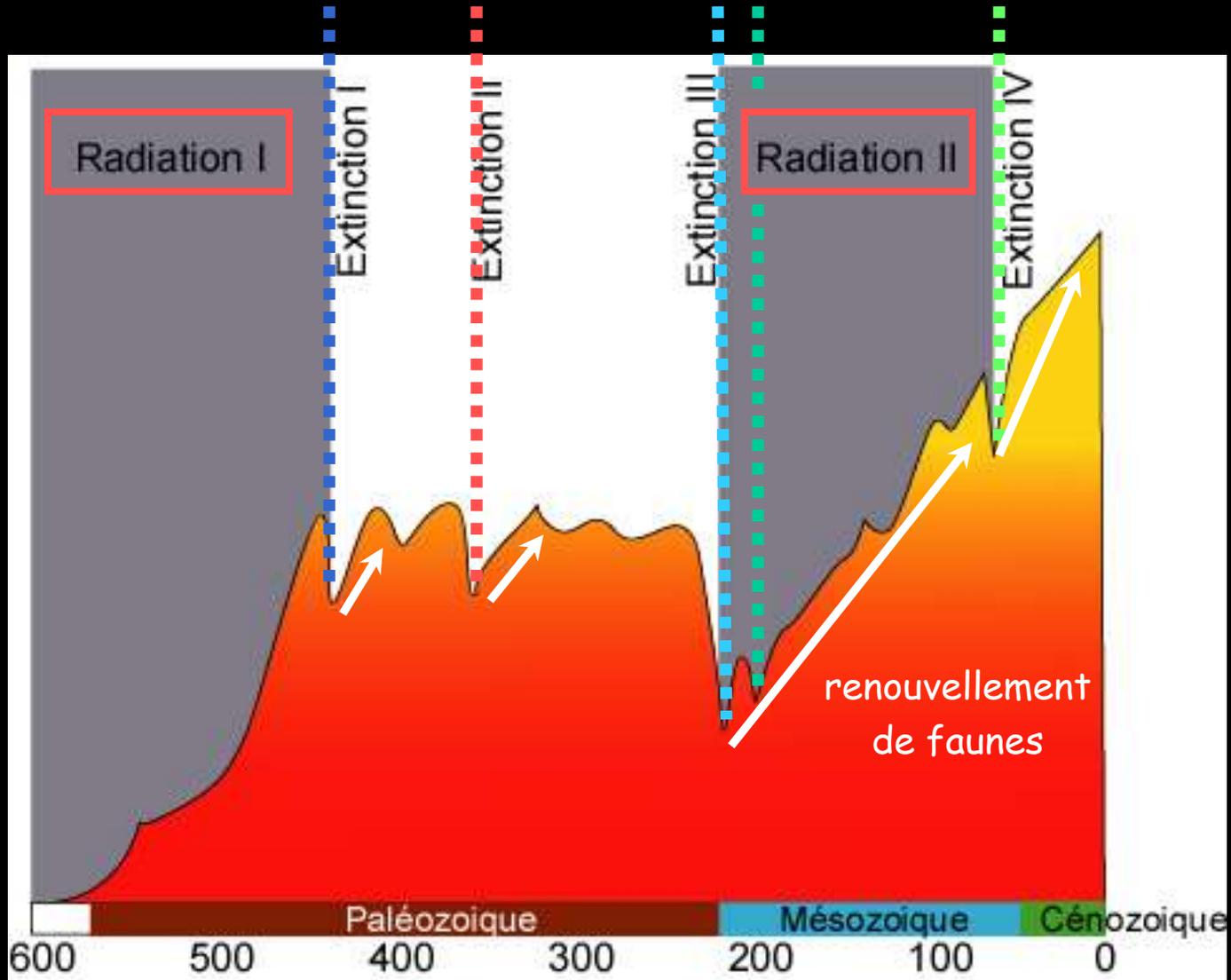
plus de 30 crises intermédiaires et mineures

De l'importance des crises intermédiaires



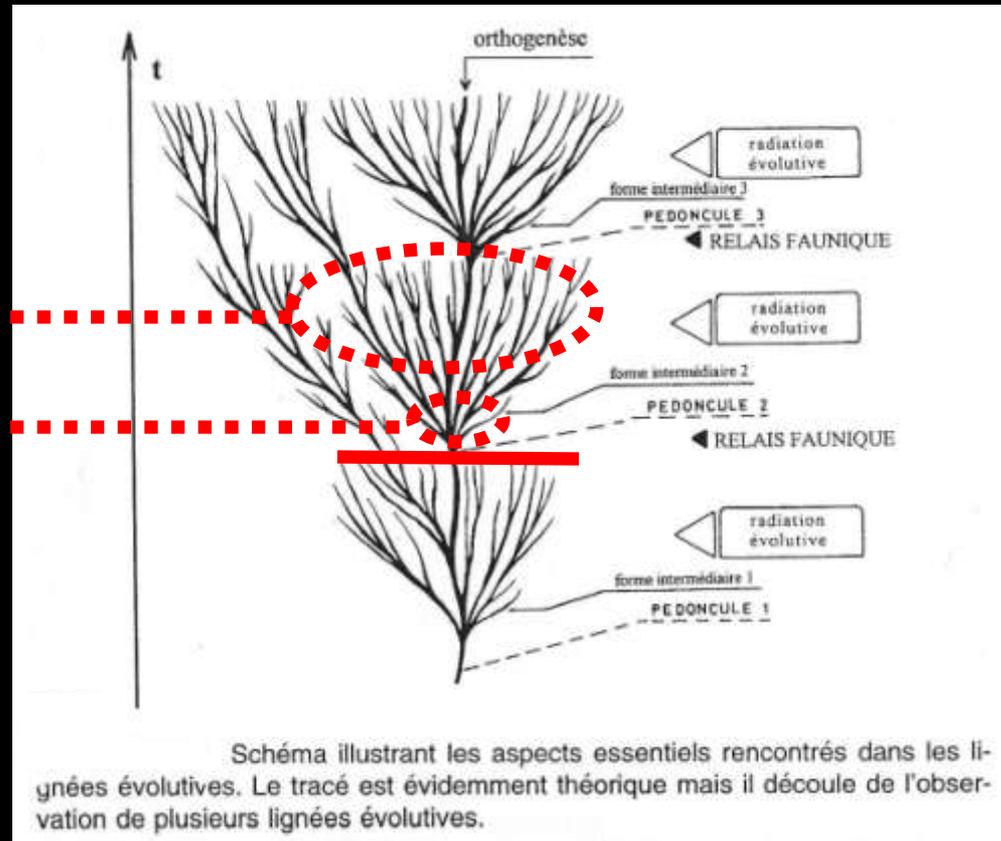
40% des disparitions sont dues aux petites crises (classe 0-5%) !

Crises = moteur de l'évolution

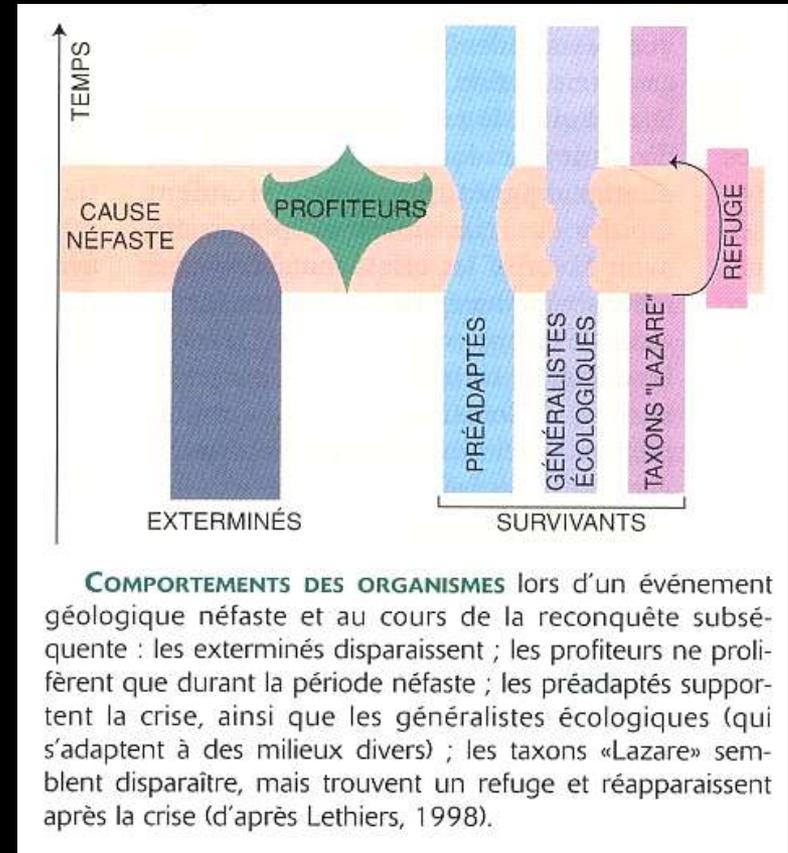
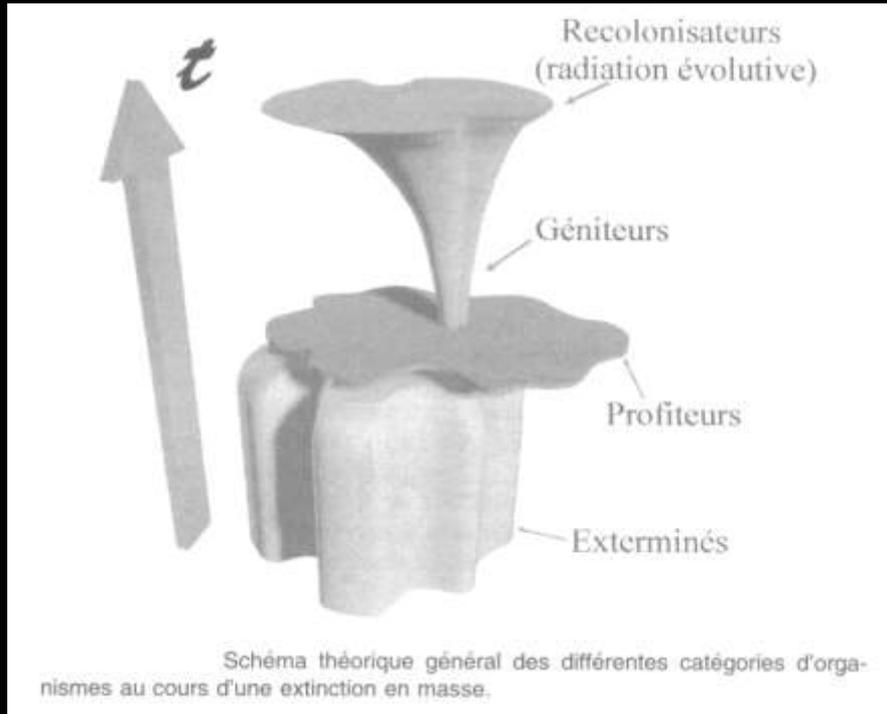


recolonisateurs

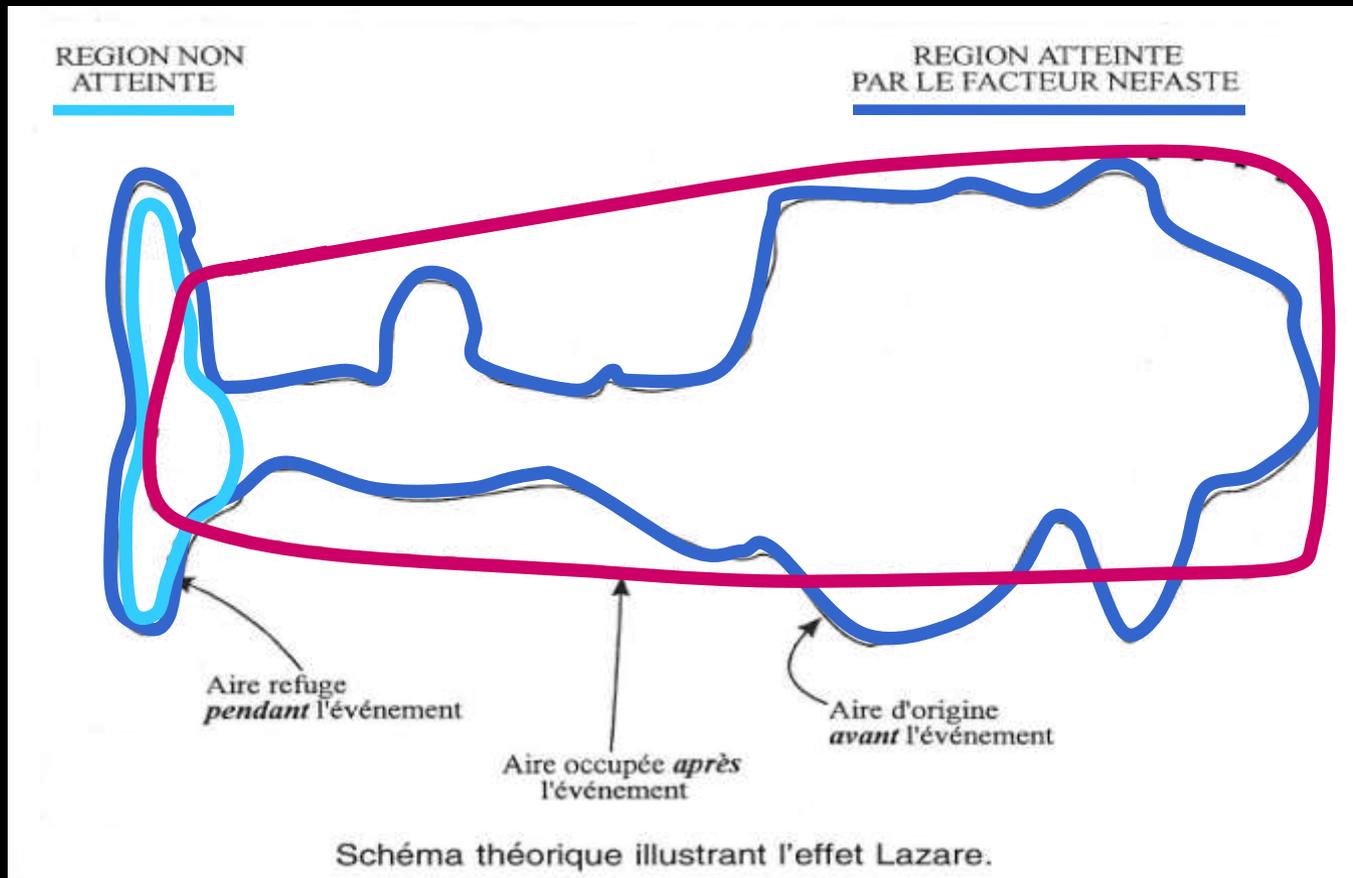
générateurs



Stratégies adaptatives des organismes (terminologie)

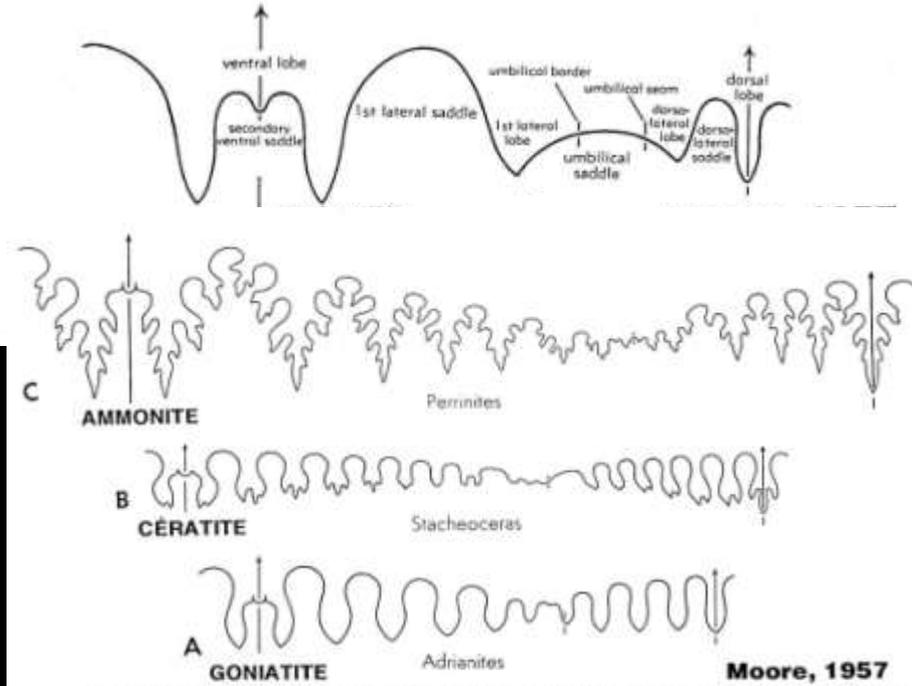
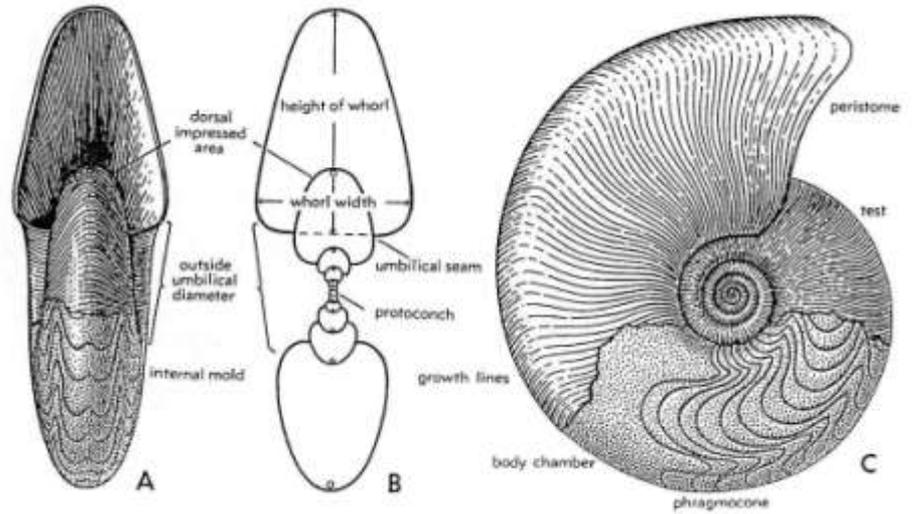
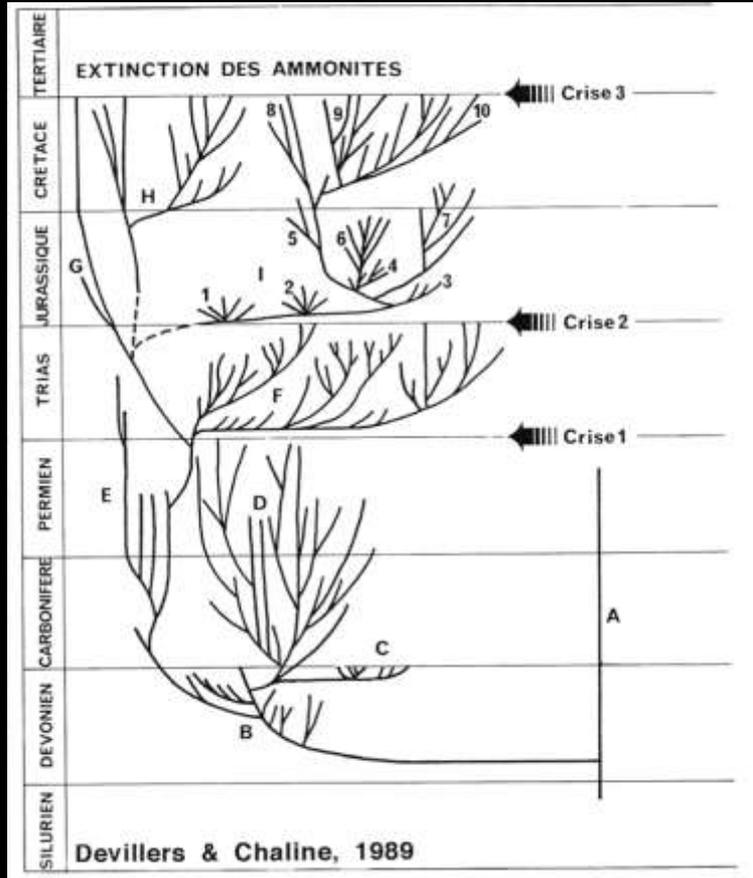


Stratégies adaptatives des organismes (terminologie)



Remarque: l'existence des taxons survivants aux crises est un autre argument anti-créationnisme.

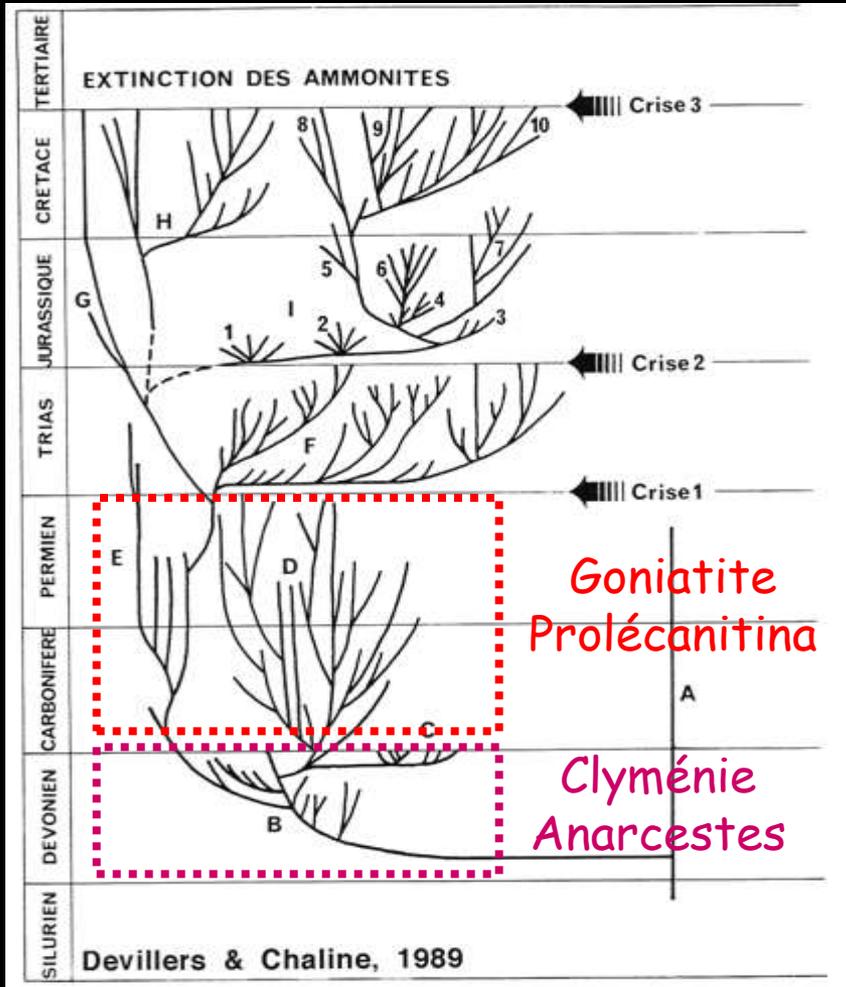
Exemple des ammonoïdes



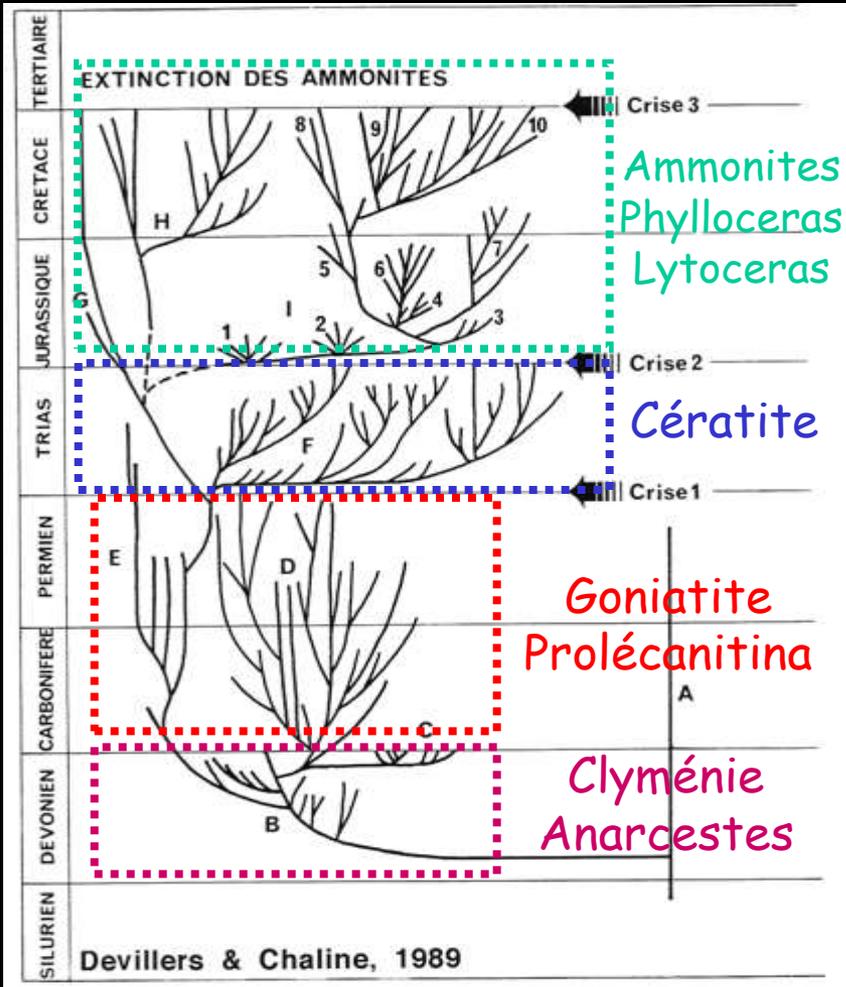
Diagrams illustrating differences in types of ammonoid sutures, all based on Permian species: A, goniatic, *Adrianites defordi* MILLER & FURNISH, $\times 1.3$; B, ceratitic, *Stacheoceras toumanskyae* MILLER-F., $\times 2$; C, ammonitic, *Perrinites hilli* (SMITH), $\times 2.7$ (110).

AMMONOÏDÉS

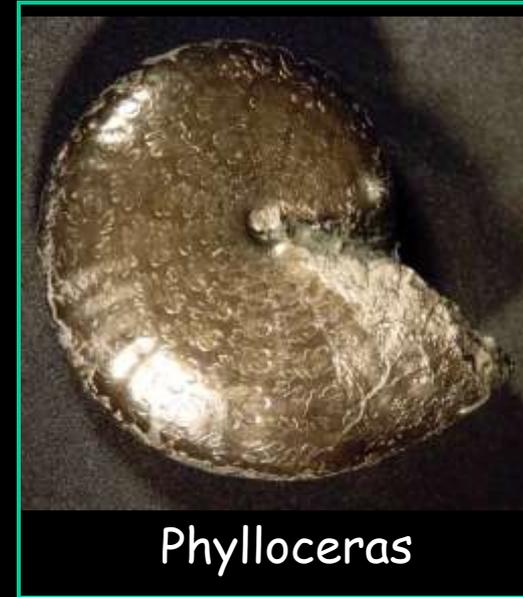
Exemple des ammonoïdes



Exemple des ammonoïdes



Lytoceras

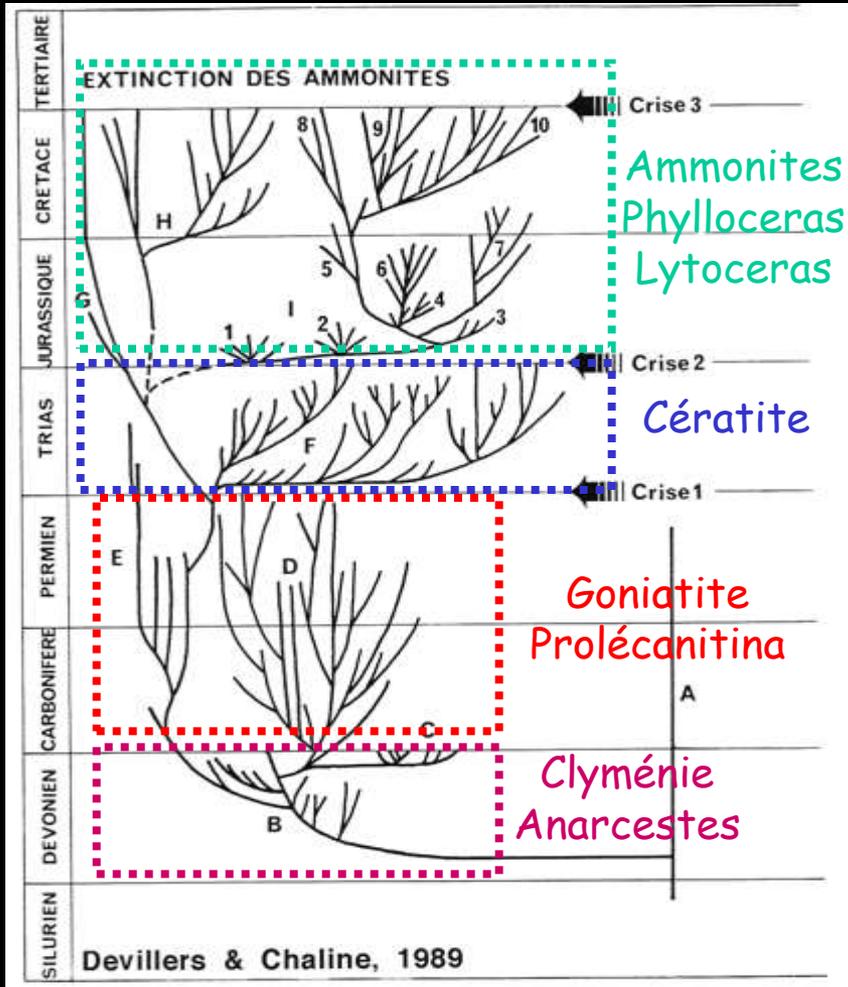


Phylloceras



Ceratite

Exemple des ammonoïdes



Heteroceras



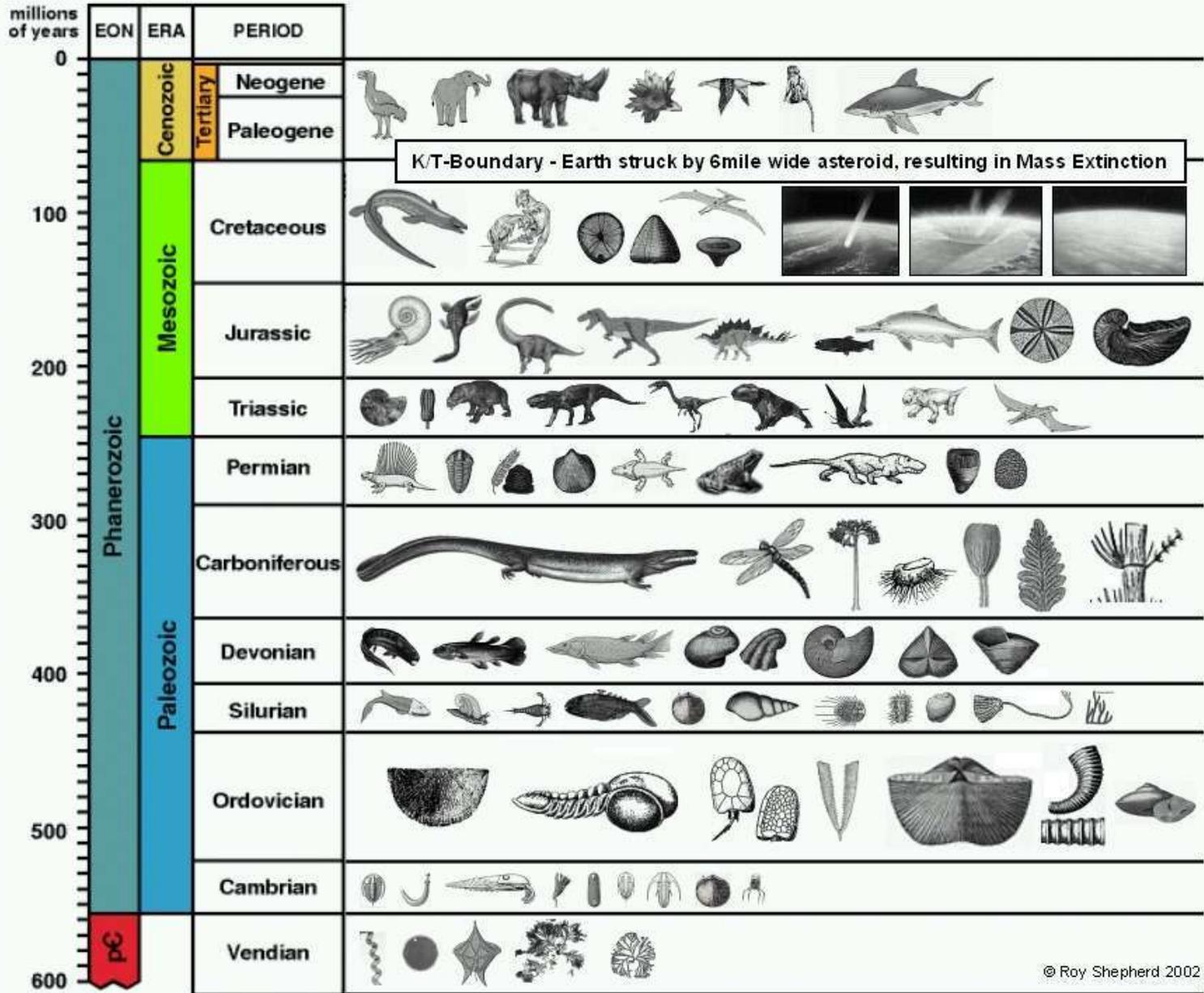
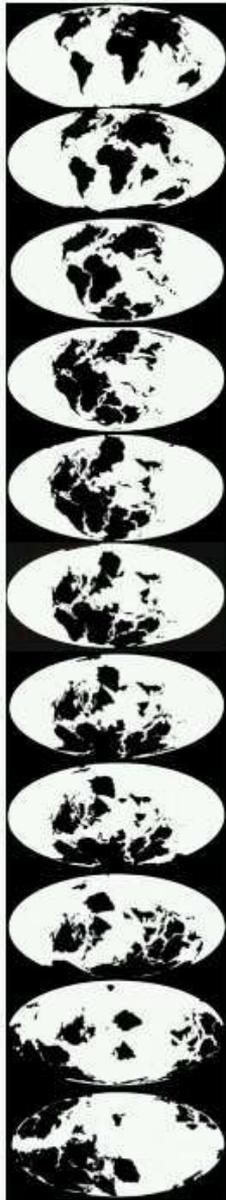
Amaltheus



Hildoceras



Desmoceras



Vue générale

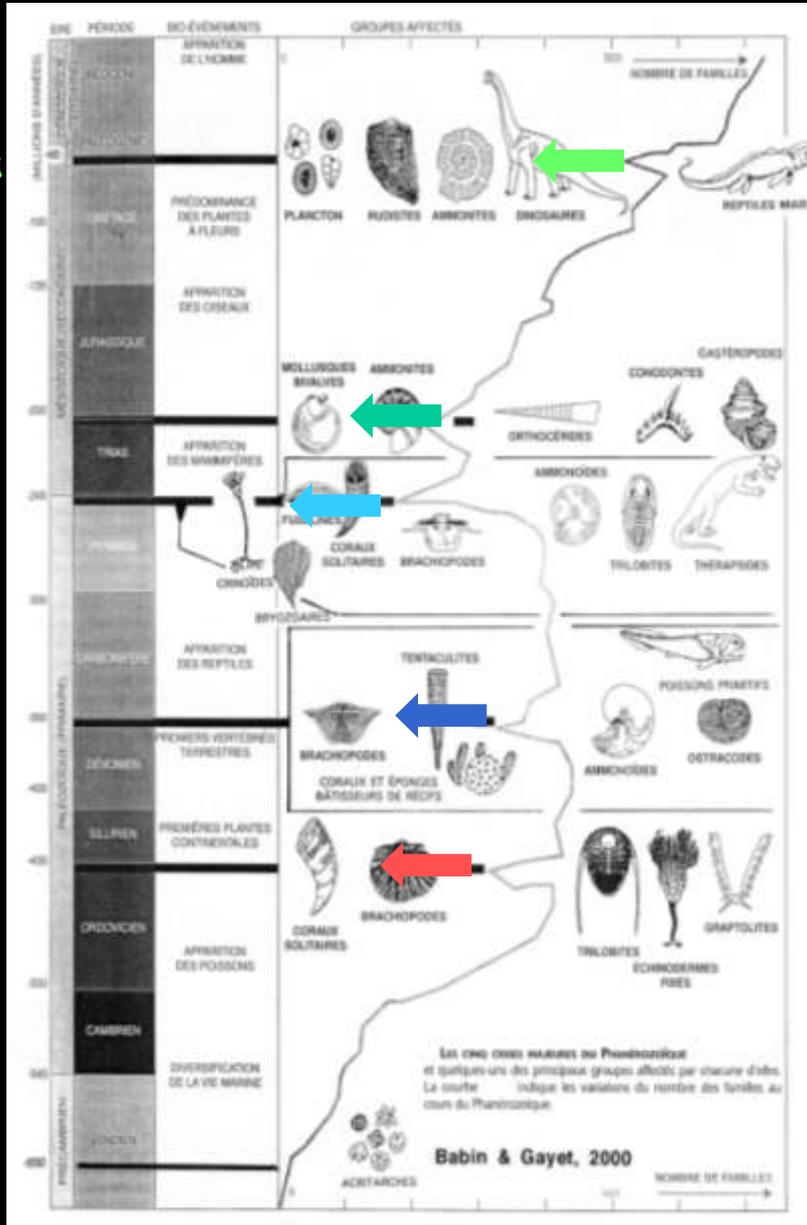
-65 Ma

-205 Ma

-250 Ma

-365 Ma

-435 Ma



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

Fin Trias: Orthoceras et Cératites

Fin Permien: Graptolites, 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		

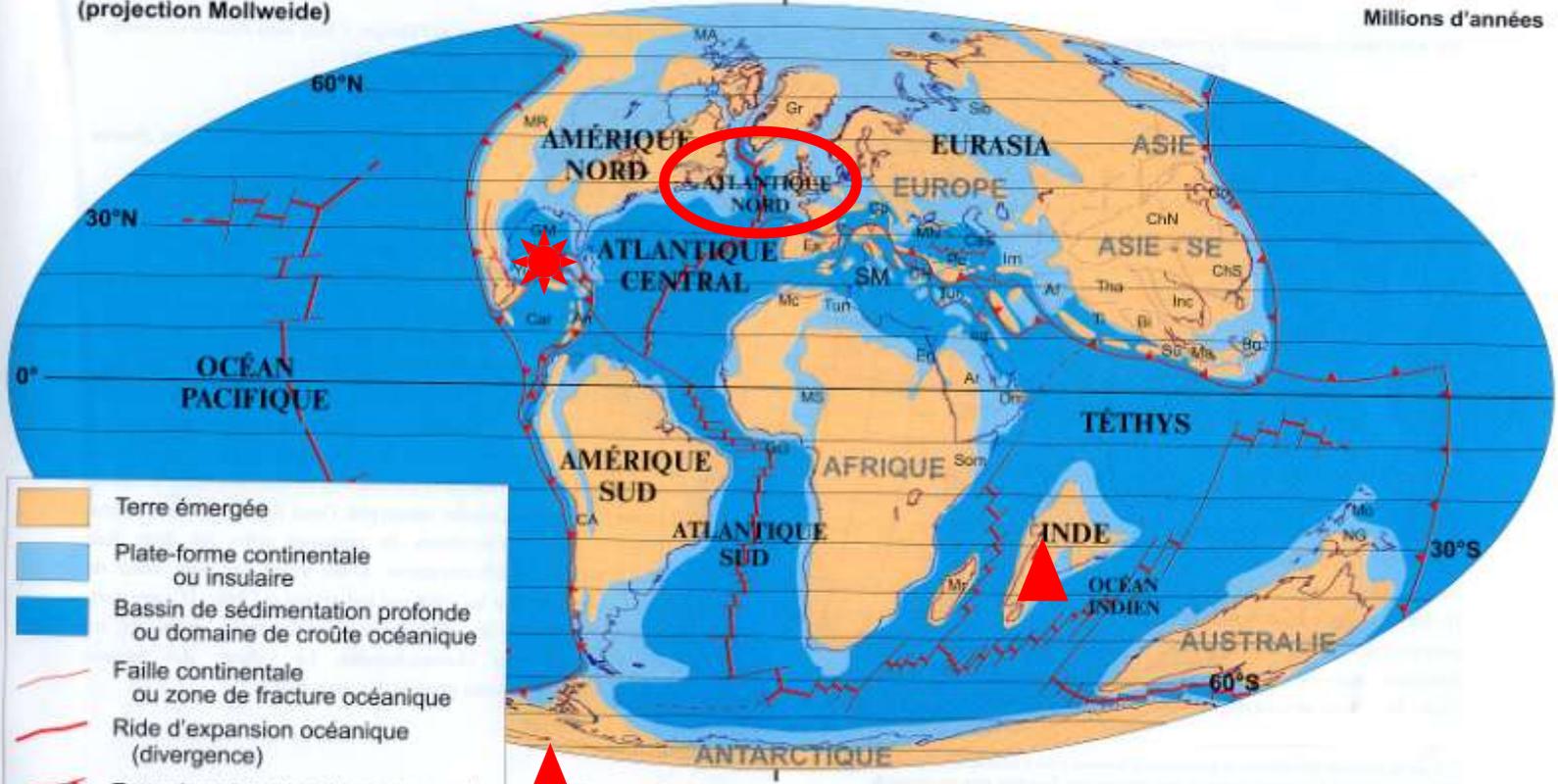
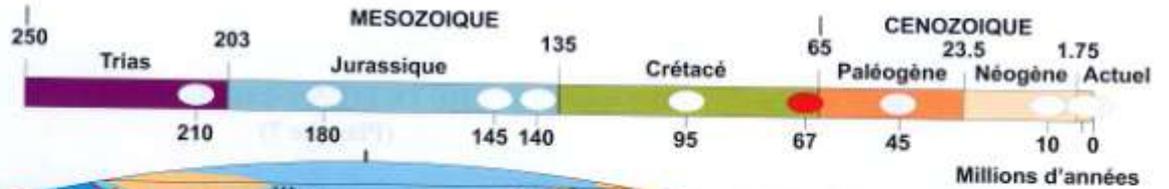
Era	Period	Epoch	Age (Ma)	
CENOZOIC	Quaternary	Holocene	0.0118	
		Pleistocene	U/L	0.126
			Middle	0.781
			L/E	1.806
	Neogene	Pliocene	5.33 ± 0.05	
		Miocene	22.9 ± 0.1	
	Paleogene	Oligocene	33.9 ± 0.1	
		Eocene	54.8 ± 0.5	
		Paleocene	65.0 ± 0.05	
		Cretaceous	Upper/Late	99.0 ± 1.0
Lower/Early	144.8 ± 3.7			
MESOZOIC	Jurassic	Upper/Late	156.6 ± 2.7	
		Middle	178.0 ± 1.5	
		Lower/Early	200 ± 1.0	
	Triassic	Upper/Late	231 ± 5	
		Middle	244 ± 1	
		Lower/Early	253 ± 2	
Permian	Upper/Late	258 ± 5		
	Middle	229 ± 5		
	Lower/Early	300 ± 3		
	PALEOZOIC	Carboniferous	Upper/Late	306.5 ± 1.0
Middle			311.7 ± 1.1	
Lower/Early			318.0 ± 1.3	
Mississippian		Upper/Late	326.4 ± 1.6	
		Middle	345.3 ± 2.1	
		Lower/Early	360 ± 2	
Devonian	Upper/Late	383 ± 4		
	Middle	394 ± 2		
Silurian	Lower/Early	418 ± 2		
	Upper/Late	424 ± 1		
Ordovician	Upper/Late	443 ± 4		
	Middle	460.9 ± 1.6		
	Lower/Early	471.8 ± 1.6		
Cambrian	Upper/Late	489 ± 1		
	Middle	499 ± 5		
	Lower/Early	509 ± 1		
PRECAMBRIAN	Proterozoic	Neoproterozoic	544 ± 1	
		Mesoproterozoic	1,000 ± 50	
		Paleoproterozoic	1,600	
	Archean	Neoaarchean	2,500	
		Mesoarchean	2,800	
		Paleoarchean	3,200	
		Eoarchean	3,600	



MAASTRICHTIEN (72-65 Ma)

Position à 67 Ma

(projection Mollweide)



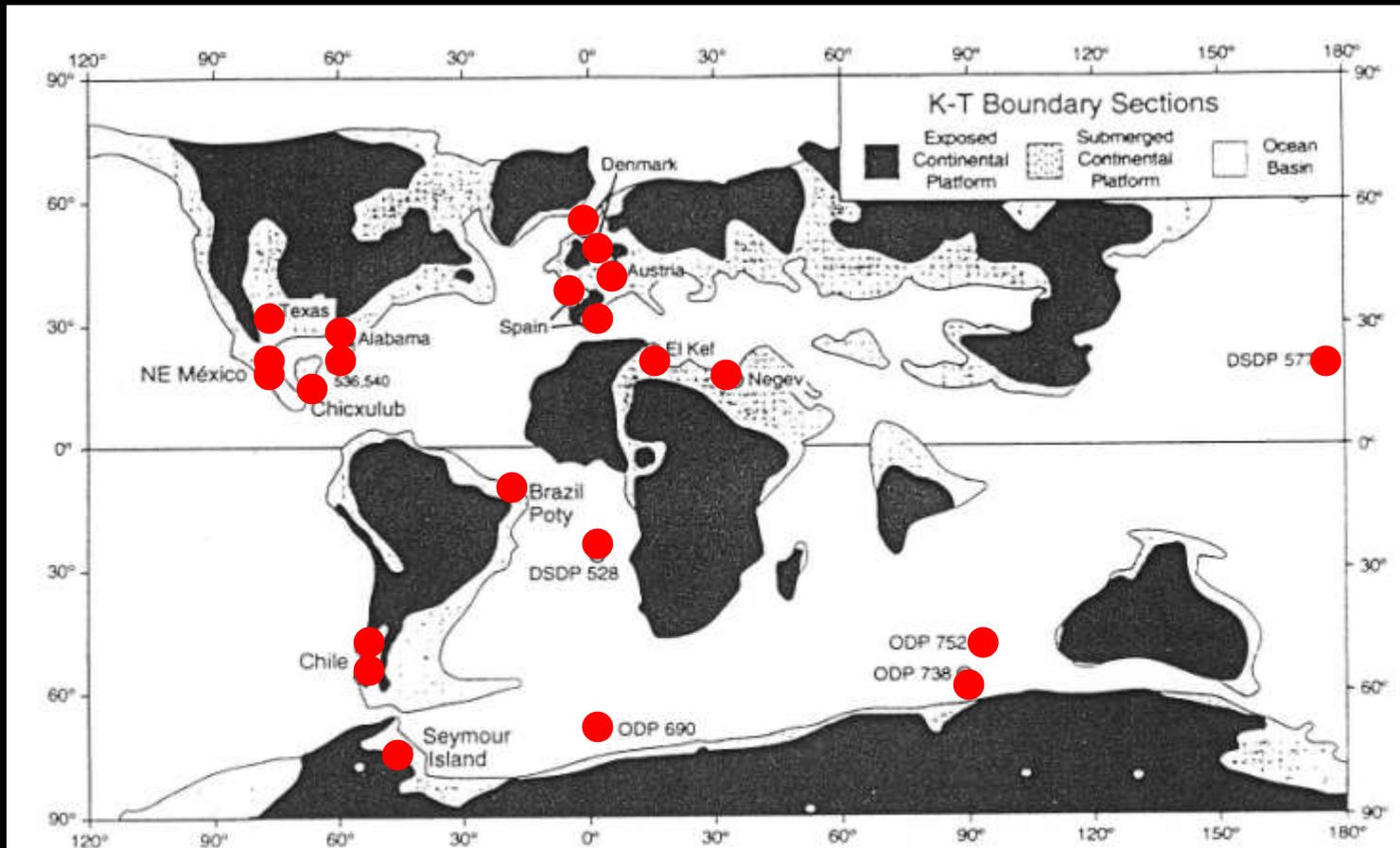
- Terre émergée
- Plate-forme continentale ou insulaire
- Bassin de sédimentation profonde ou domaine de croûte océanique
- Faille continentale ou zone de fracture océanique
- Ride d'expansion océanique (divergence)
- Zone de subduction (convergence)
- Zone de chevauchement ou collision

▲ Trapps du Deccan
 ★ Cratère d'impact de la météorite de Chicxulub

Bruno Vrielynck (2001)

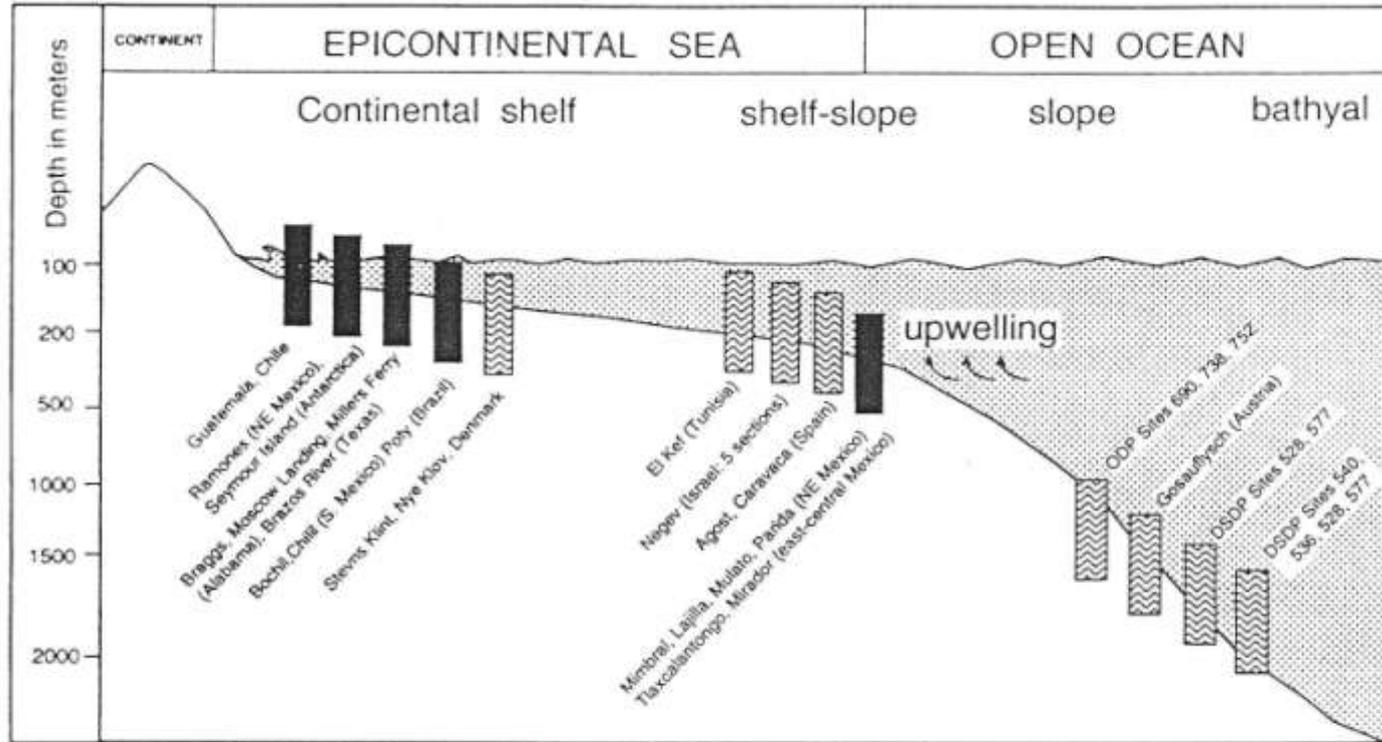
Planche 6

Observation à l'échelle mondiale



Location map of the most complete K-T boundary sections used in this study. Stippled 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	<ul style="list-style-type: none"> •Ammonites •Bélemnites •Rudistes •Inocérames •Dinosaures s.l. •Plancton
Pourcentages de taxons disparus	Familles: 15-16% Genres: 40-50% Espèces marines: 75%

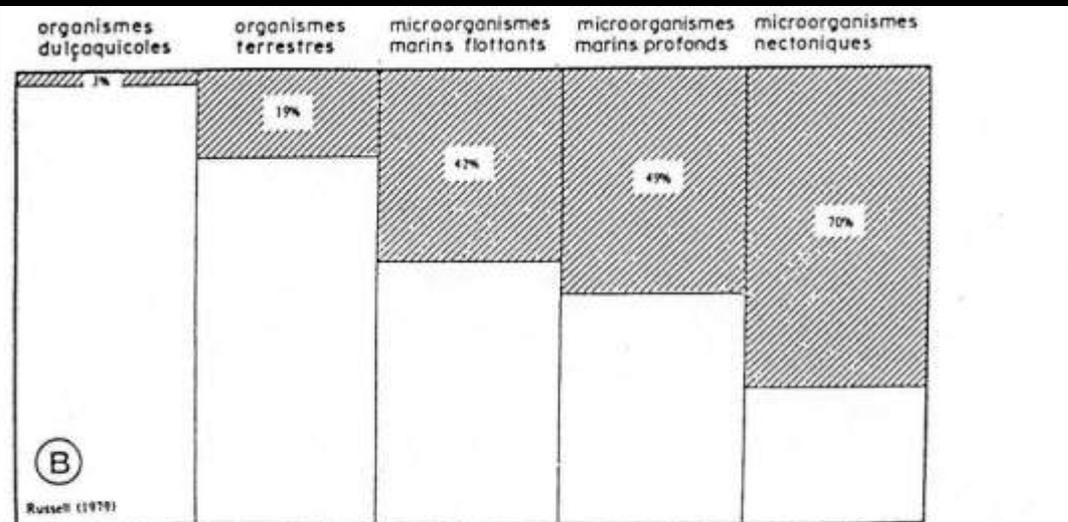
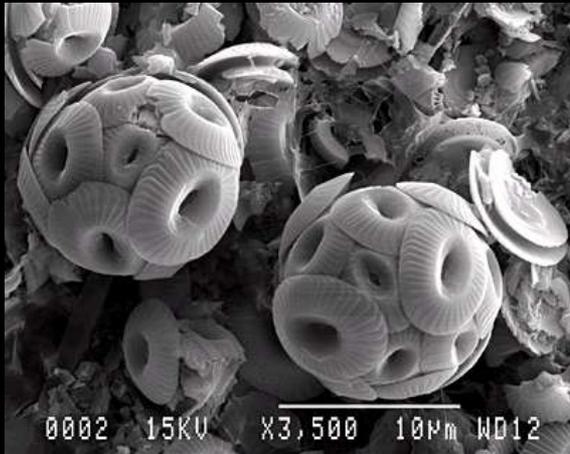


FIGURE 4

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 Russett, 1979).

Haptophytes

(Ex. Coccolithophoridés)



Flagellés unicellulaires photosynthétiques:

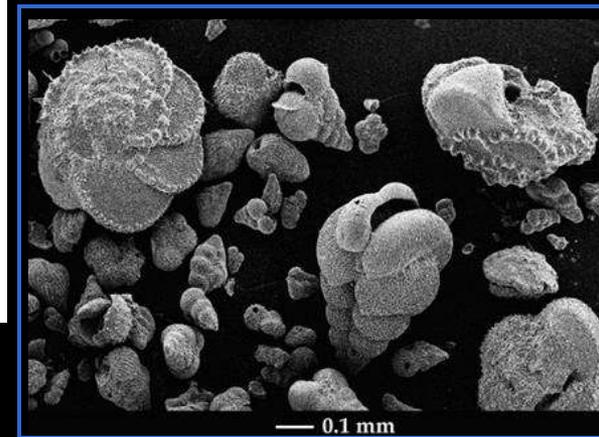
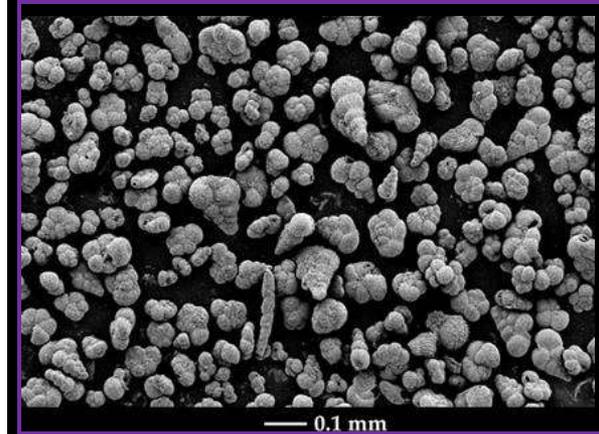
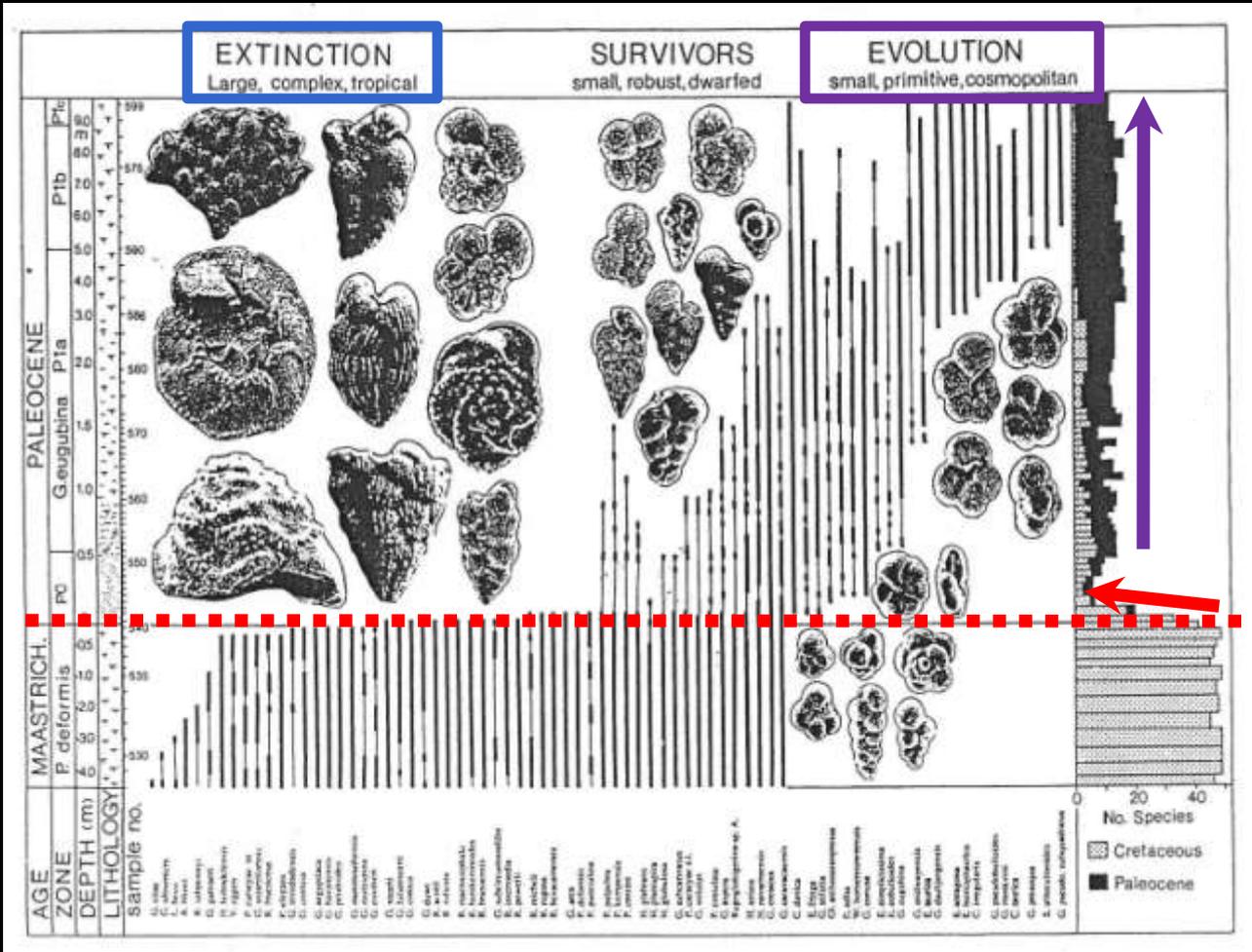
- à exosquelettes composés de pièces calcaires dures, appelées Coccolithes
- forme le nanoplancton marin

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



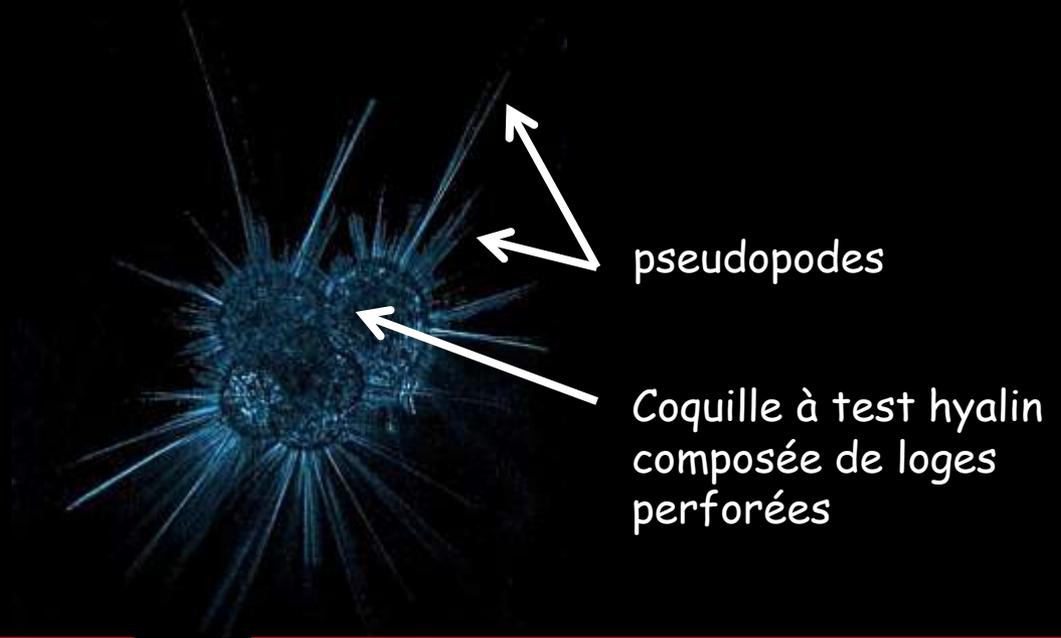
Craie des falaises du Boulonnais

Foraminifères planctoniques

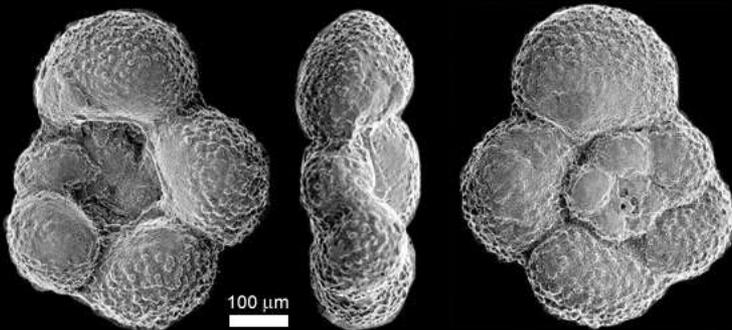


Foraminifères planctoniques

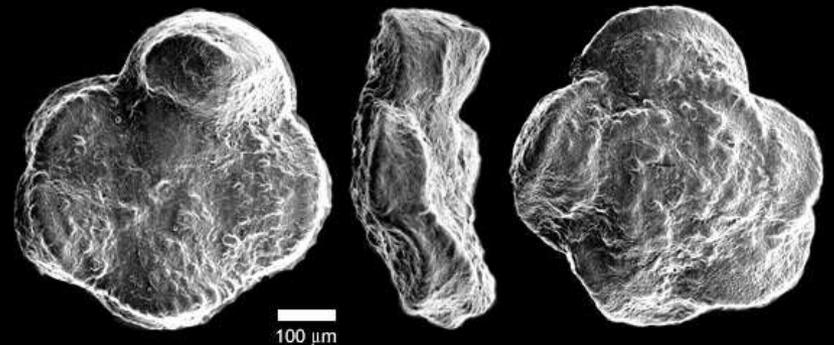
- Unicellulaires
- Taille millimétrique
- Test trochospiralé
- 1 ouverture simple



Globigérines



Globotruncana



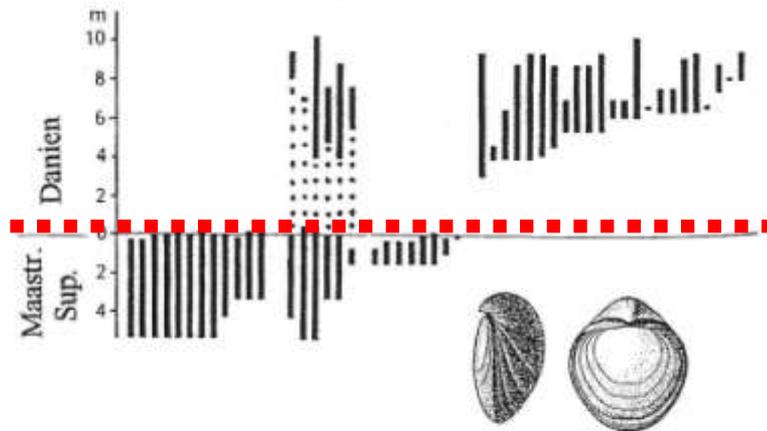
Brachiopodes



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.

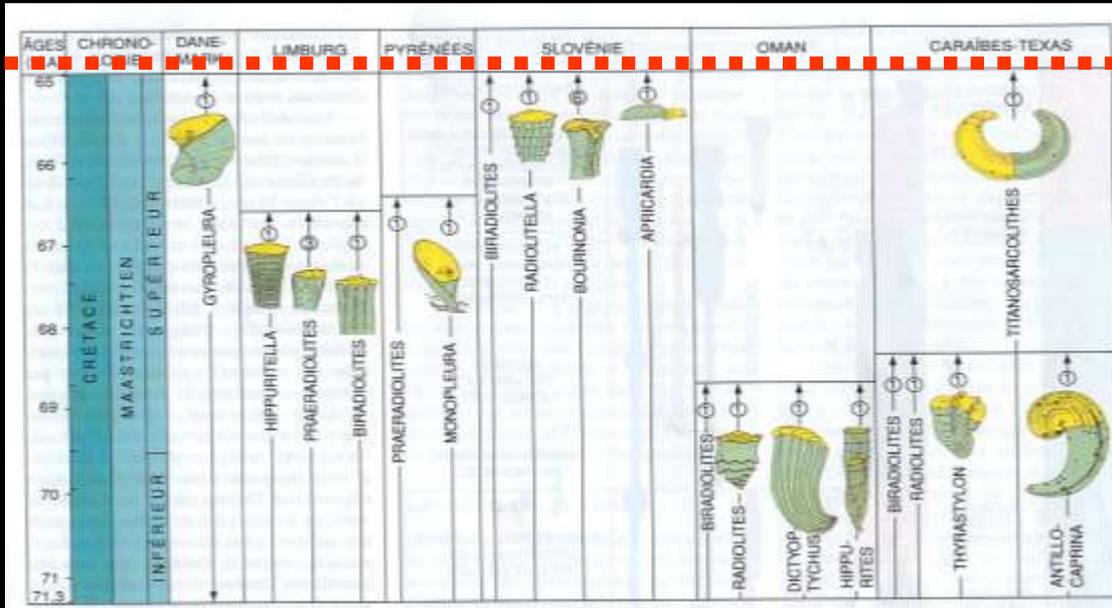
Rudistes



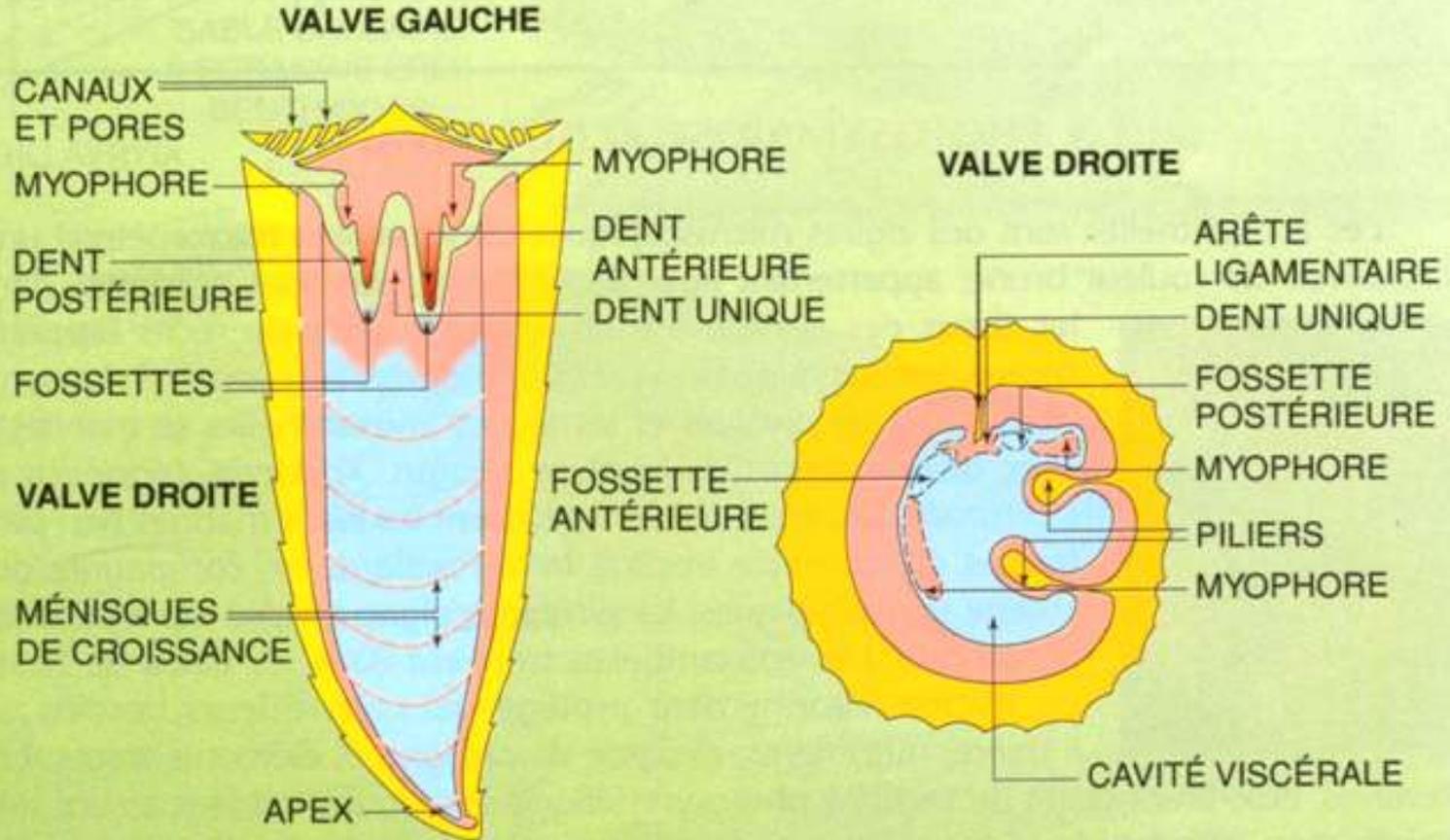
Hippurites



Radiolites

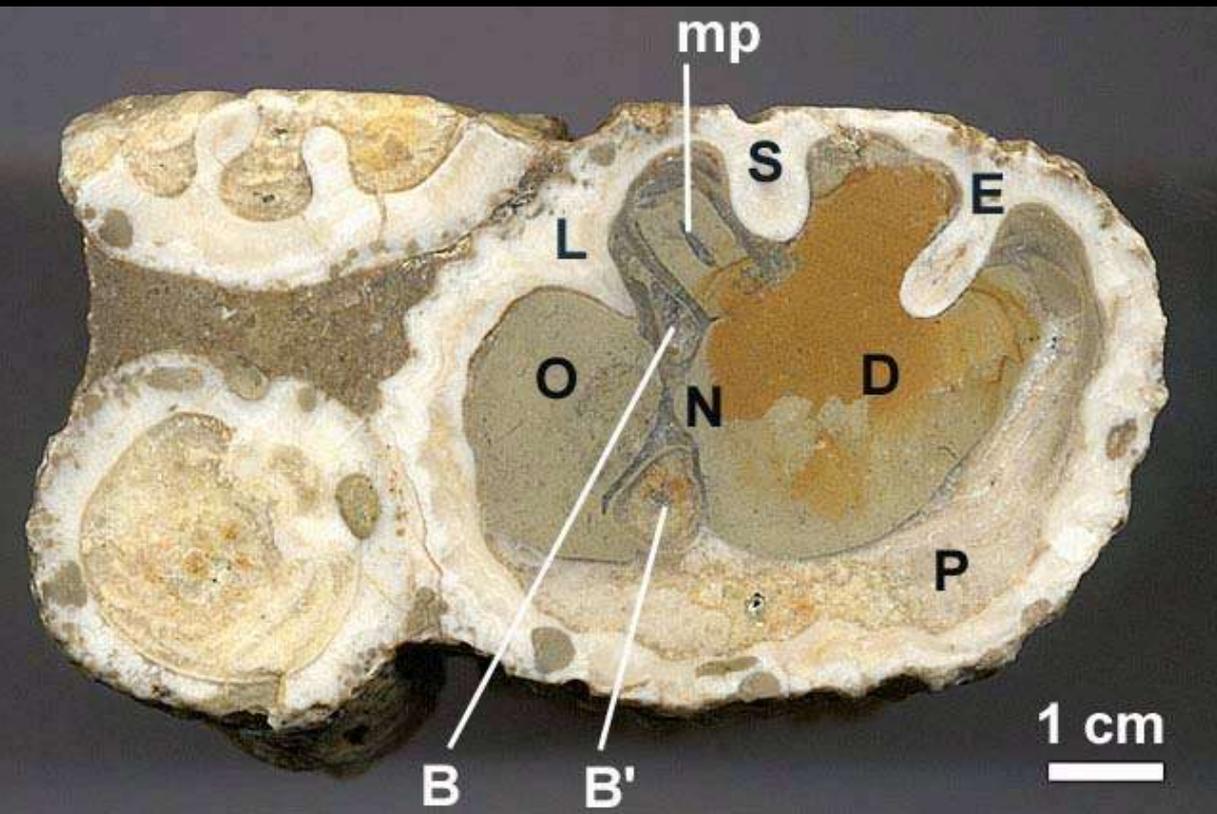


Rudistes



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).

Rudistes

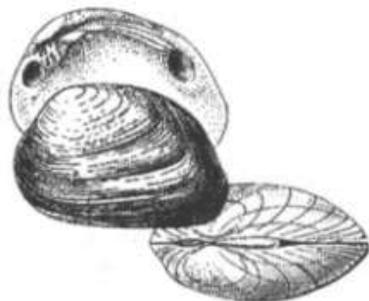


Hippurites



Rudistes

'normal' bivalve



Diceras



Radiolites



Durania



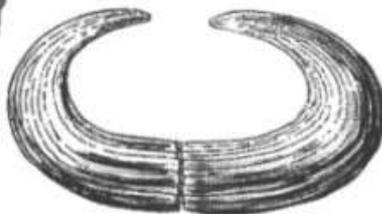
Lapeirousia



Plagioptychus



Caprinula



Titanosarcollites



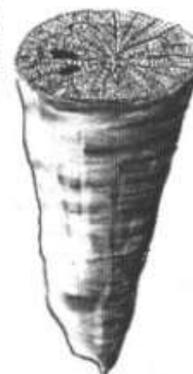
Ichthyosarcollites



Toucasia

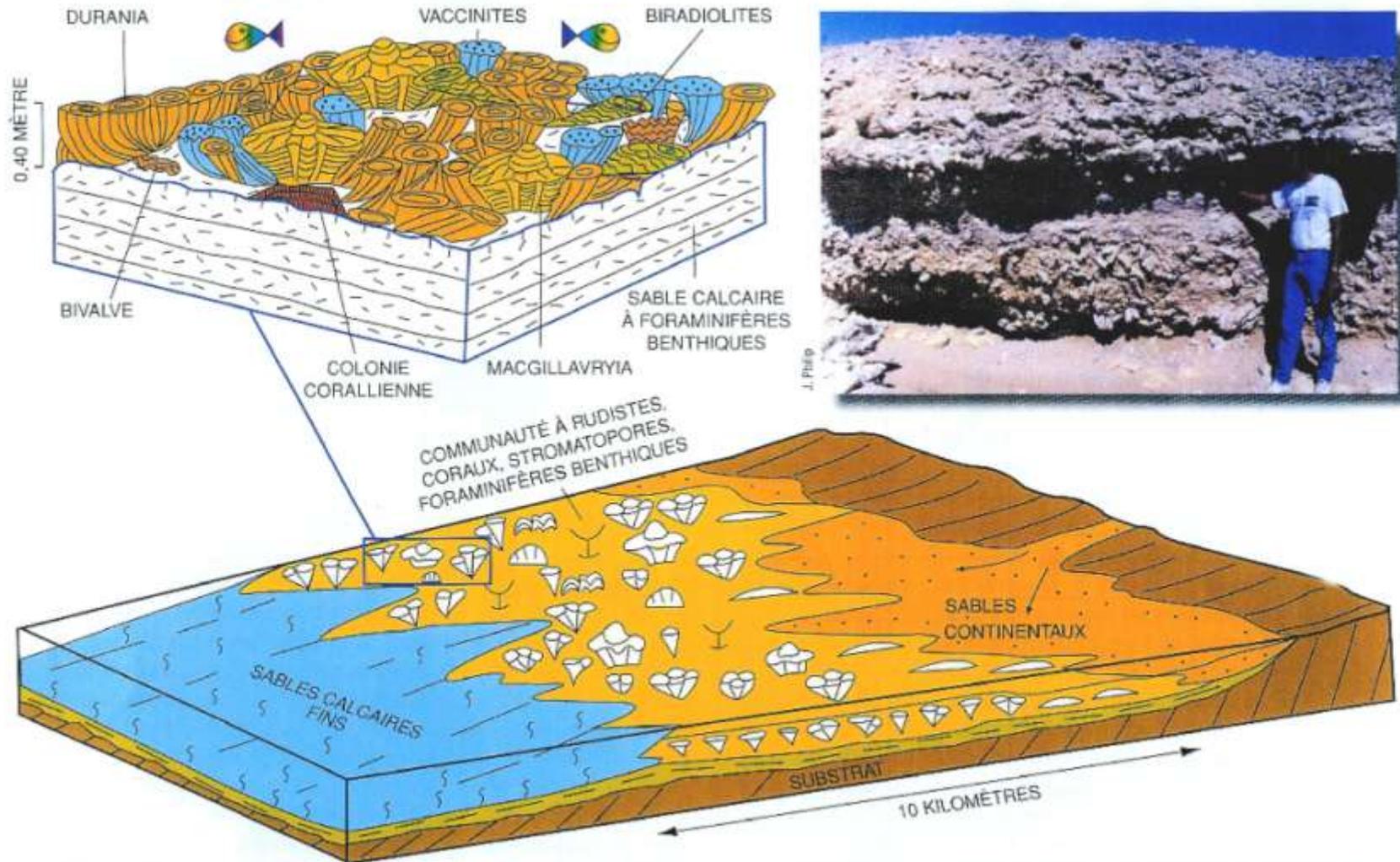


Torreites



Vaccinites

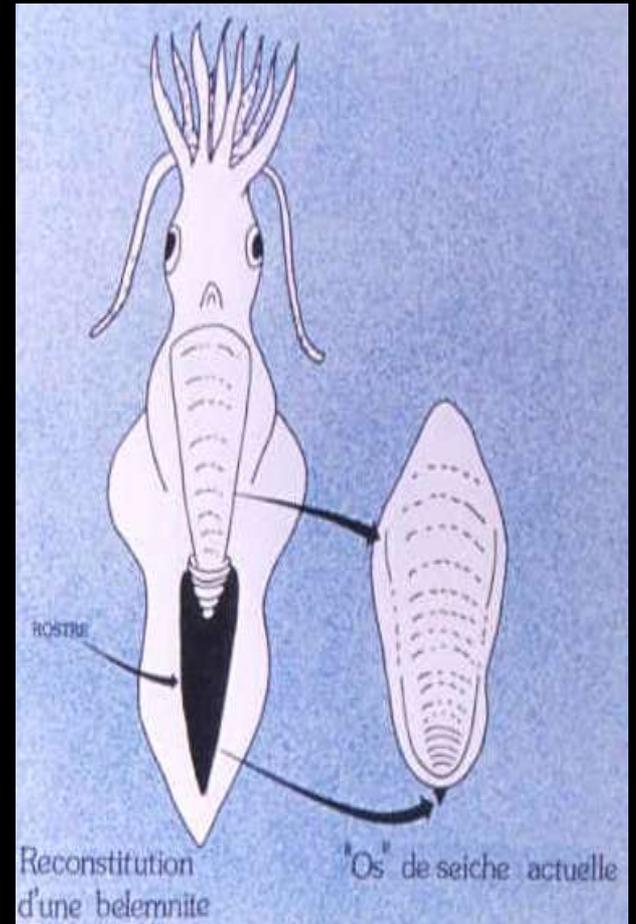
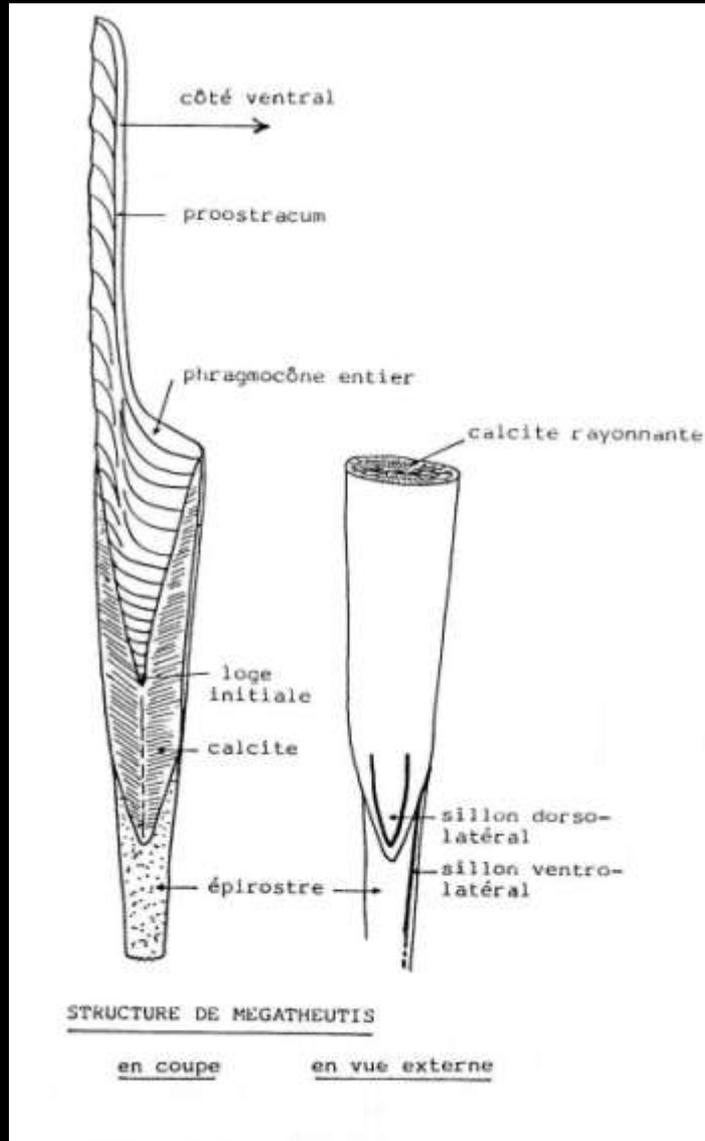
Rudistes



SPECTACULAIRE RÉCIF À RUDISTES DES COUCHES DE LA FIN DU CRÉTACÉ du massif du Huqf au Sultanat d'Oman (photographie de droite). Dans ces récifs, les rudistes étaient les organismes les plus abondants, mais ils

étaient associés à d'autres organismes (dessin de gauche). L'ensemble formait de véritables constructions à coquilles et squelettes calcaires sur le fond de la mer et à faible profondeur (dessin du bas).

Belemnites



Belemnites

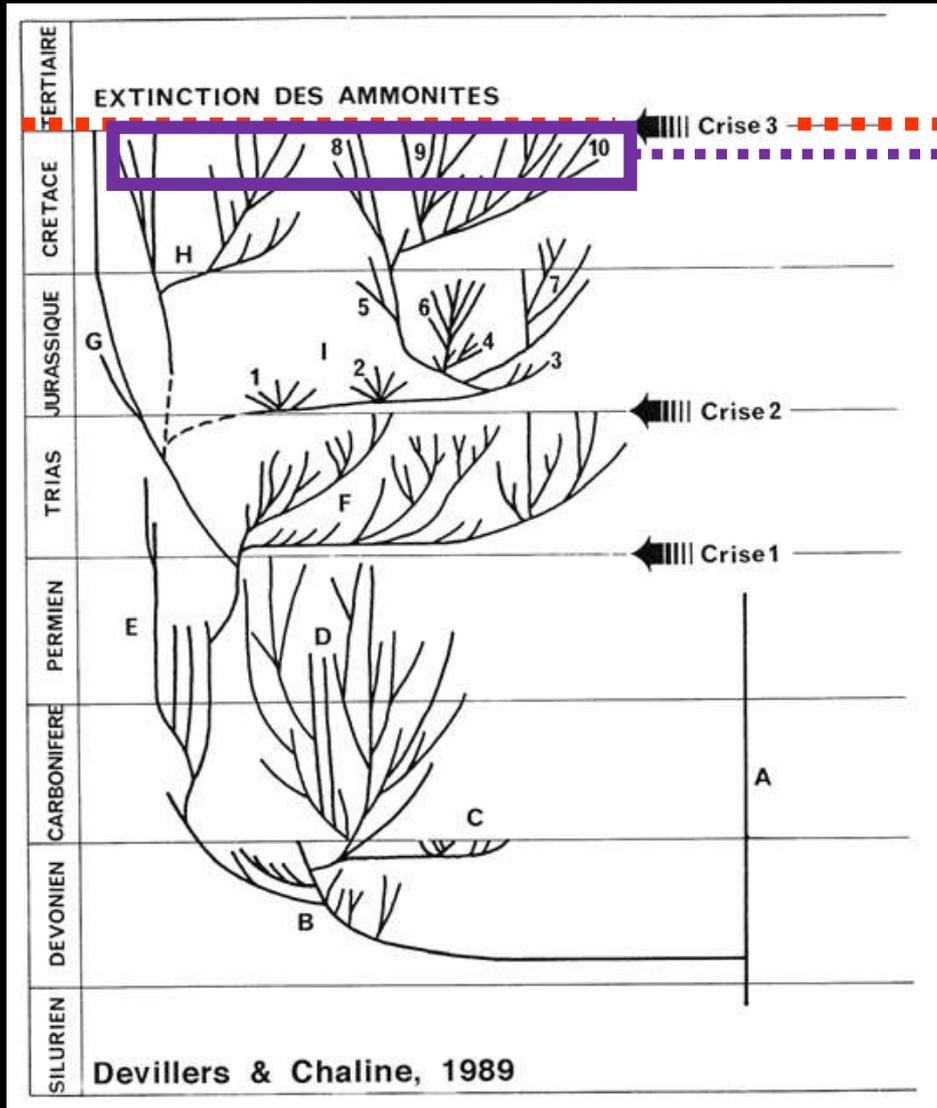


Gonoteuthis



Duvalia

Ammonites



Baculites

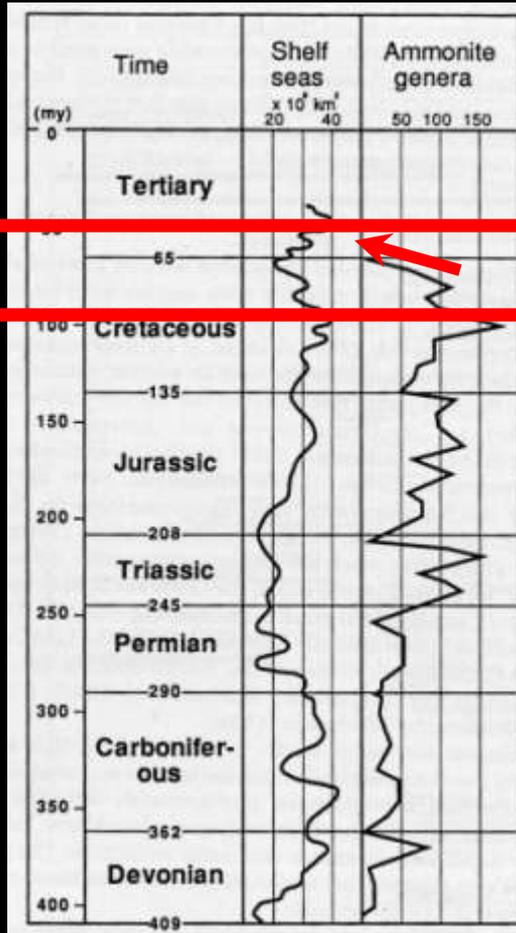


Nostoceras



Nipponites

Extinction des ammonites : déclin continu sur une longue période

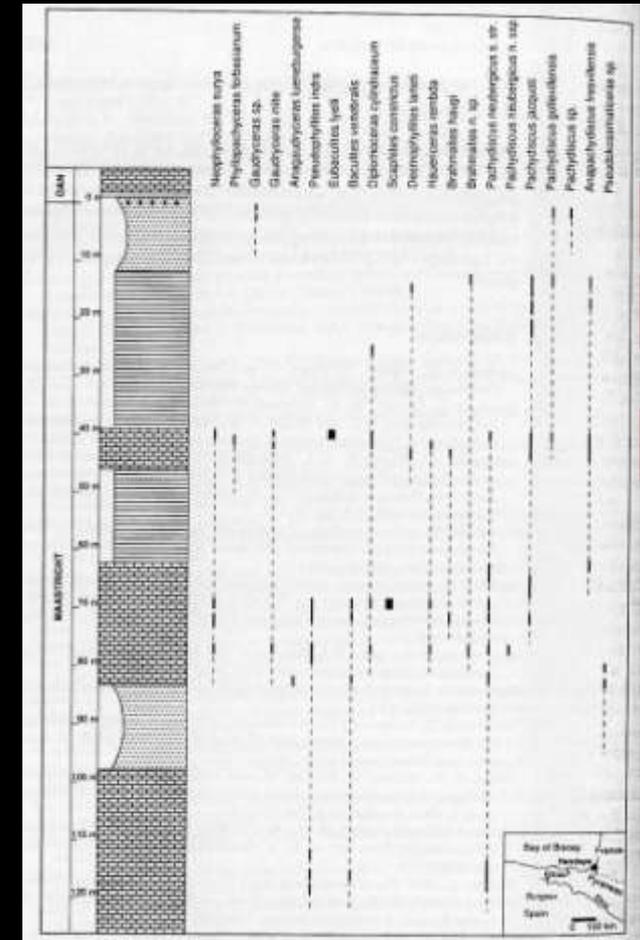


3 genres d'ammonites

50 genres d'ammonites

100 genres d'ammonites

baisse de la diversité



3

5

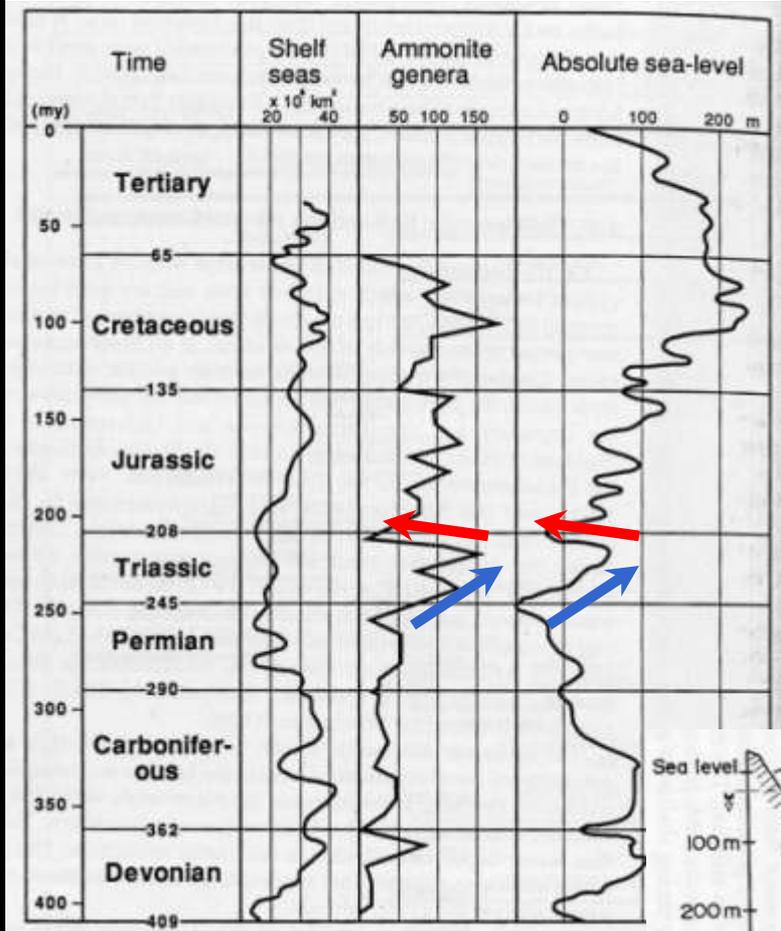
13

Coupe de Bidart (France)

baisse du taux d'évolution
(Landman, 1996)

+

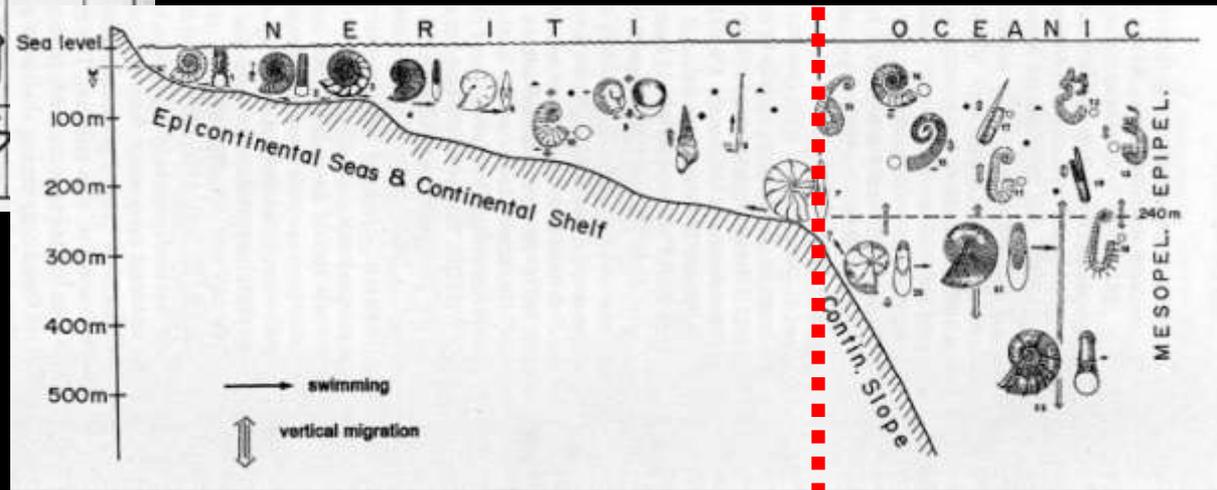
Ammonites : crise de la diversité liée aux variations du niveau marin



régressions > crises

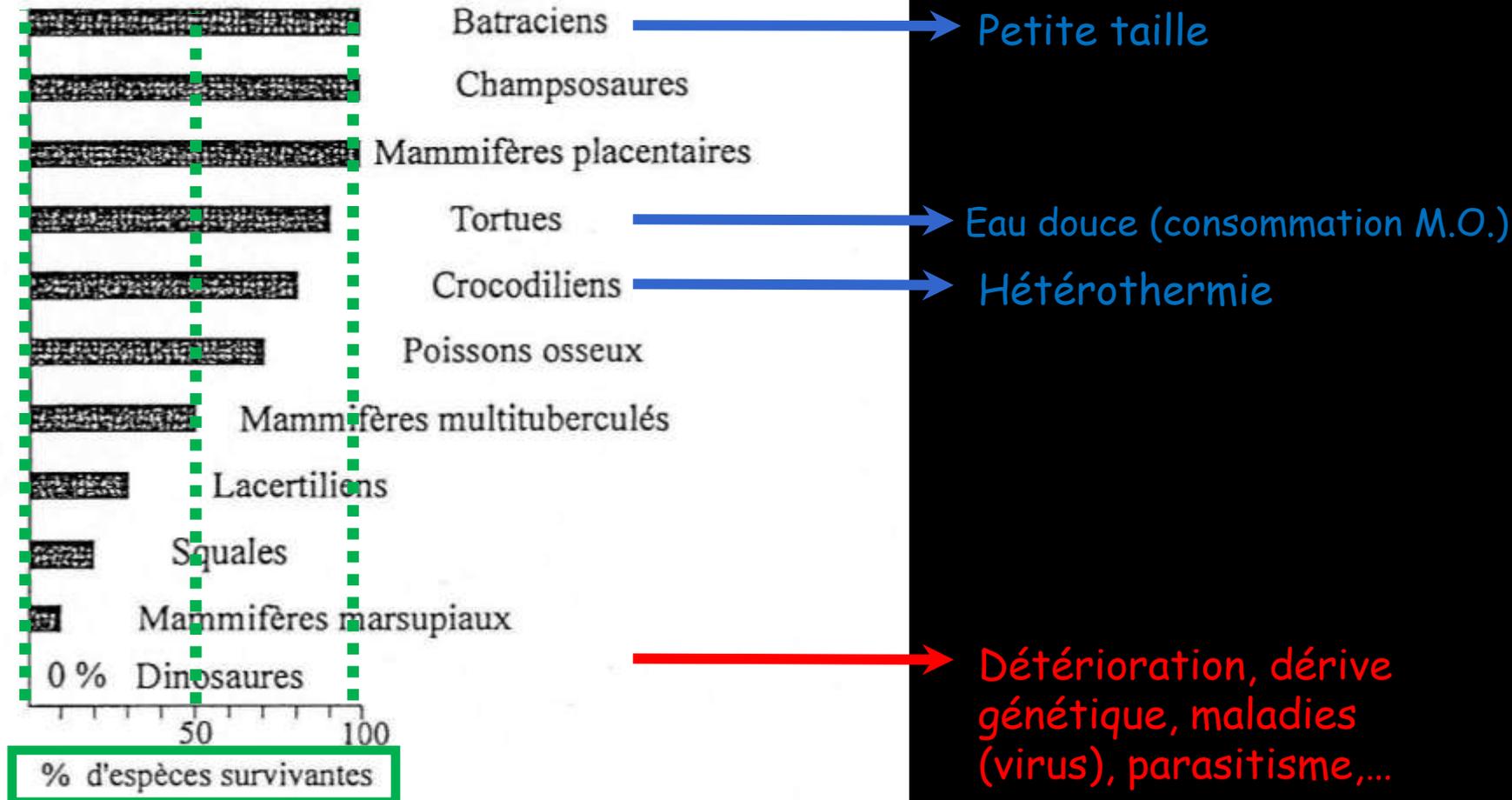
transgressions > radiations

Phylloceras et Lytoceras, derniers survivants



Faits biologiques en milieu continental

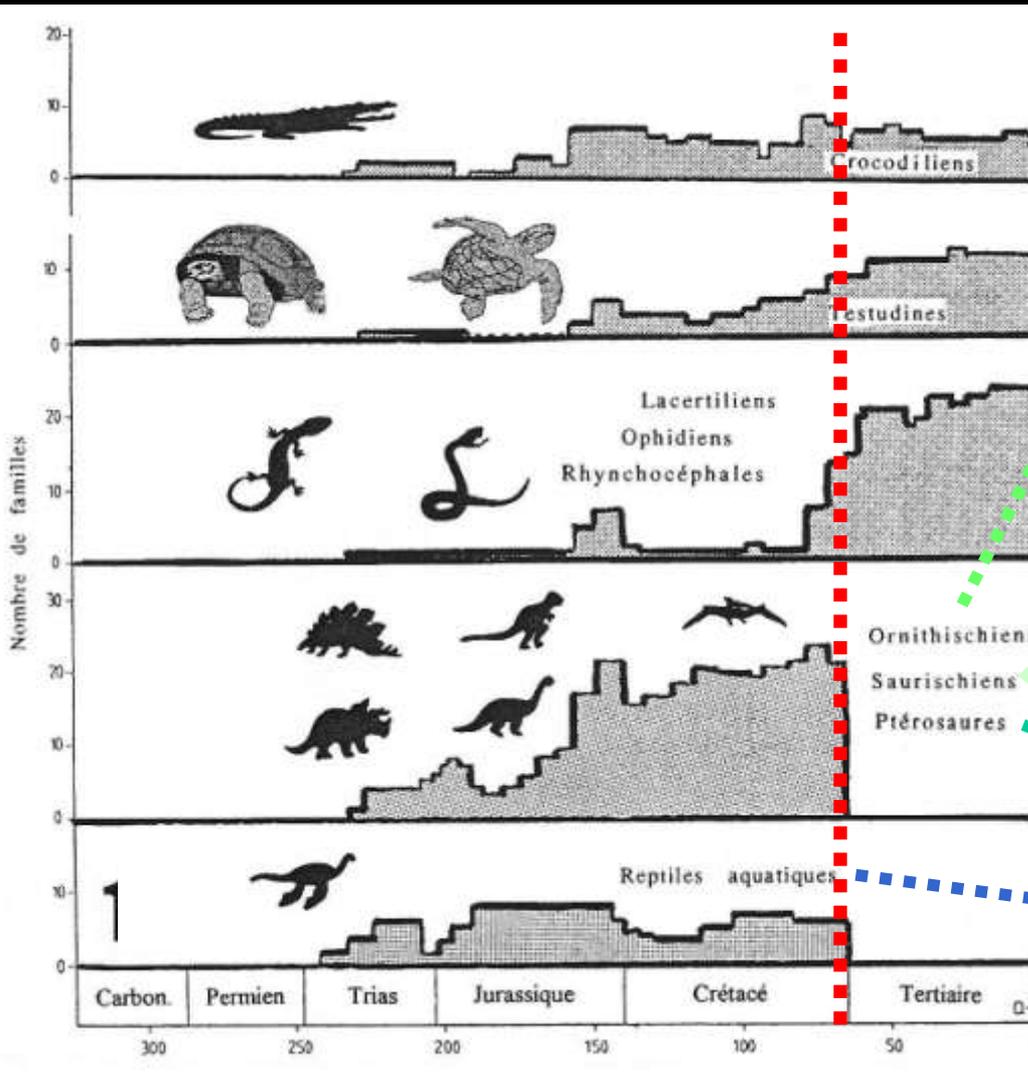
Vertébrés



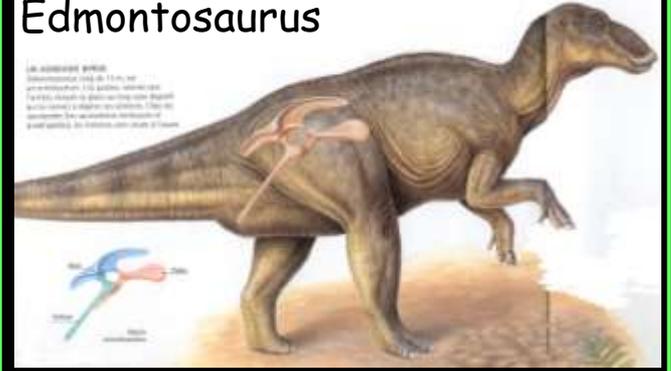
Pourcentage d'espèces survivantes parmi les principaux groupes de vertébrés répertoriés au passage Crétacé-Tertiaire dans le Montana. Les estimations portent sur 107 espèces recensées dont 19 espèces de dinosaures. D'après les données modifiées d' Archibald J. D. in Macleod et Keller (1996).

Faits biologiques en milieu continental

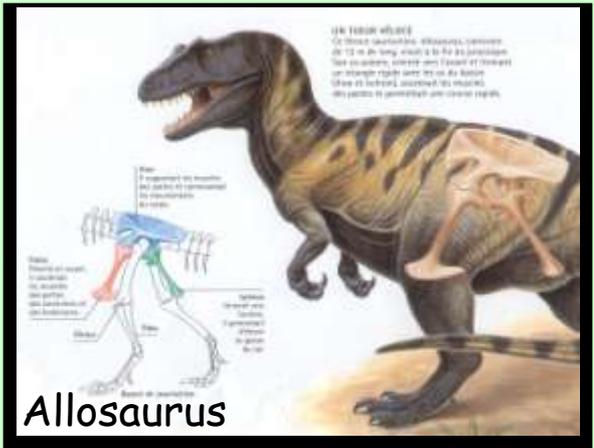
Reptiles



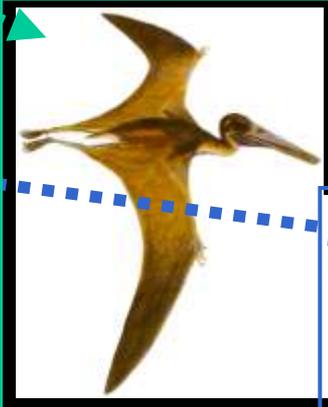
Edmontosaurus



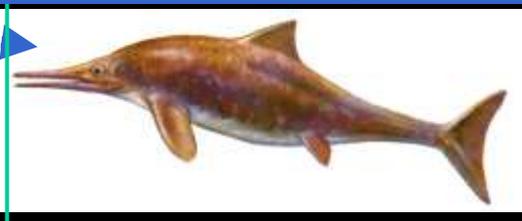
Allosaurus



Ptéroductylus

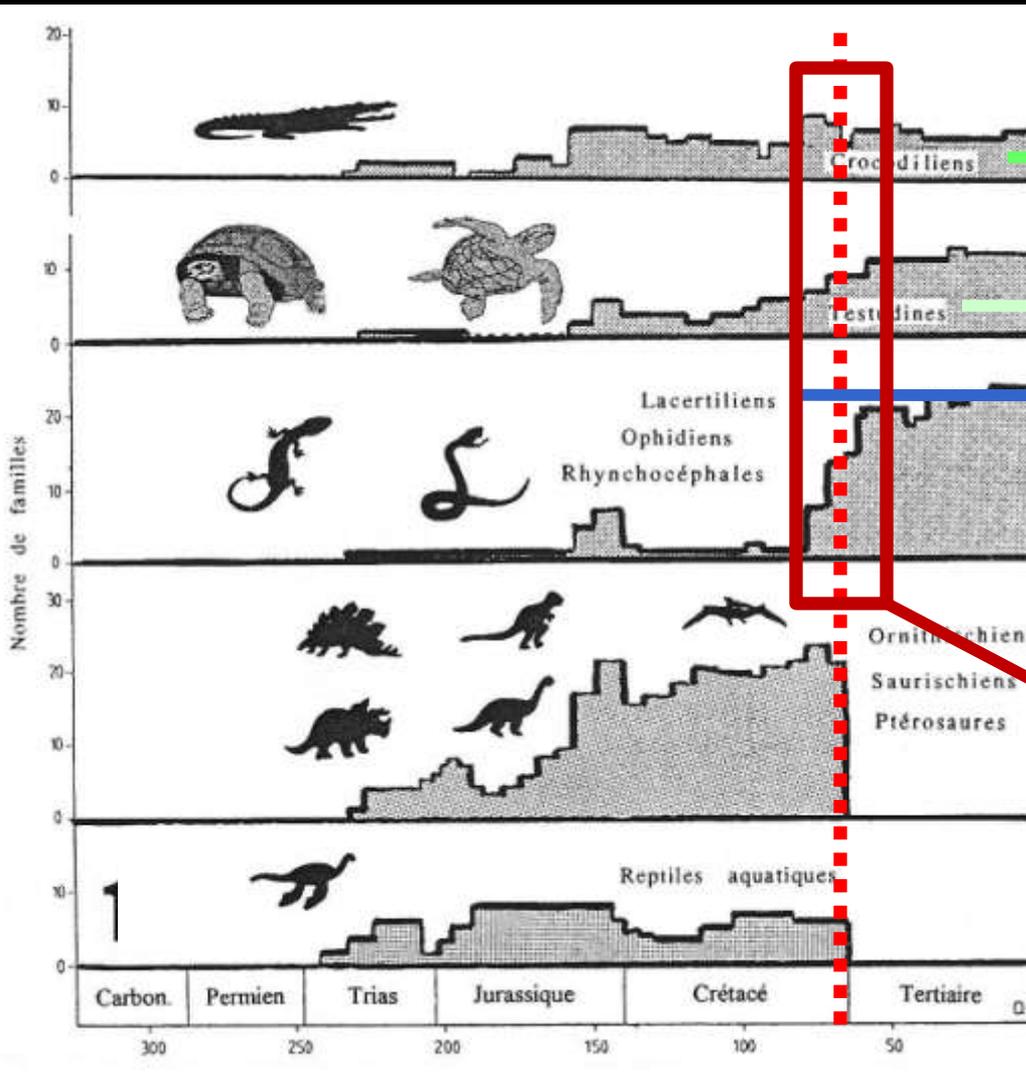


Ichthyosaurus



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

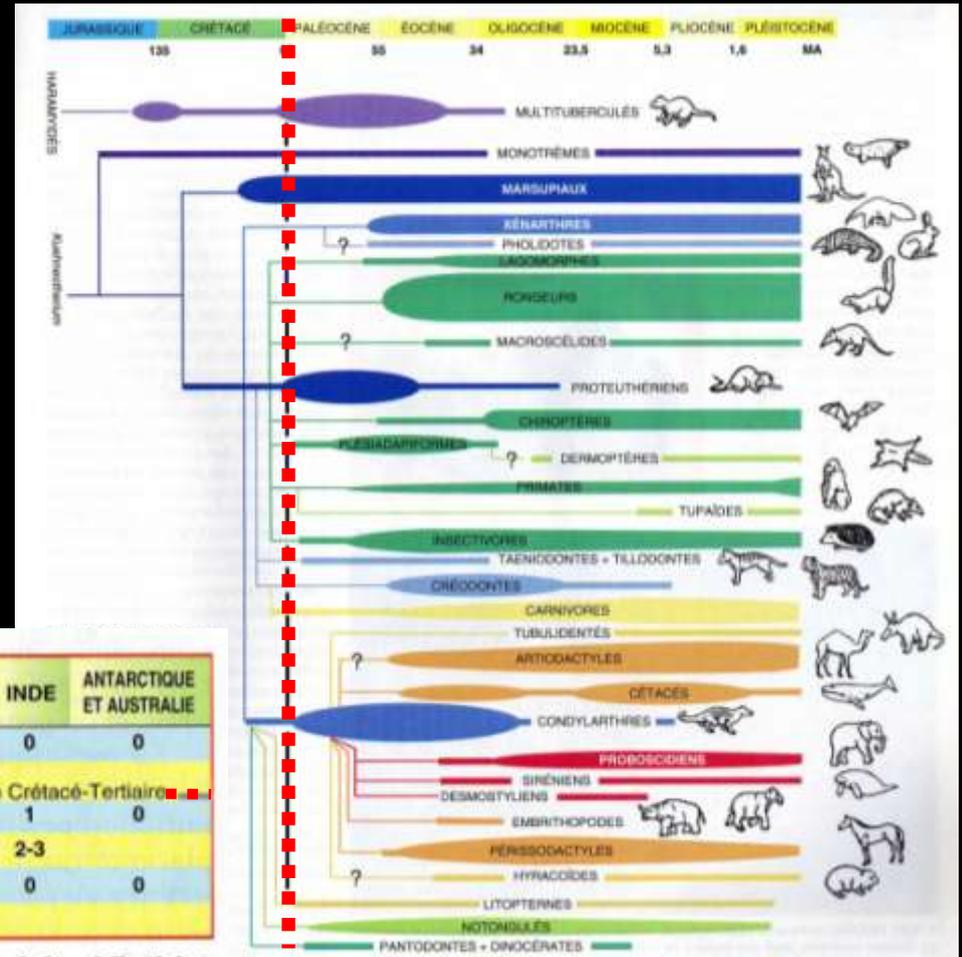
Faits biologiques en milieu continental

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

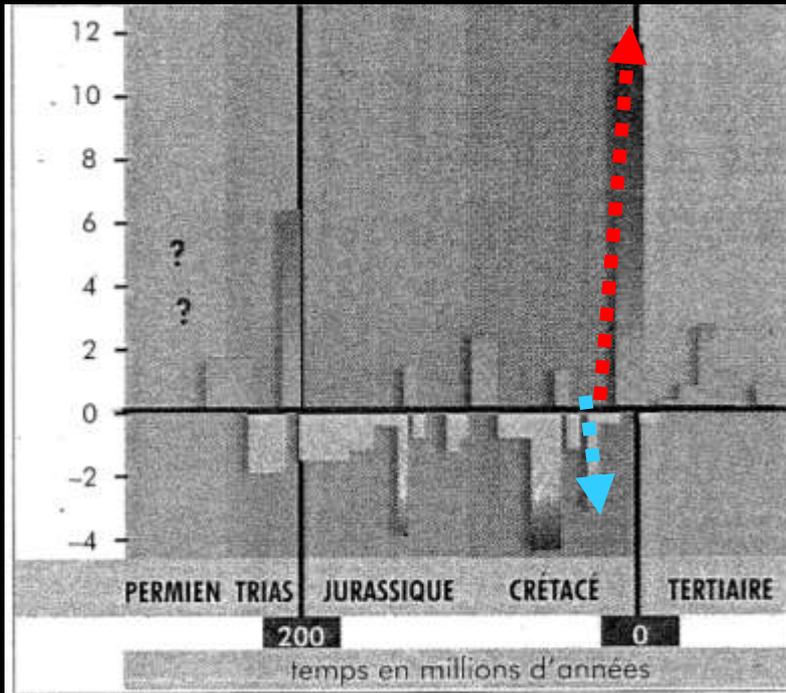
Essor des mammifères



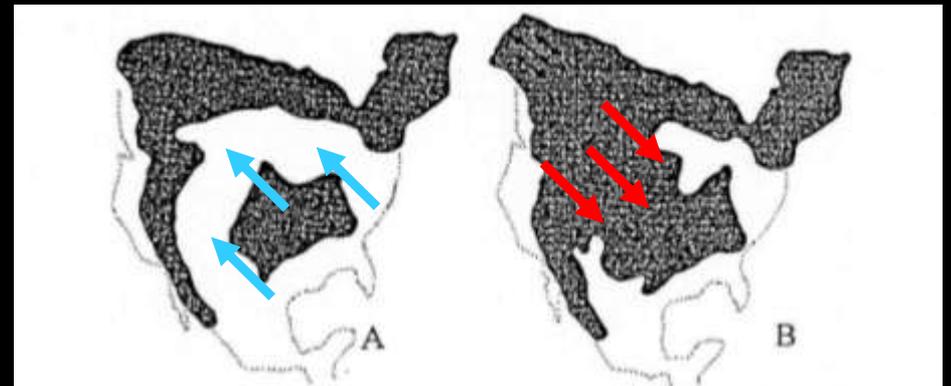
GISEMENTS	EUROPE	ASIE	AMÉRIQUE DU NORD	AMÉRIQUE DU SUD	AFRIQUE	MADA-GASCAR	INDE	ANTARCTIQUE ET AUSTRALIE
ESPECES								
PALÉOCÈNE	5	125	>100	20	1	0	0	0
MAASTRICHTIEN-CAMPANIEN	6	>8	>40	6	0	1	1	0
SANTONIEN-CÉNOMANIEN	0	>8	>6	0	0	0	0	0

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

Faits géologiques: transgression - régression marines

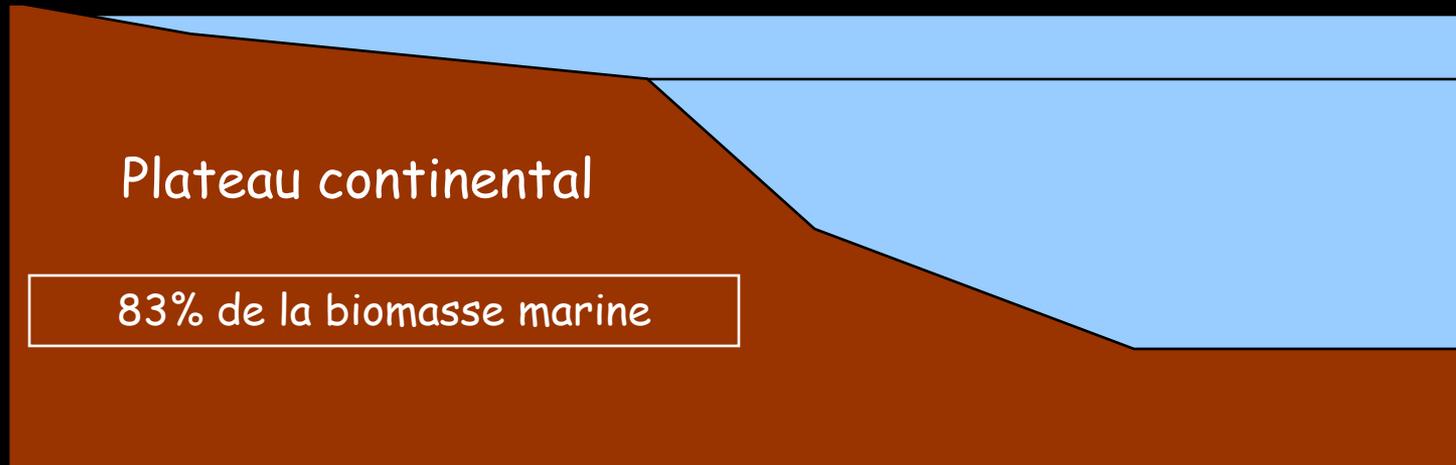


évolution des surfaces continentales
(en millions de m²)

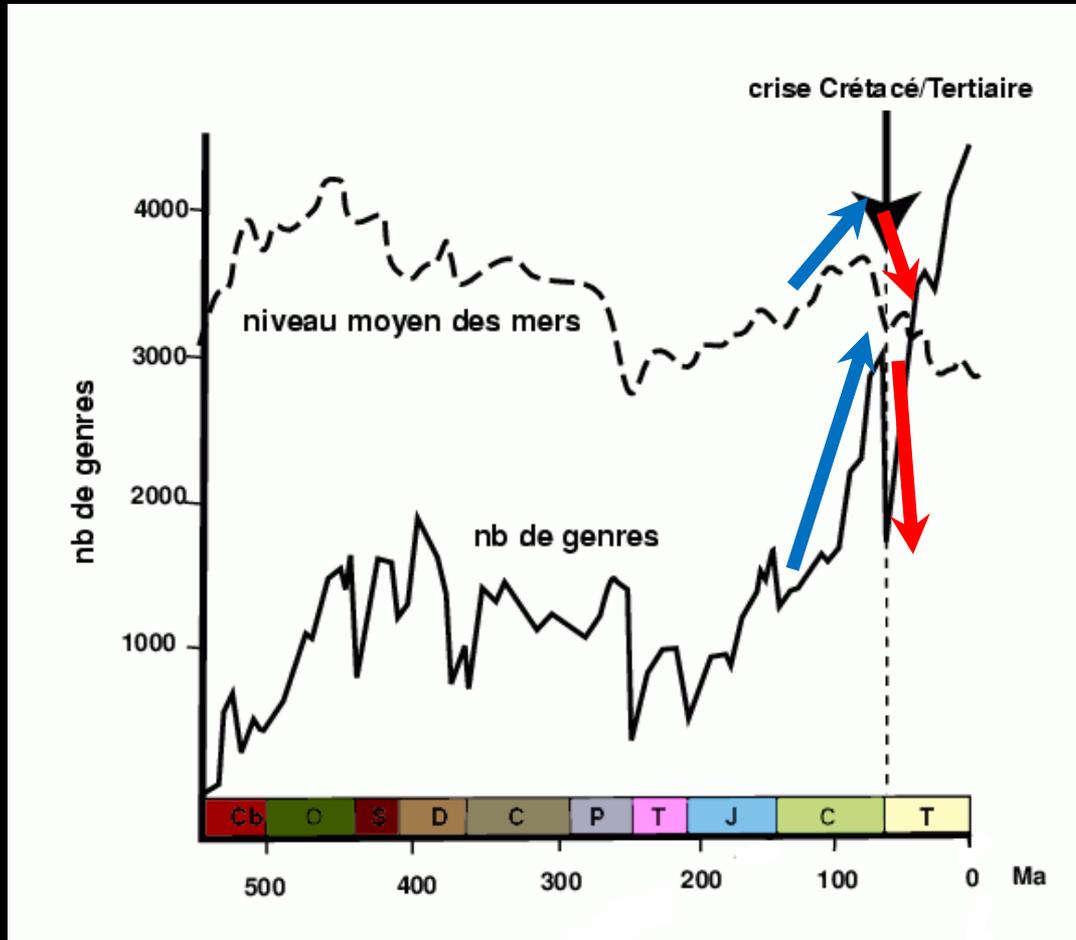


Changement paléogéographique de l'Amérique du Nord entre la transgression maximale du Crétacé supérieur (A) et la régression maximale vers le limite Crétacé-Tertiaire (B). Les flèches indiquent le passage des organismes terrestres entre l'Asie et l'Amérique du Nord. D'après les données modifiées de J.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

Transgression - Régression marines



Faits géologiques : régression marine



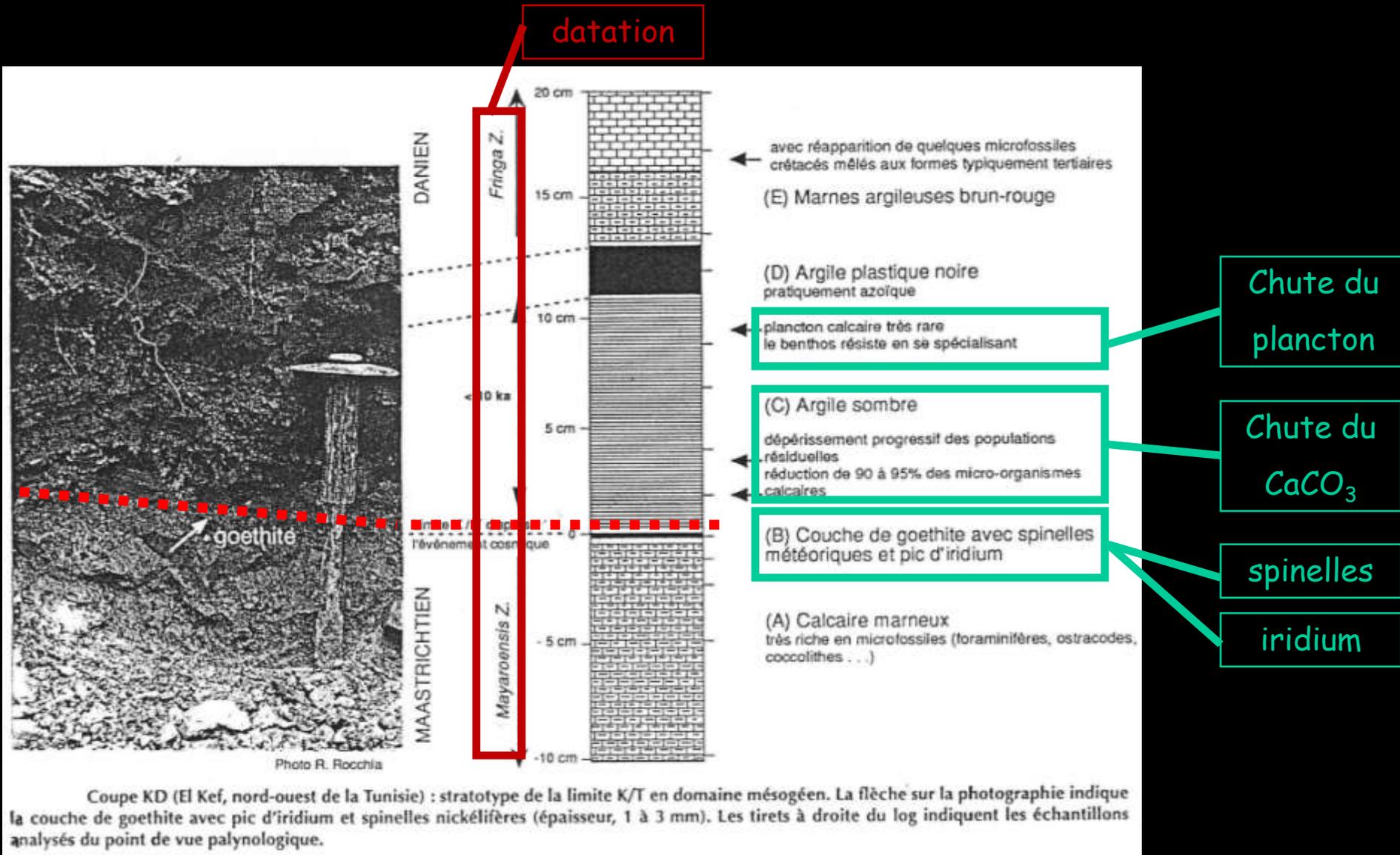
transgression crétacée

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

régression fini-crétacée

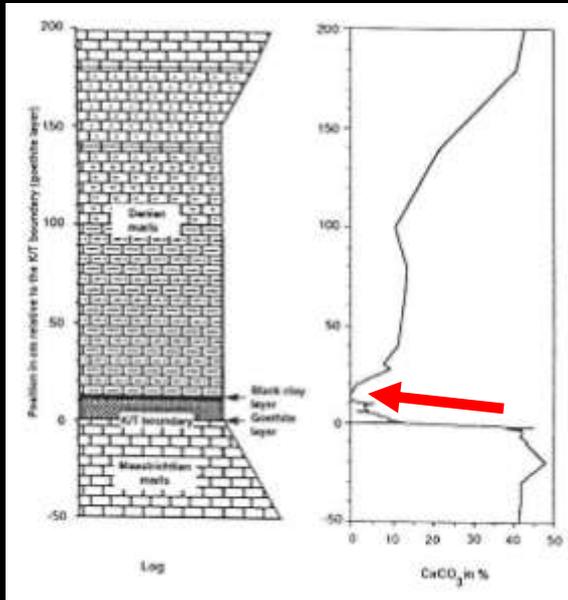
- Forte diminution de la surface des plateaux continentaux: **29 millions de km² découverts**
- Crise de la biosphère

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

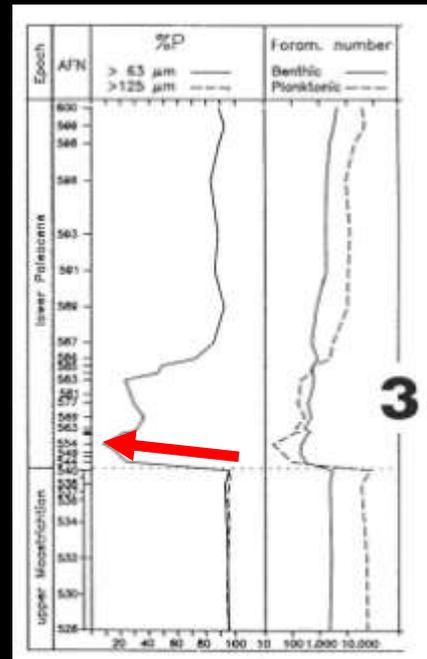


Stratotype = coupe étalon de servant de référence pour la définition et la reconnaissance d'une unité (chrono-)stratigraphique et de ses limites.

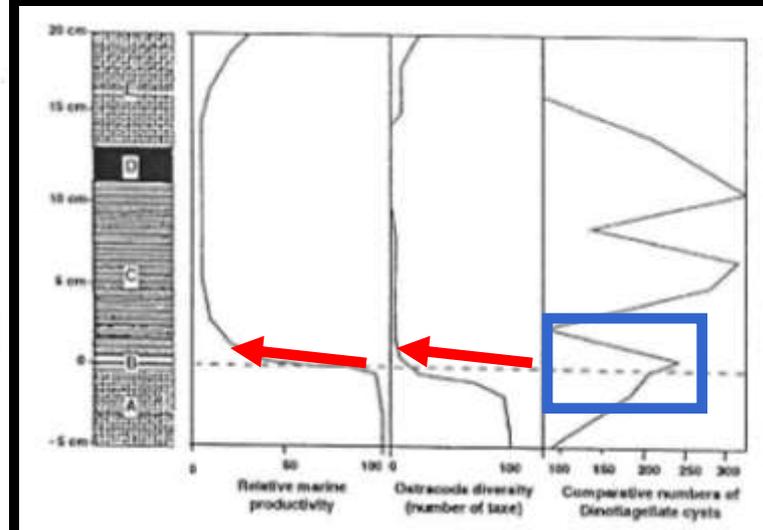
Chute du % de CaCO_3 et apparition d'une sédimentation argileuse



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

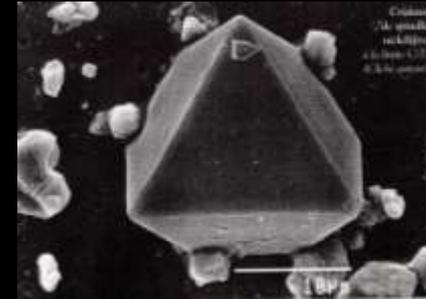
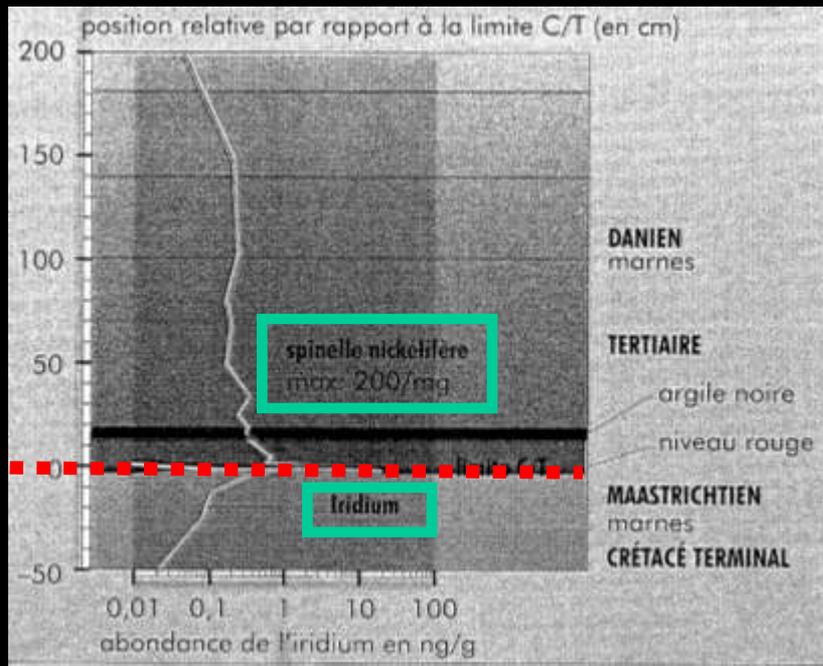


Chute du $\delta^{13}\text{C}$



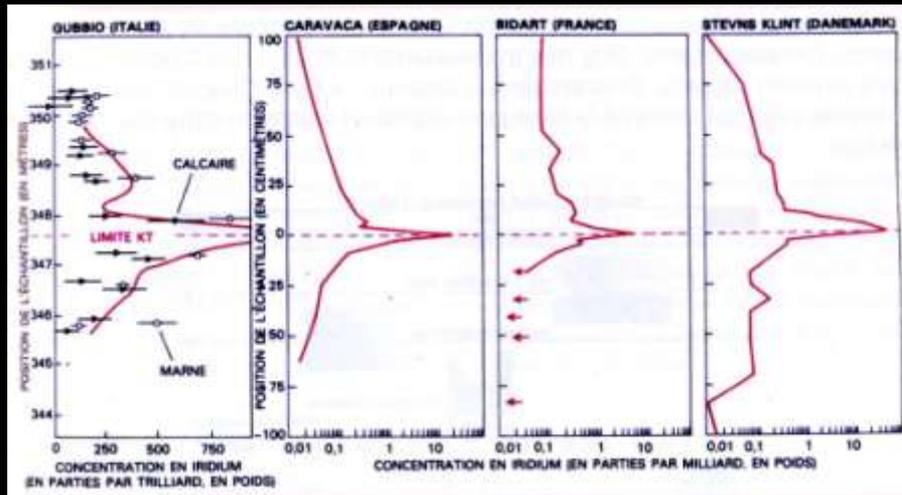
> diminution de la photosynthèse

Horizon riche en spinelles nickélicifères (cristaux formés lorsque les météorites rentrent dans l'atmosphère)

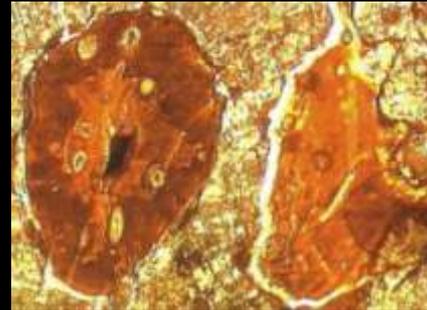
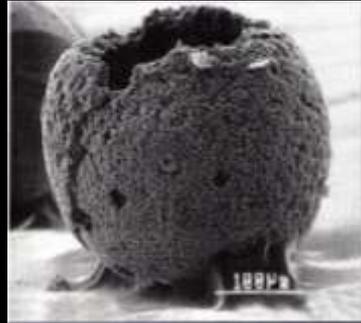


Pic d'Iridium

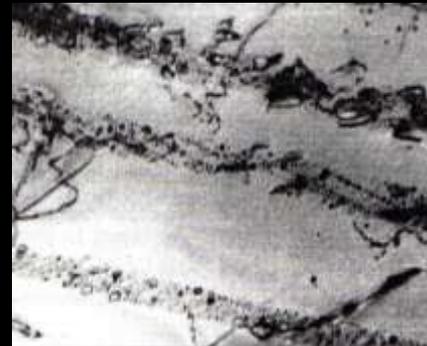
(travaux d'Alvarez et fils, années 1980)



Horizon riche en microtectites (fragments de roches fondues (vitrifiées))



Horizon riche en quartz choqués (quartz terrestres déformés lors d'un impact violent)



Volcanisme intense des trapps du Deccan

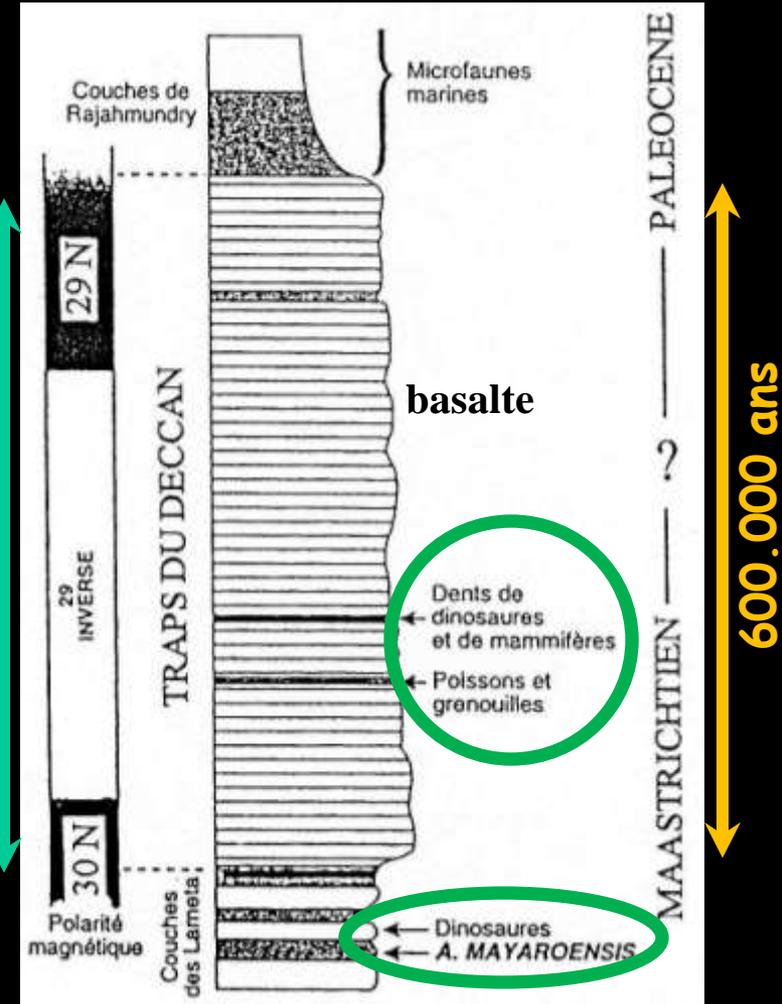


2400m

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

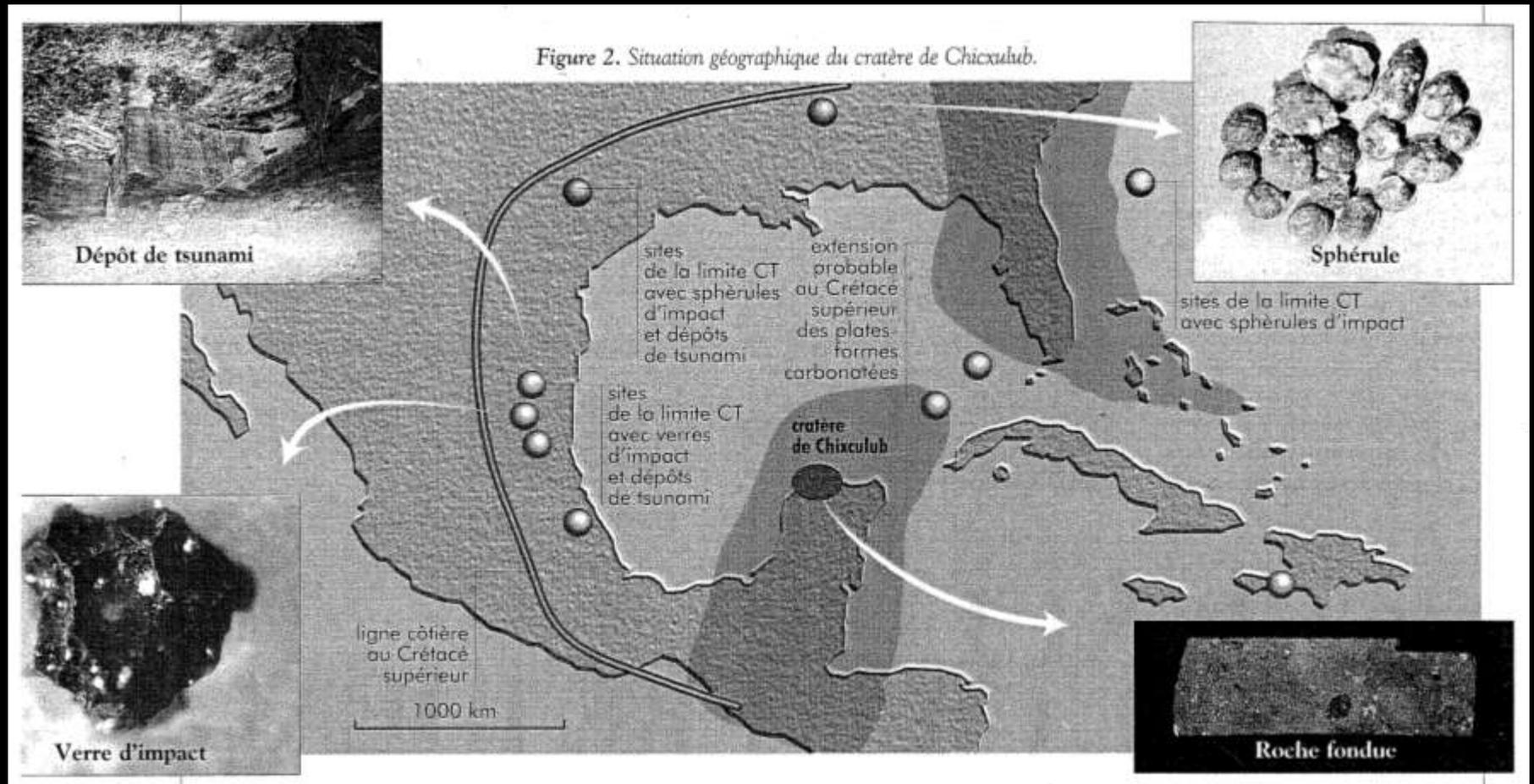


Proposition de scénario

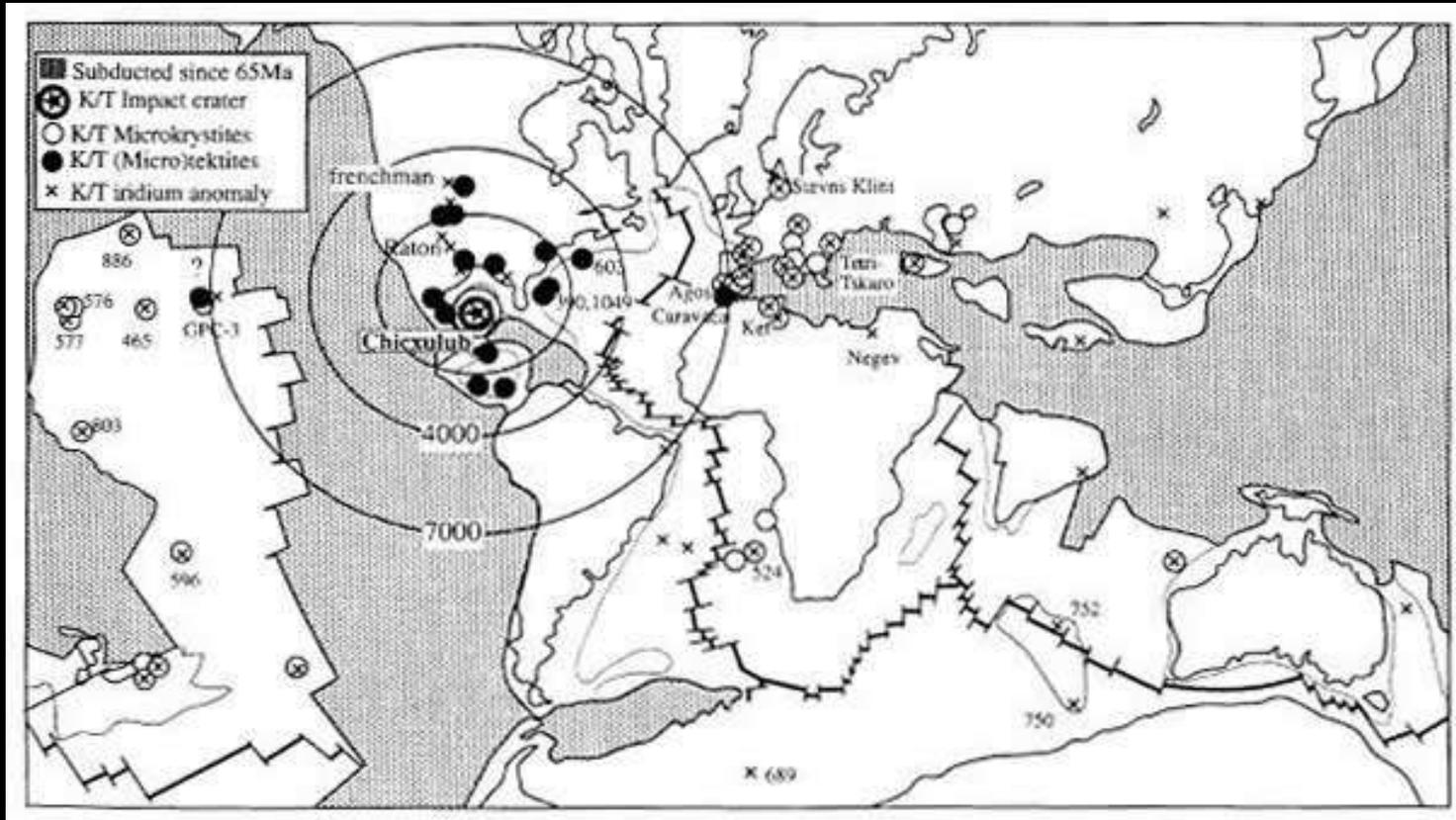
- 1) Baisse du taux d'expansion océanique > baisse du niveau eustatique global > régression marine > forte crise des organismes des milieux récifaux
- 2) Mise en place de points chauds et production de grandes éruptions volcaniques > poussières volcaniques dans la haute atmosphère > réduction de la luminosité > 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

Figure 2. Situation géographique du cratère de Chicxulub.

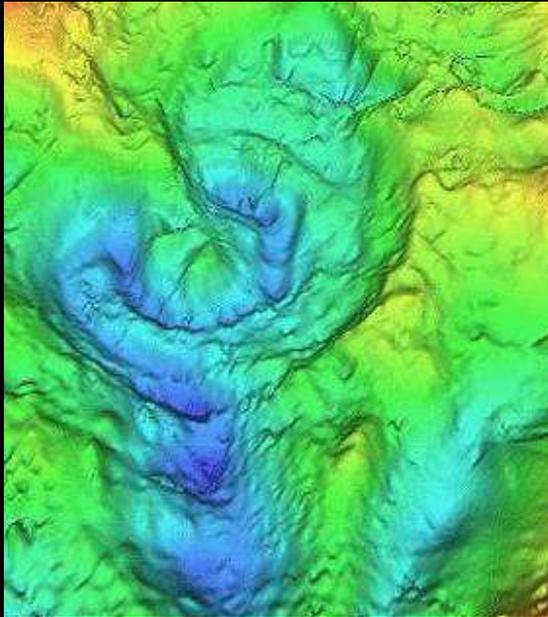


Le cratère de Chicxulub



Présence de microtektites et d'anomalies en Iridium

Le cratère de Chicxulub



Cratère invisible en surface
mais visible par gravimétrie !

Présence d'un cratère d'impact

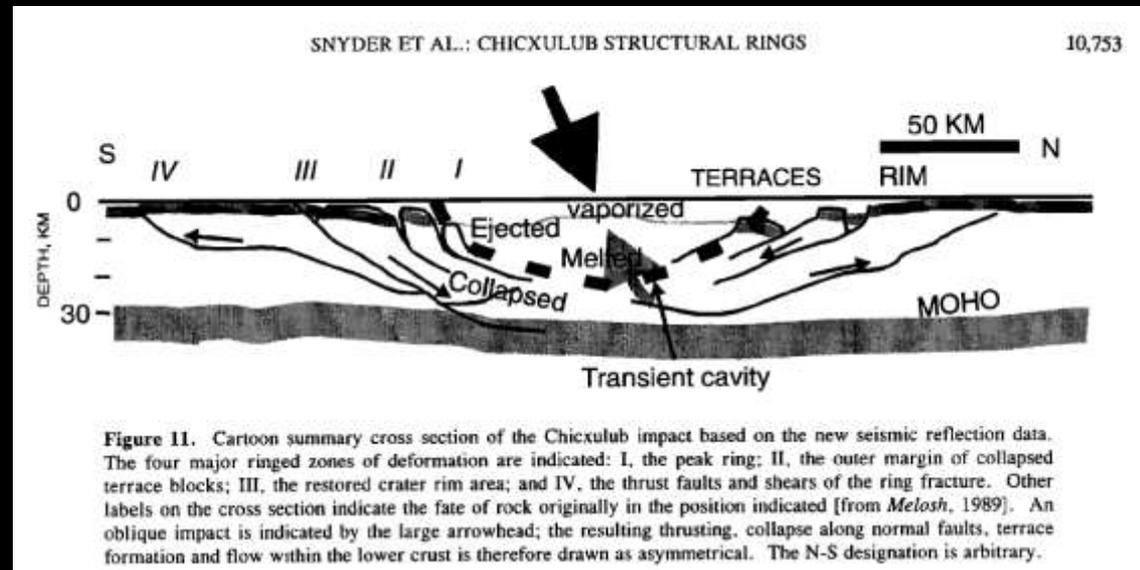
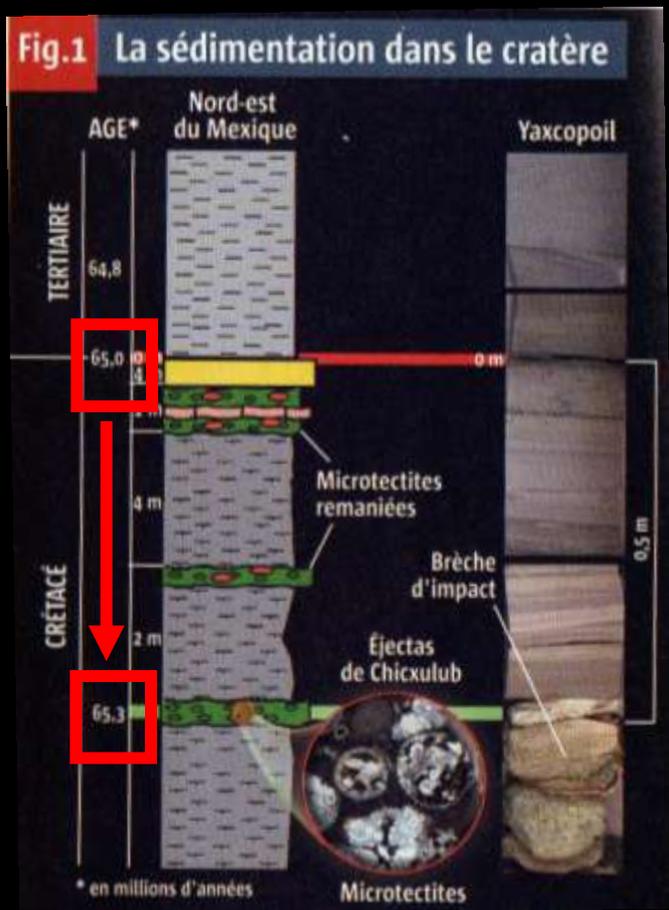


Figure 11. Cartoon summary cross section of the Chicxulub impact based on the new seismic reflection data. The four major ringed zones of deformation are indicated: I, the peak ring; II, the outer margin of collapsed terrace blocks; III, the restored crater rim area; and IV, the thrust faults and shears 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.

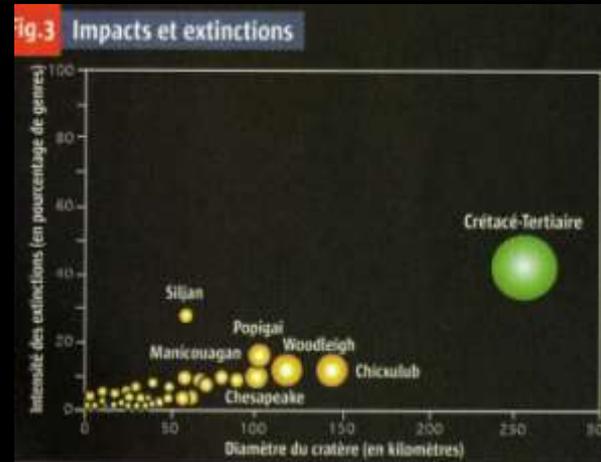
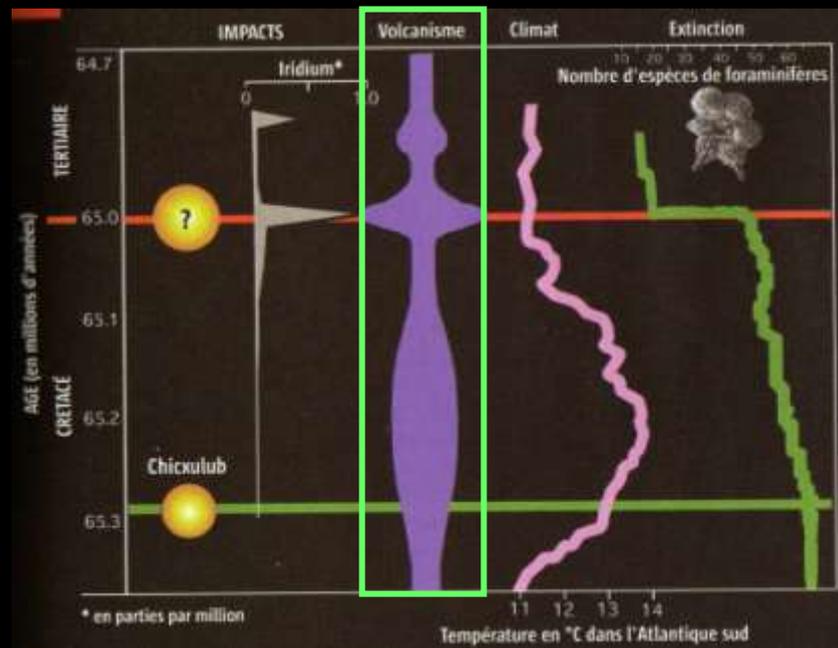
Gravimétrie: méthode géophysique qui étudie les variations du champ de pesanteur et donc de densité des roches

L'hypothèse de l'innocence de l'impact de Chicxulub (Keller, 2004)

Observation:
antériorité de 300.000 ans



Interprétation



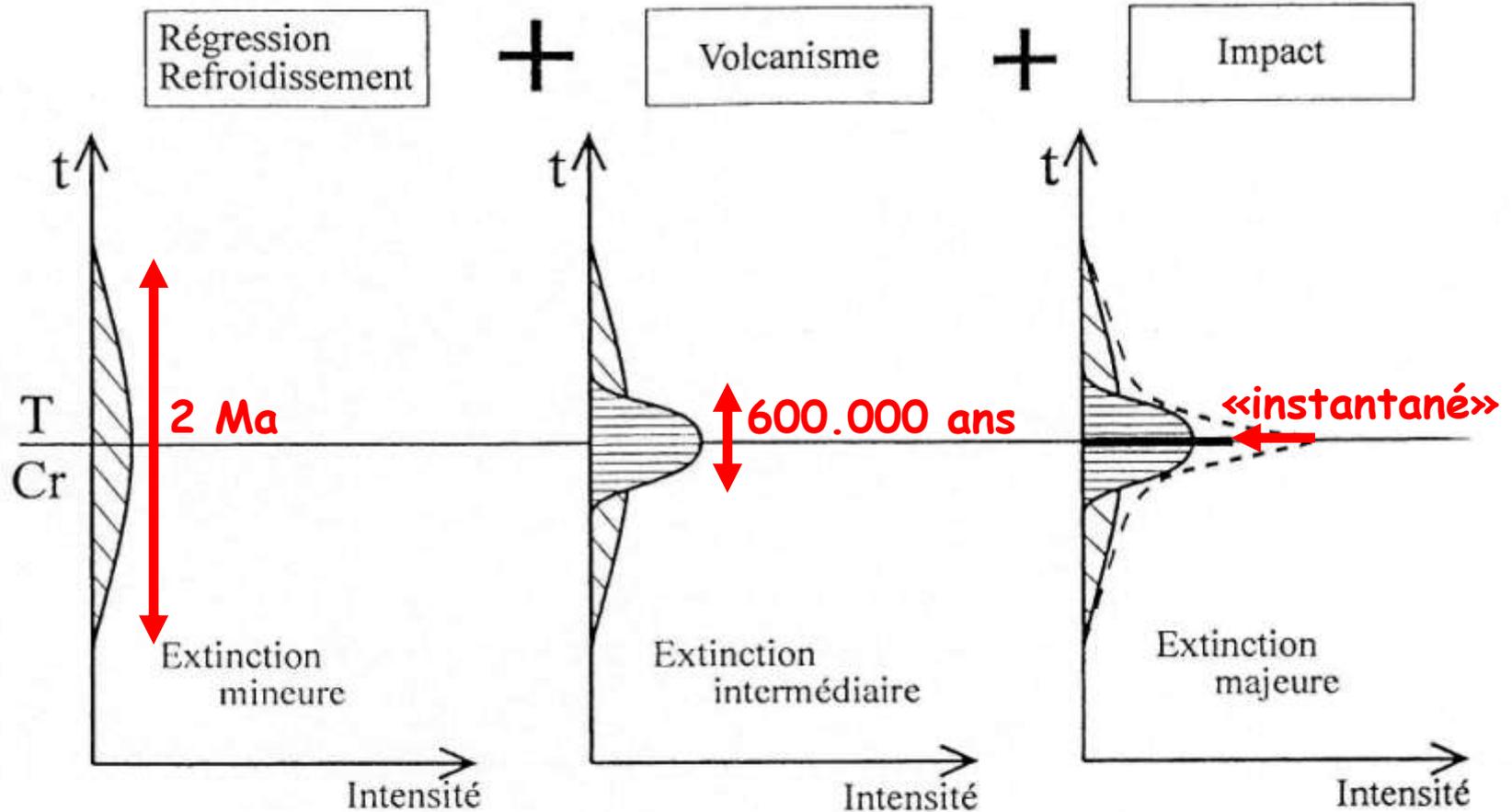
Proposition de scénario

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*

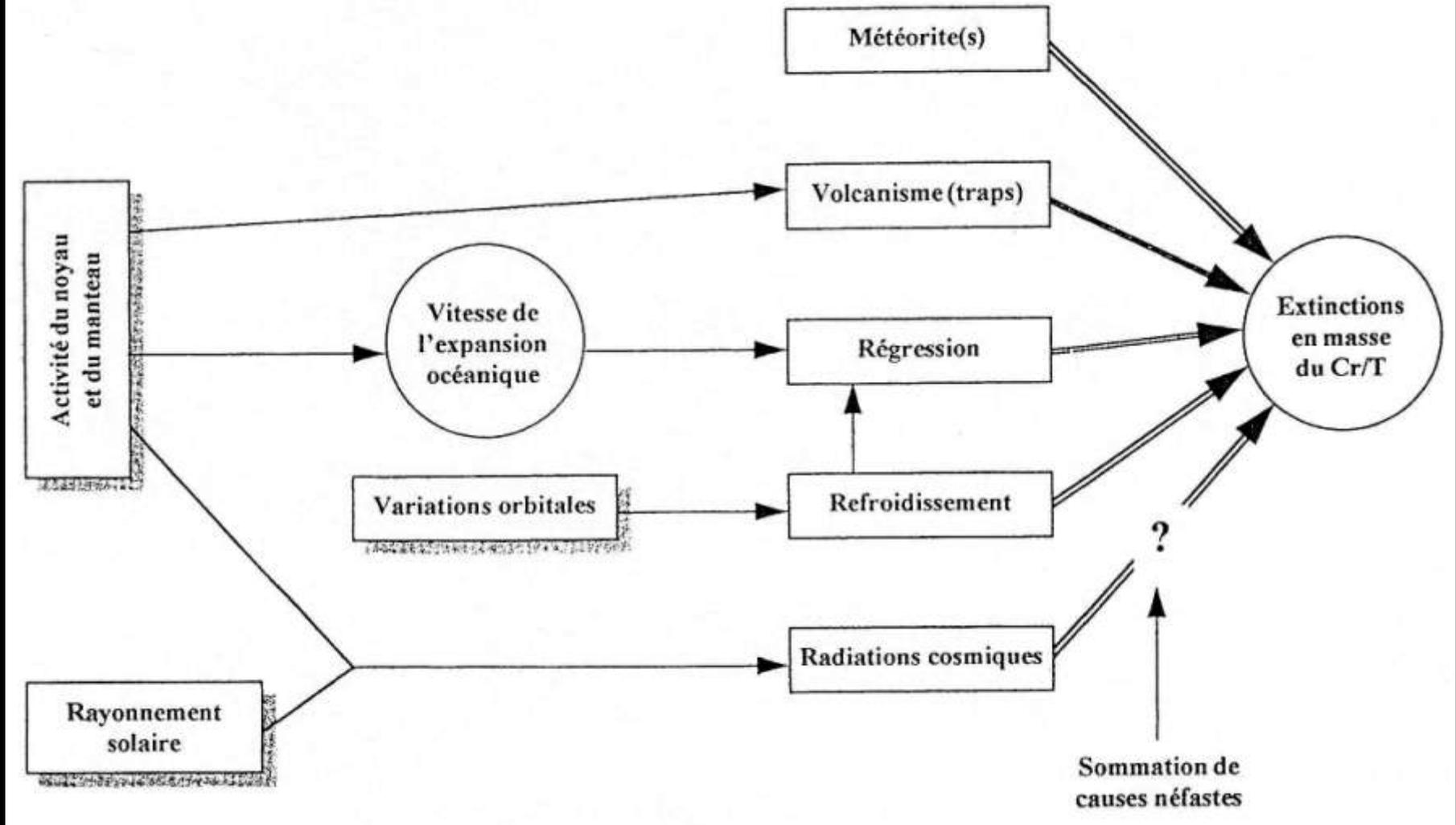
Synthèse des événements



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.

Schéma synoptique de la crise biologique à la limite K/T

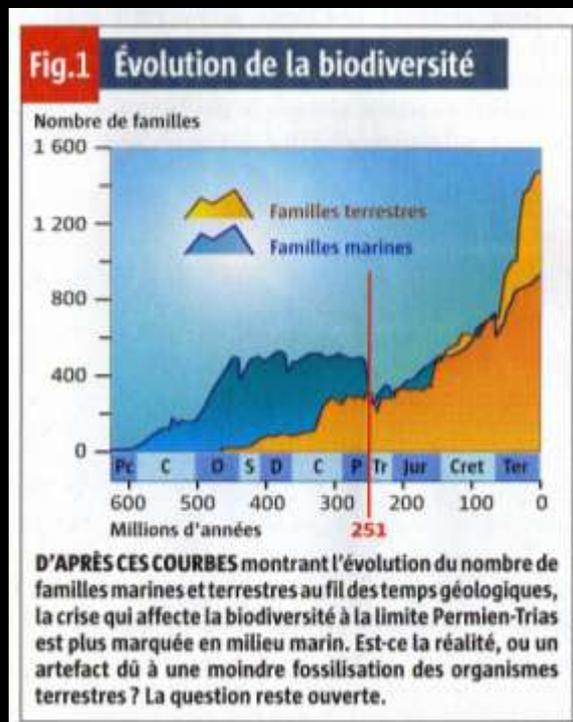
Lethiers, 1998



Synoptique: qui offre une vue générale, qui permet de voir tout un ensemble d'un seul coup d'œil

CRISE de la FIN du PERMIEN

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

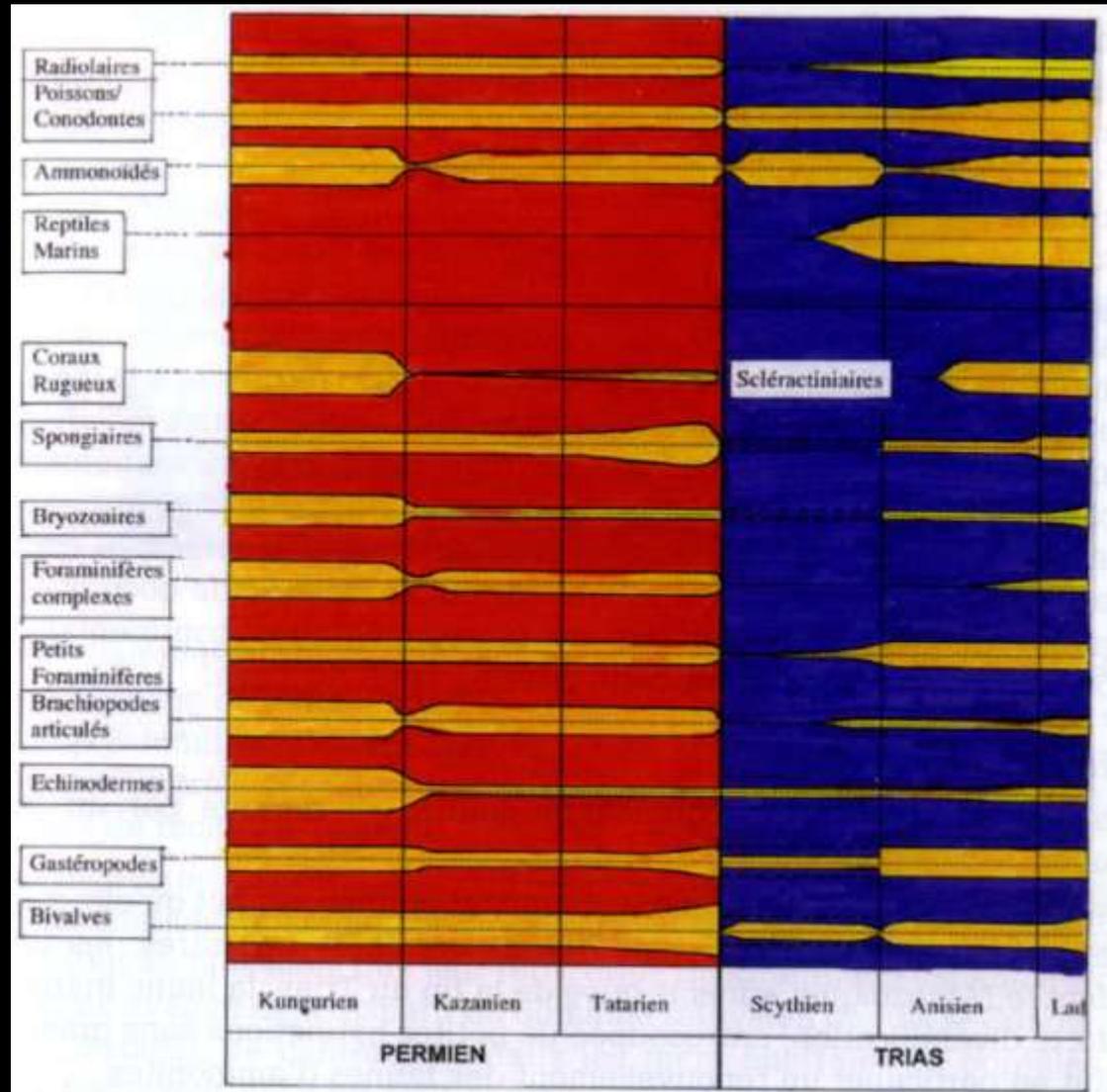


Impact sur la biodiversité

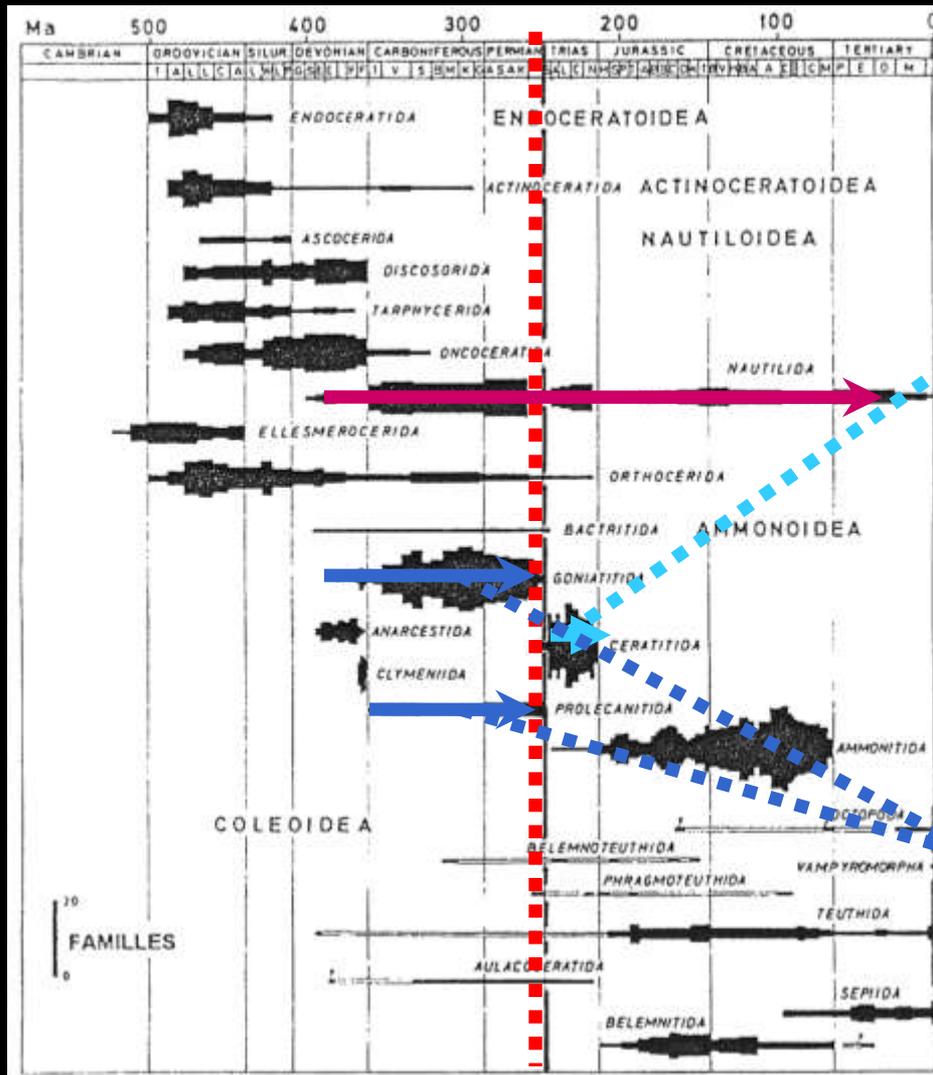
Era	Period	Epoch	Age (Ma)		
CENOZOIC	Quaternary	Holocene	0.0118		
		Pleistocene	U/L	0.126	
			Middle	0.781	
	Tertiary	Neogene	Pliocene	1.806	
			Miocene	5.33 ± 0.05	
		Paleogene	Oligocene	22.9 ± 0.1	
			Eocene	33.9 ± 0.1	
			Paleocene	54.8 ± 0.5	
			Cretaceous	Upper/Late	65.0 ± 0.05
				Lower/Early	99.0 ± 1.0
MESOZOIC	Jurassic	Upper/Late	144.8 ± 3.7		
		Middle	156.6 ± 2.7		
		Lower/Early	178.0 ± 1.5		
	Triassic	Upper/Late	200 ± 1.0		
		Middle	231 ± 5		
	Permian	Lower/Early	231 ± 5		
		Upper/Late	253 ± 2		
		Middle	258 ± 5		
	PALEOZOIC	Carboniferous	Upper/Late	300 ± 3	
			Middle	306.5 ± 1.0	
Lower/Early			311.7 ± 1.1		
Mississippian		Upper/Late	318.0 ± 1.3		
		Middle	326.4 ± 1.6		
Devonian		Lower/Early	345.3 ± 2.1		
		Upper/Late	360 ± 2		
		Middle	383 ± 4		
Silurian		Lower/Early	394 ± 2		
		Upper/Late	418 ± 2		
Ordovician	Upper/Late	424 ± 1			
	Middle	443 ± 4			
	Lower/Early	460.9 ± 1.6			
Cambrian	Upper/Late	471.8 ± 1.6			
	Middle	489 ± 1			
	Lower/Early	499 ± 5			
PRECAMBRIAN	Proterozoic	Neoproterozoic	509 ± 1		
		Mesoproterozoic	544 ± 1		
		Paleoproterozoic	1,000 ± 50		
	Archean	Neoarchean	1,600		
		Mesoarchean	2,500		
		Paleoarchean	2,800		
		Eoarchean	1,200		
			1,600		
			2,000		
			2,800		

Faits biologiques en milieu marin

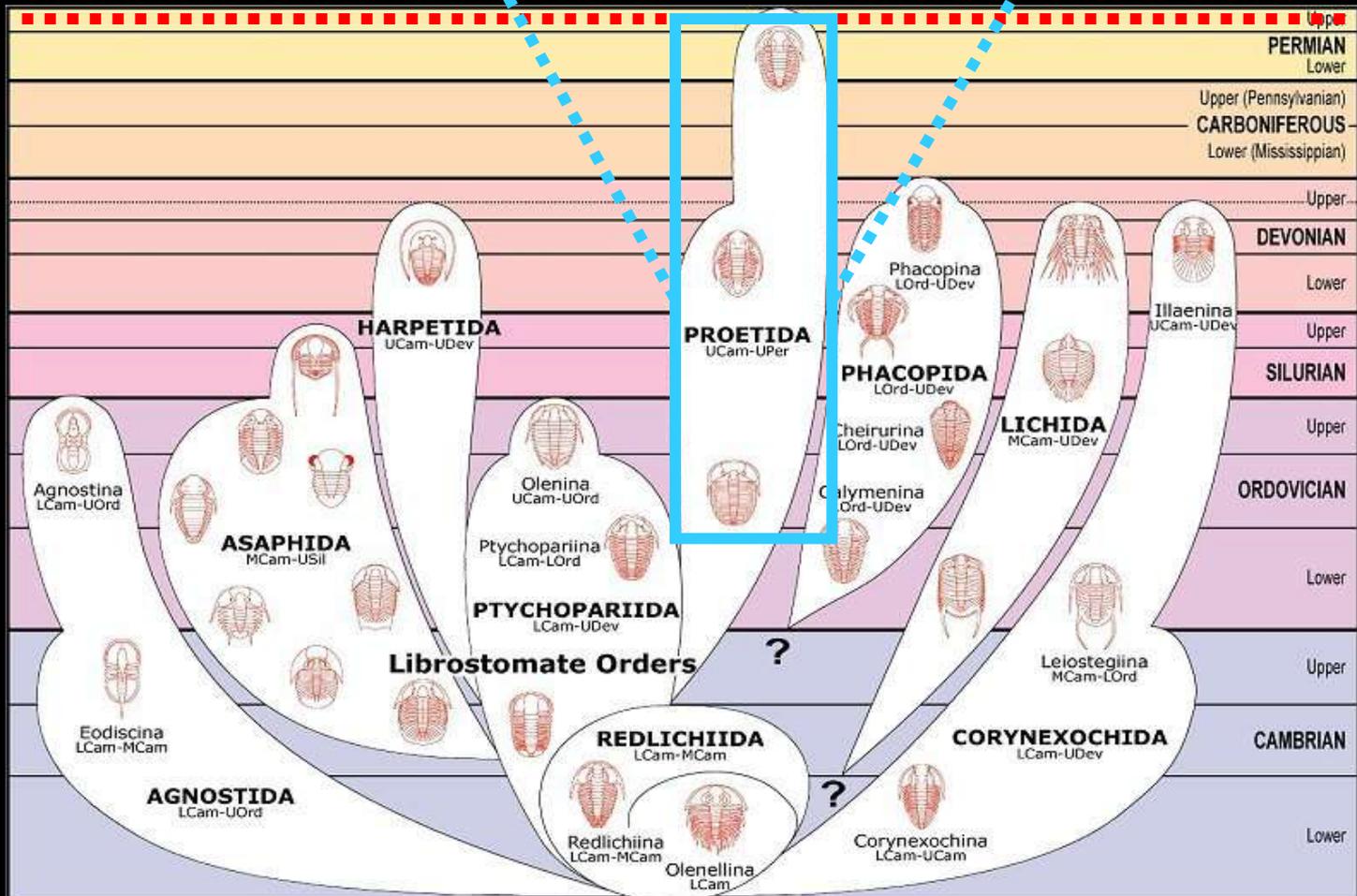
	PERMIEN SUPERIEUR
Milieux et Groupes concernés	<p><i>Milieu récifal</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Trilobites • Coraux • Brachiopodes (articulés) • Gigantotraccés • Fusulines
Pourcentages de taxons disparus	<p>Familles: 50-57%</p> <p>Genres: 70-83%</p> <p>Espèces marines: 85-96%</p>



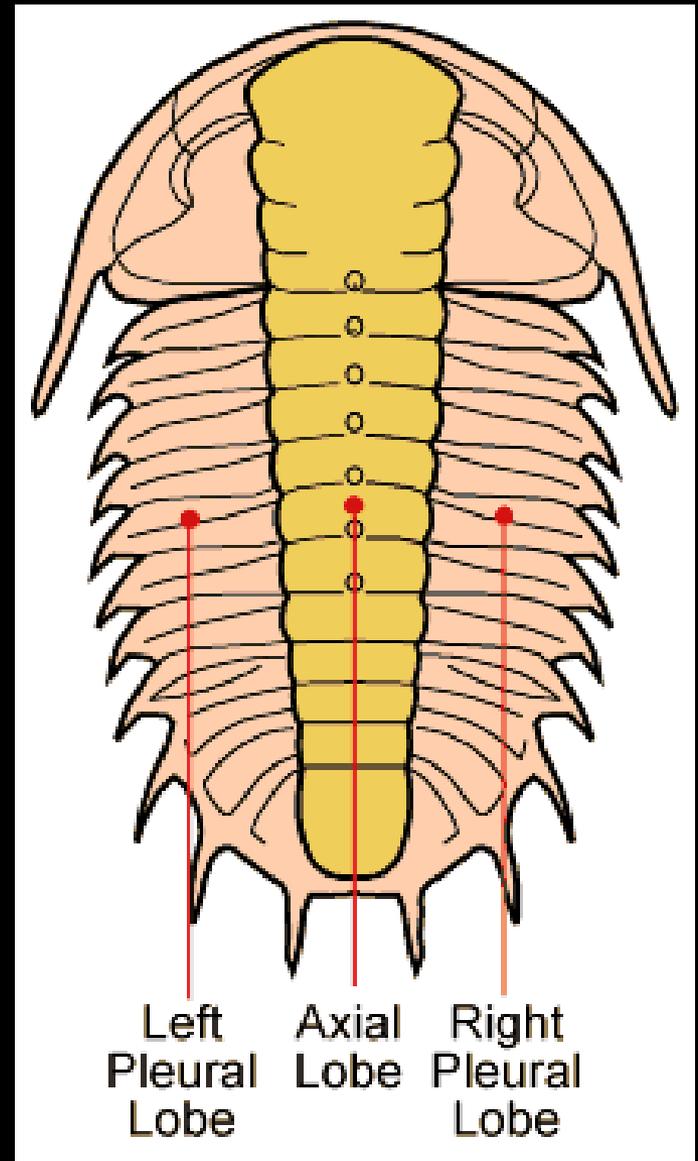
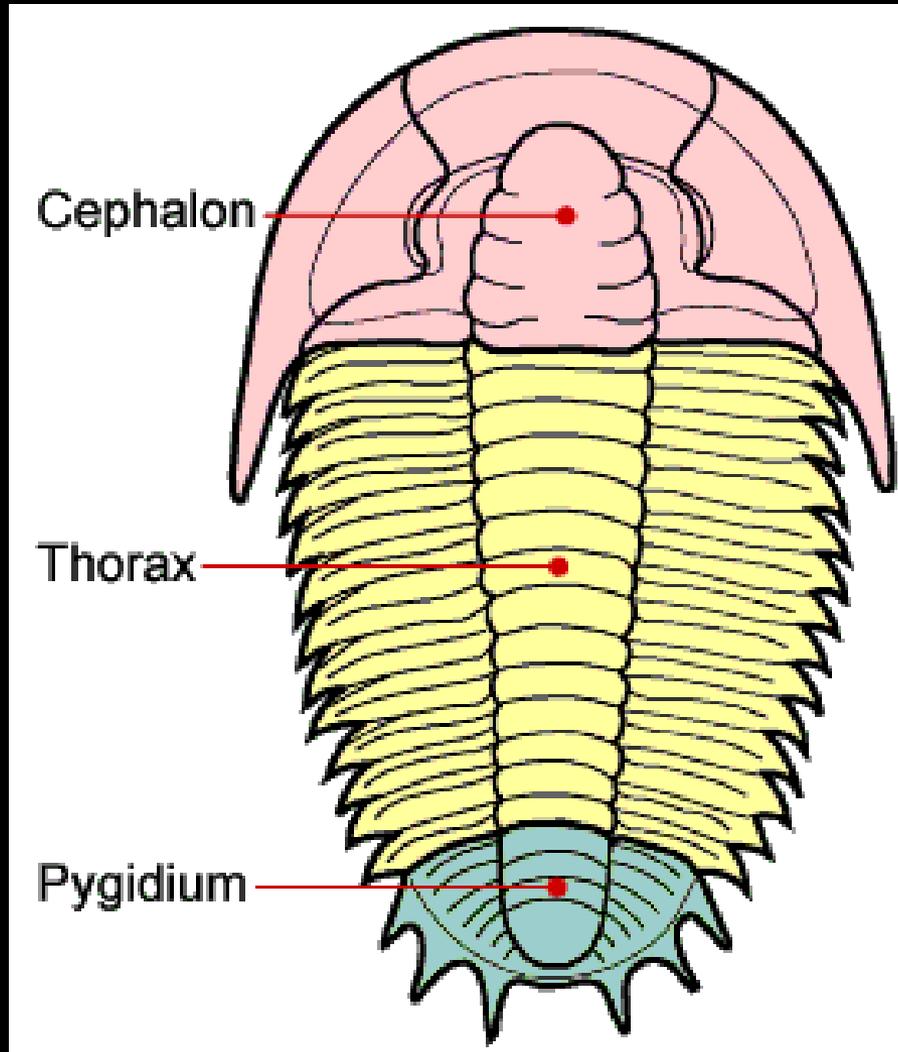
Ammonoïdes



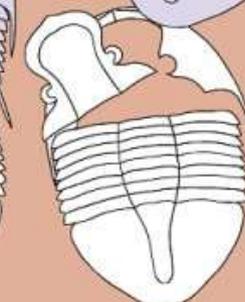
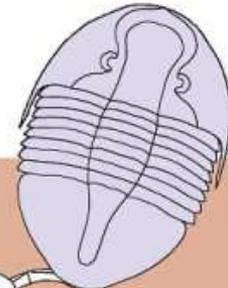
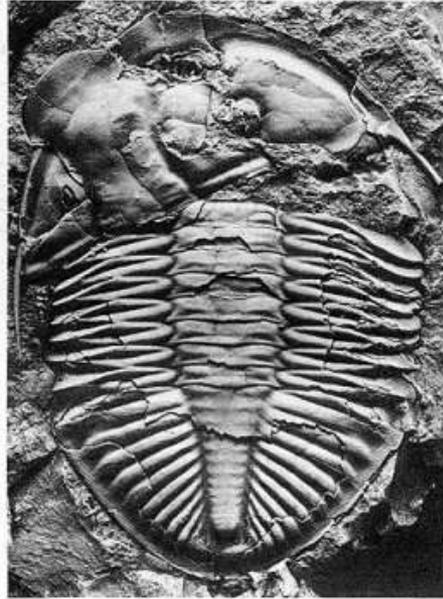
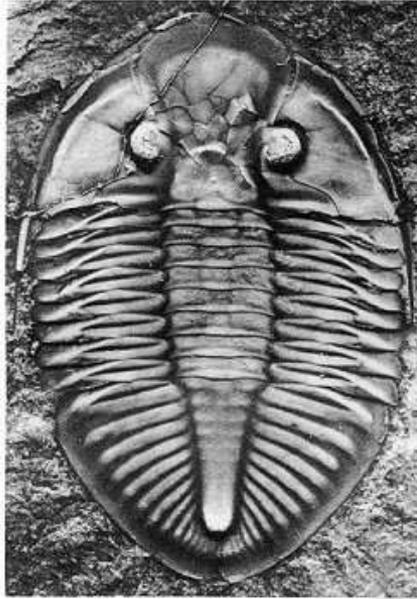
Trilobites



Trilobites



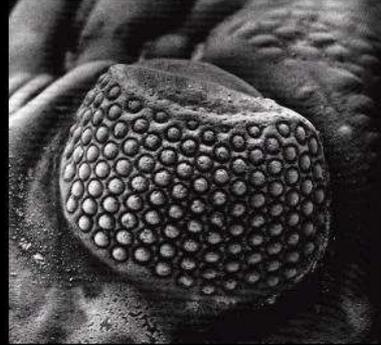
Trilobites



Trinucleus



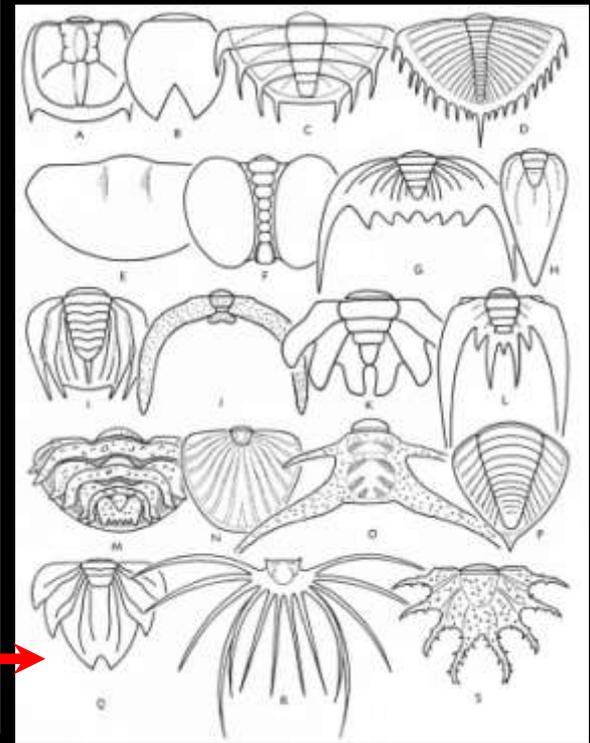
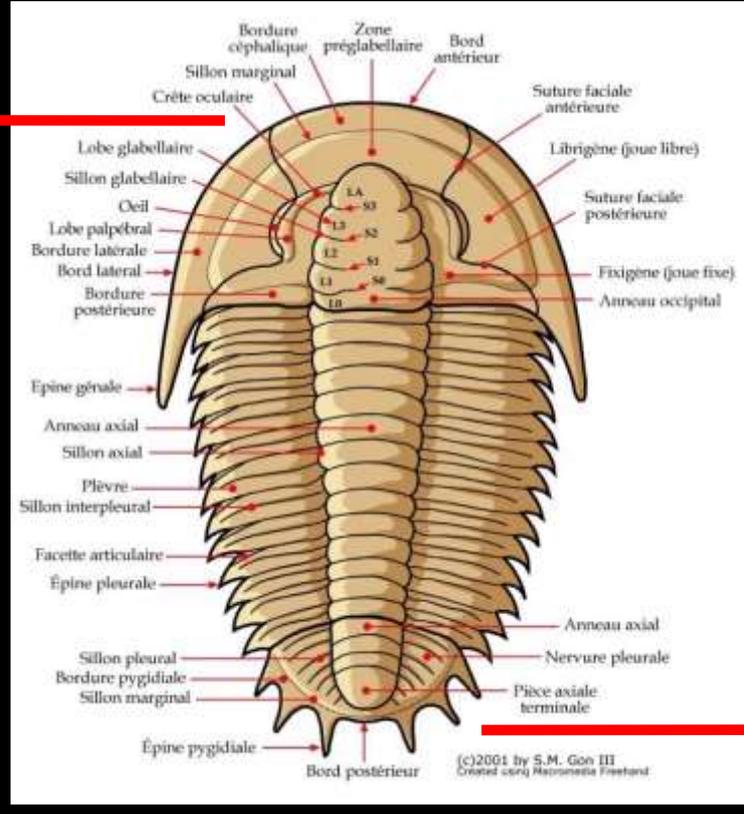
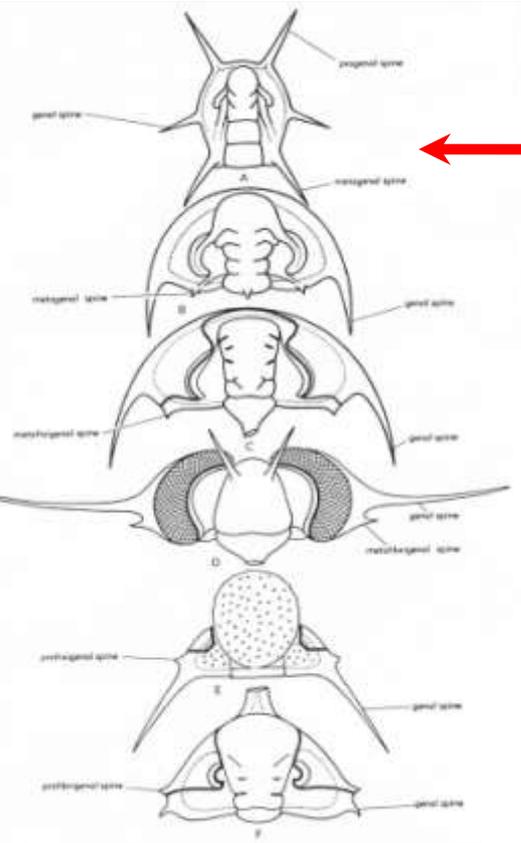
Trilobites



Phacops



Copyright © 1997 Stu Milliken and Jeff Poling



(c)2001 by S.M. Gon III
Created using Reptimedia Freehand

Trilobites

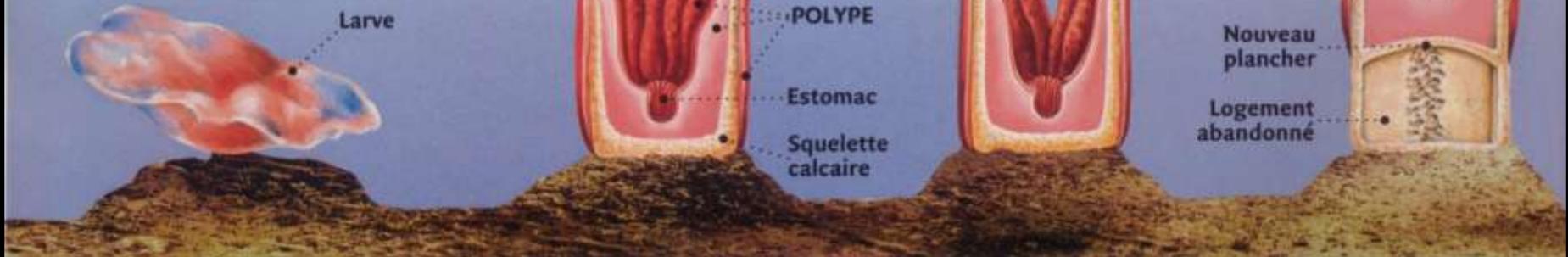


Coraux

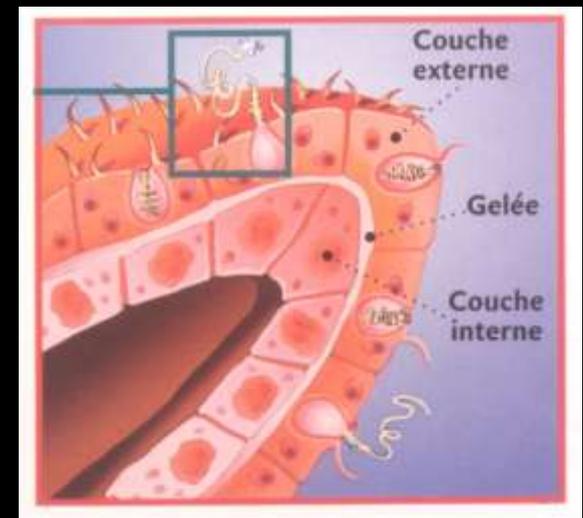
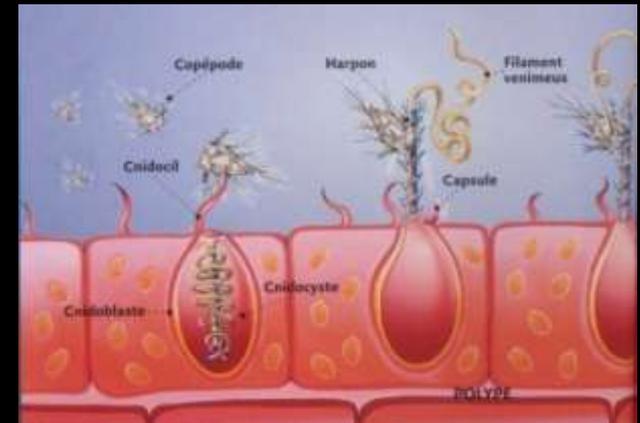
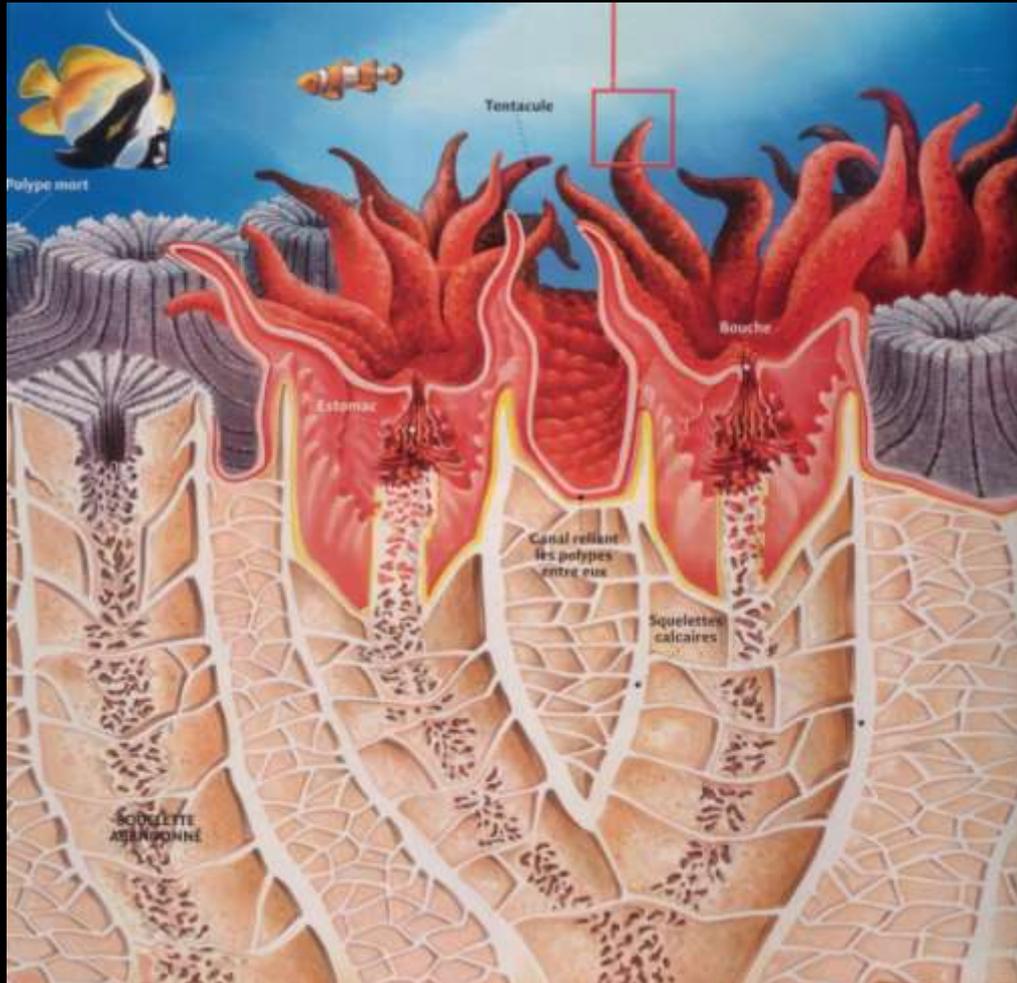
TOUJOURS PLUS HAUT

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.



Coraux



Coraux tétracoralliaires



Zaphrentis

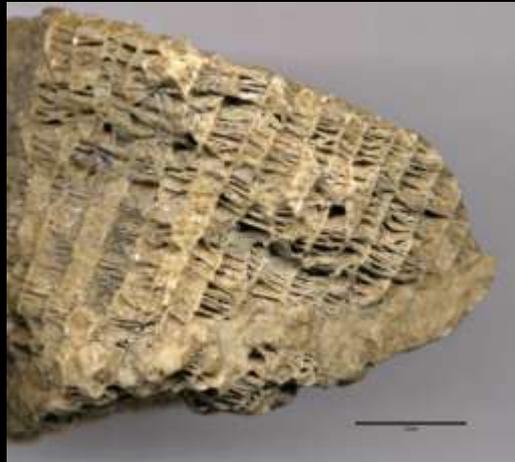


Calceola

Coraux tabulés



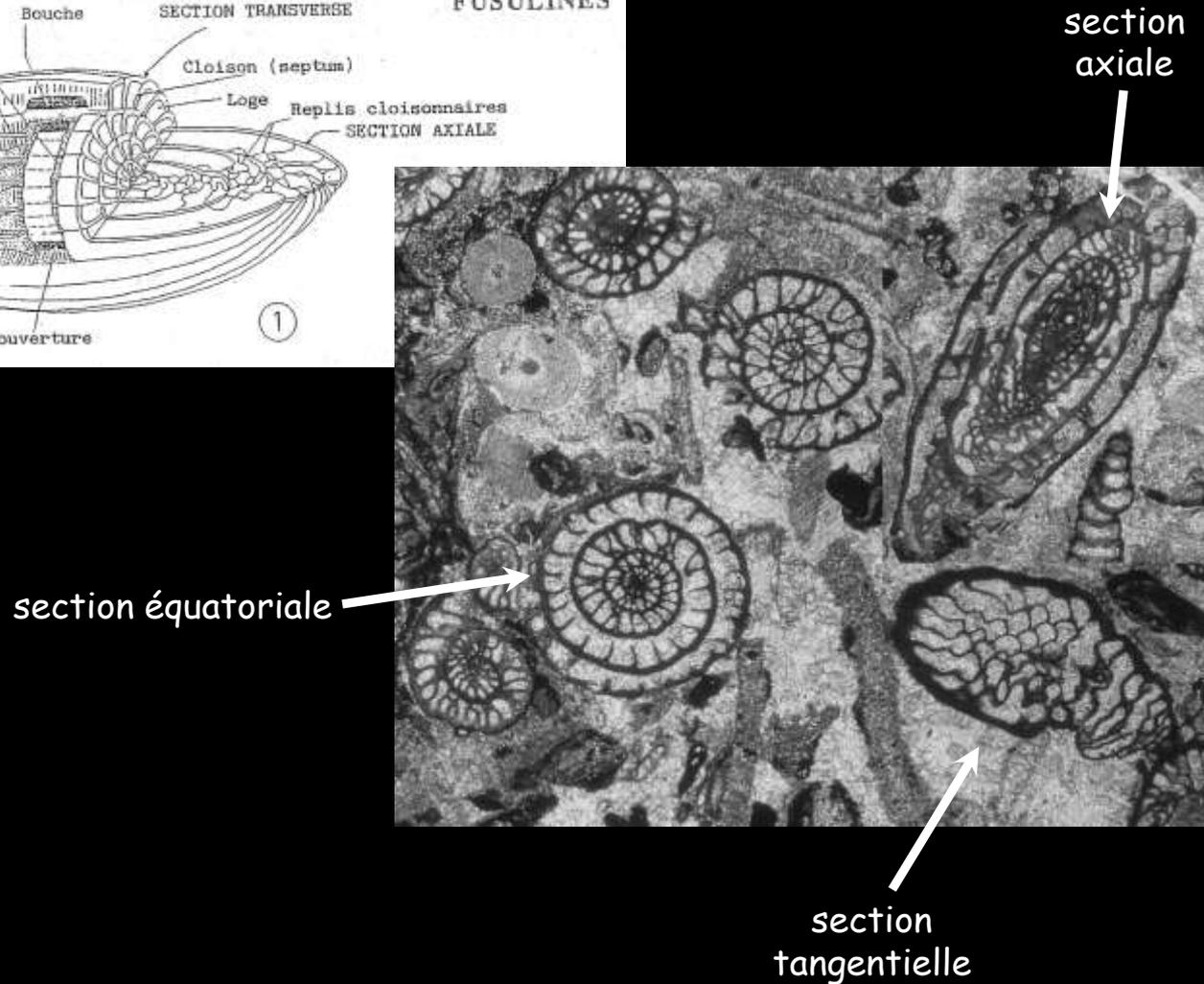
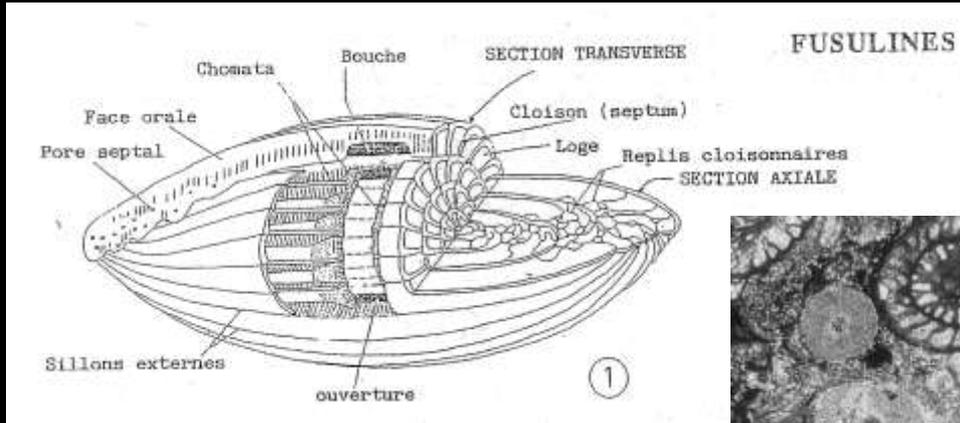
Halysites



Favosites



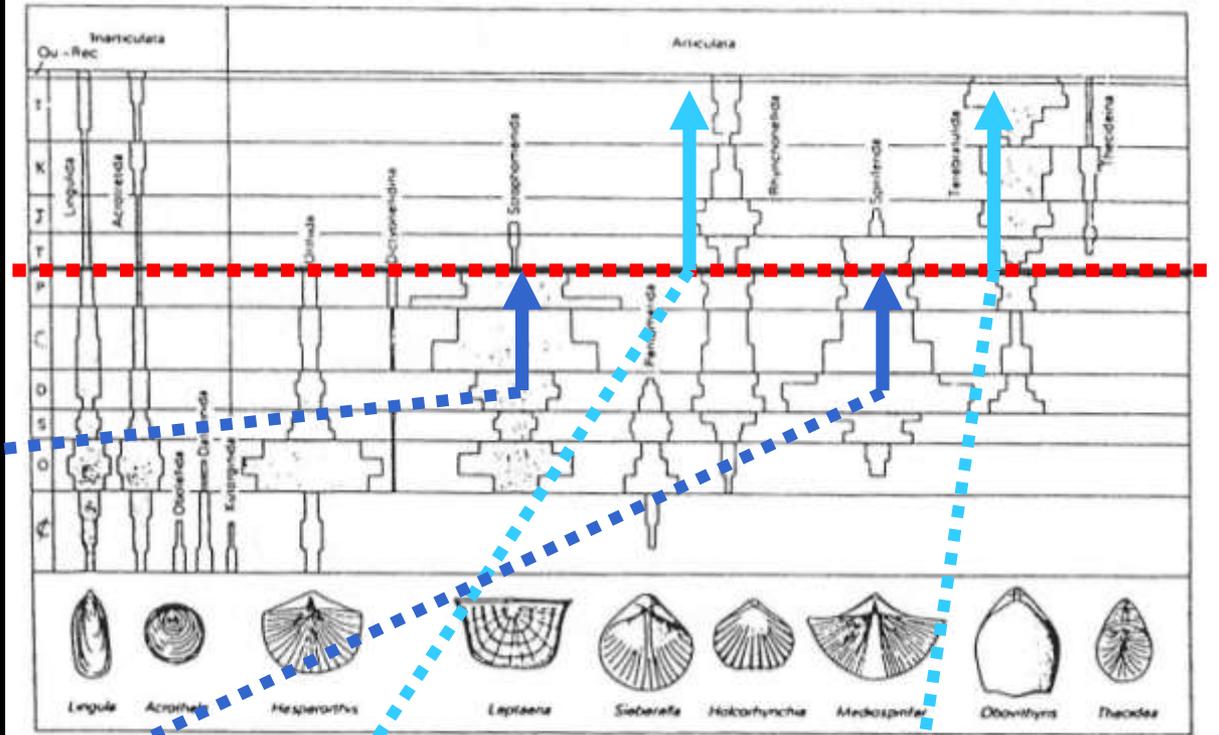
Fusulines (foraminifères benthiques)



Brachiopodes



Productus



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



Spirifer

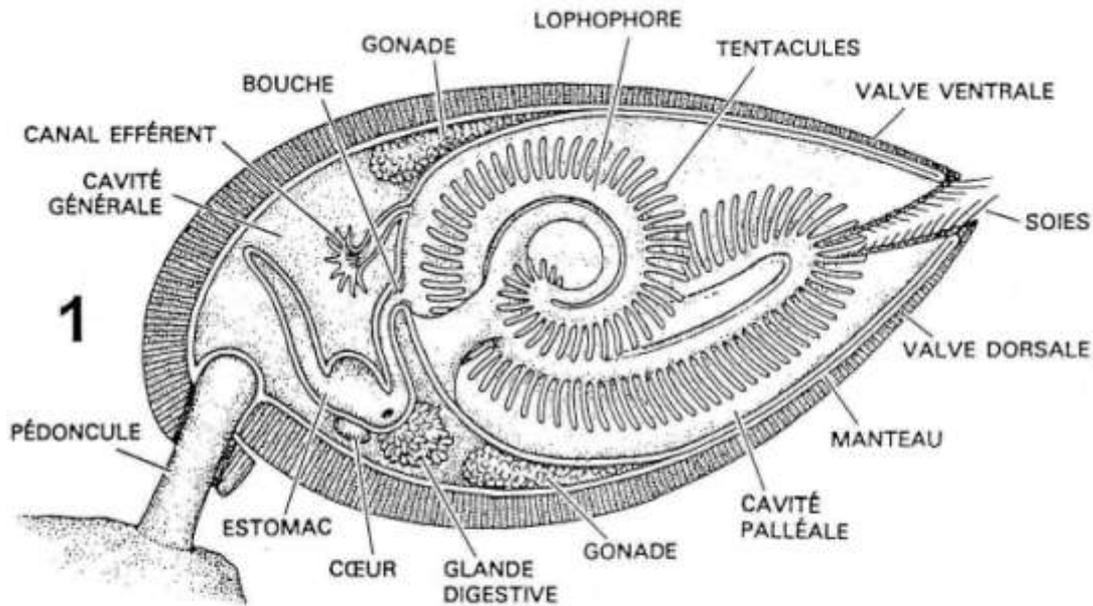


Rhynchonella



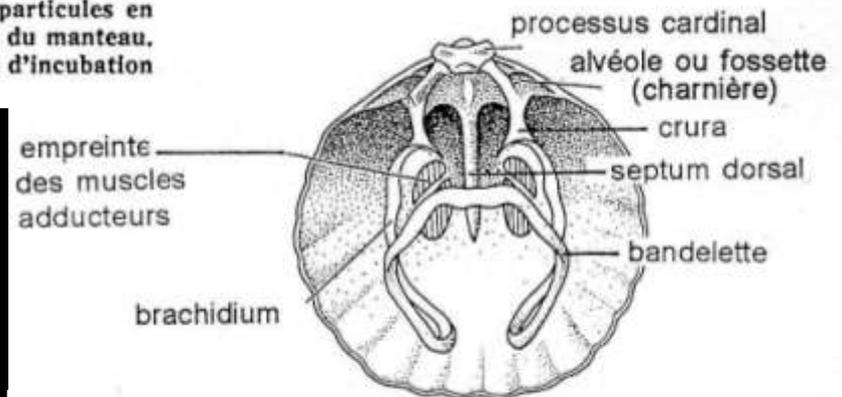
Terebratula

Brachiopodes



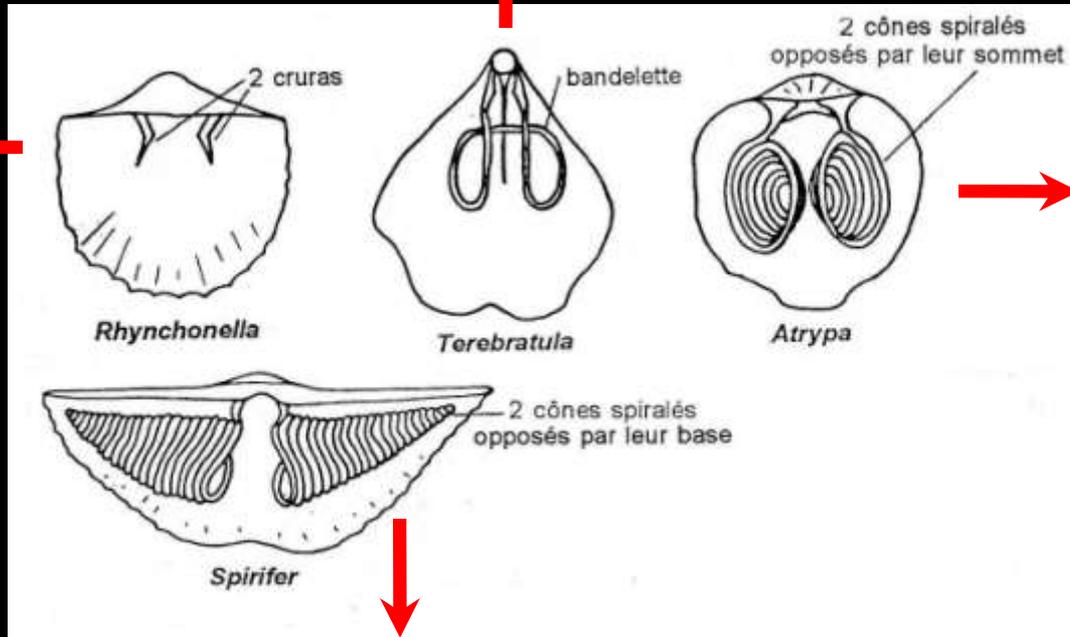
1

L'ANATOMIE GÉNÉRALE d'un Brachiopode est présentée sur cette coupe pratiquée selon le plan de symétrie de l'animal. L'organe essentiel, le lophophore, se situe dans la cavité palléale, qui est séparée de la cavité générale abritant les autres organes. Les mouvements des tentacules ciliés du lophophore entretiennent un courant d'eau entre les deux valves de la coquille. Ce courant dirige vers la bouche de l'animal les particules en suspension dont il se nourrit, et emporte les déchets en ressortant de la cavité du manteau. Le lophophore est aussi l'organe de la respiration des Brachiopodes, une poche d'incubation pour les larves et, sans doute, une réserve de graisse.

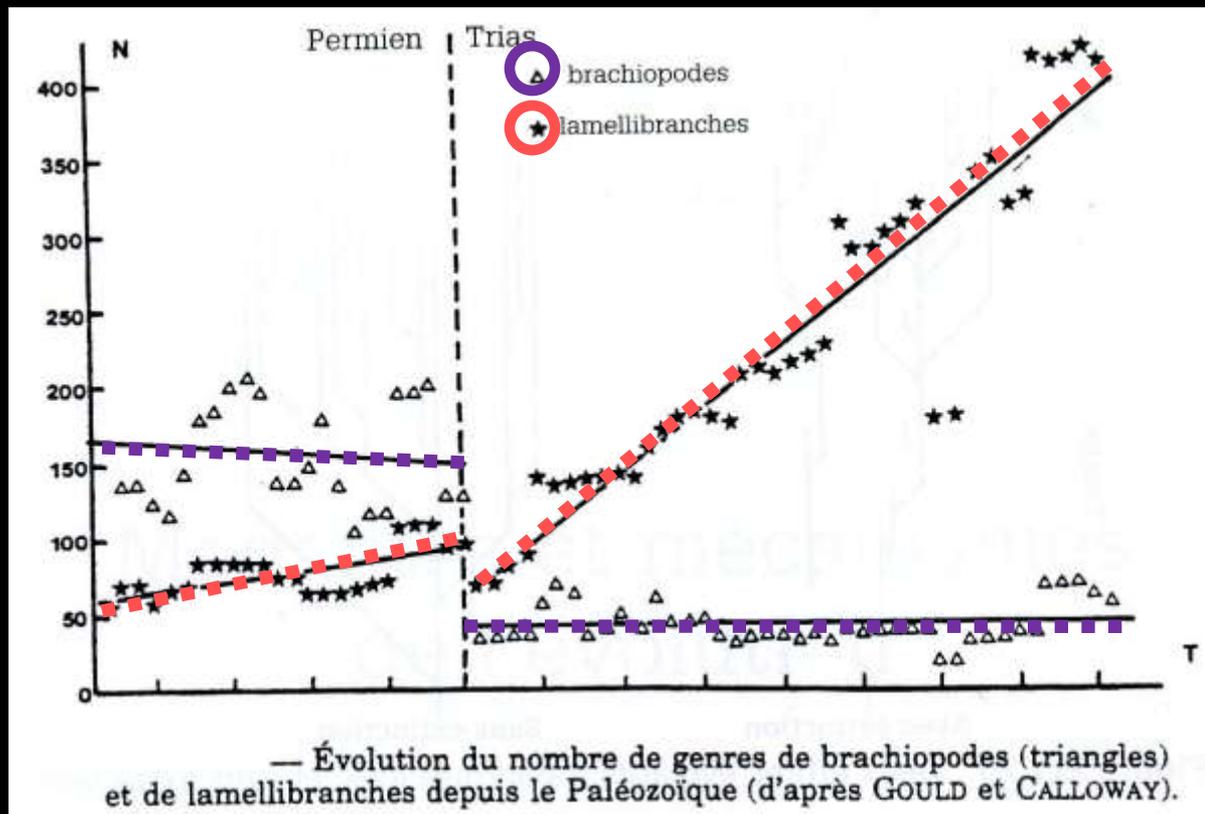


Vue interne de la valve dorsale

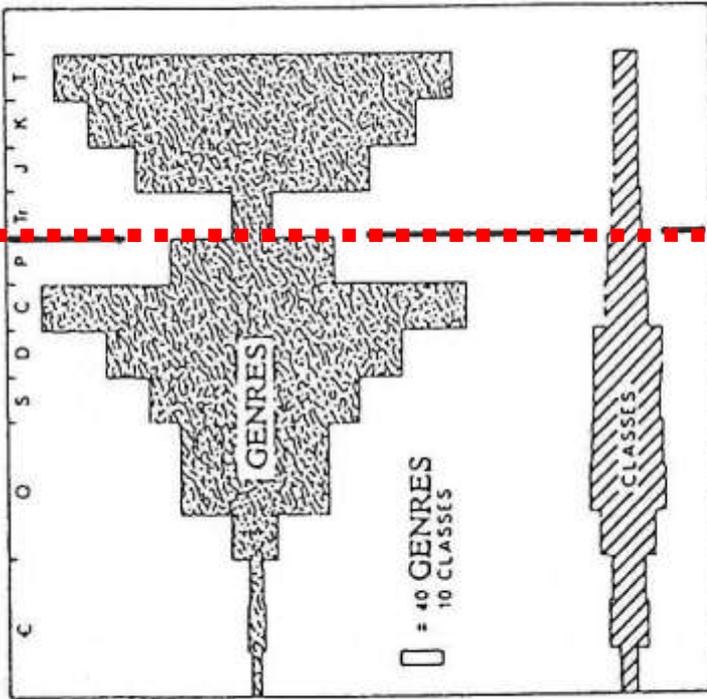
Brachiopodes



Brachiopodes paléozoïques et Bivalves méso- et cénozoïques



Echinodermes



Nombre de genres et de classes chez les échinodermes

Libres
(Echinoïde)



Hemicidaris

Fixés
(Blastoïde, Crinoïde)



Encrinus

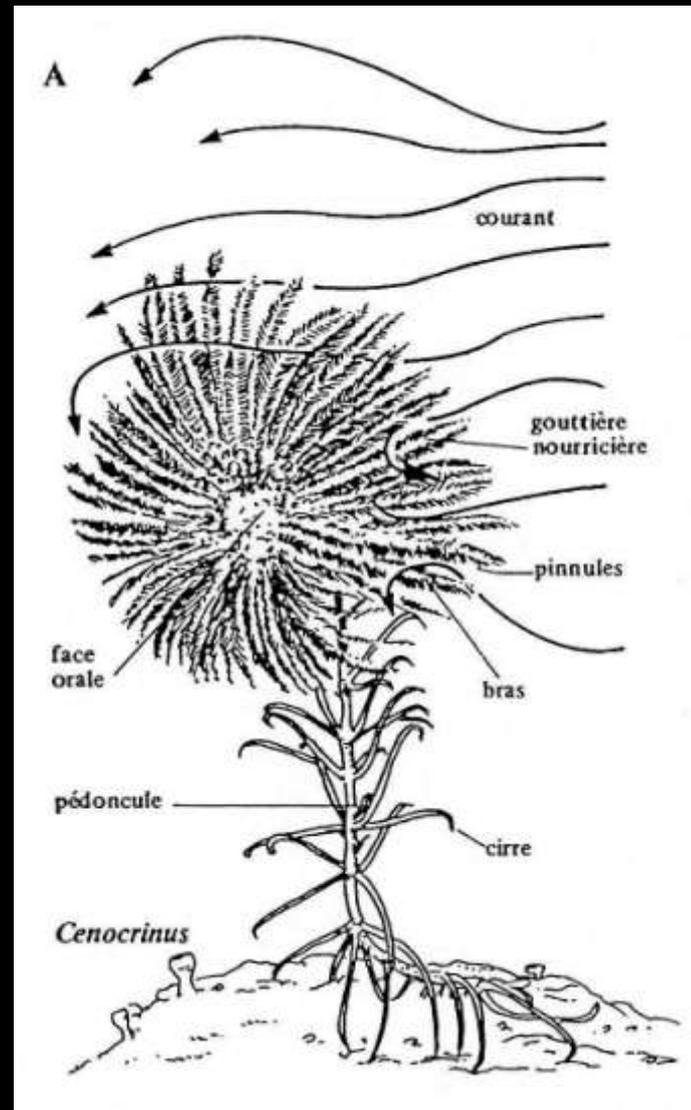
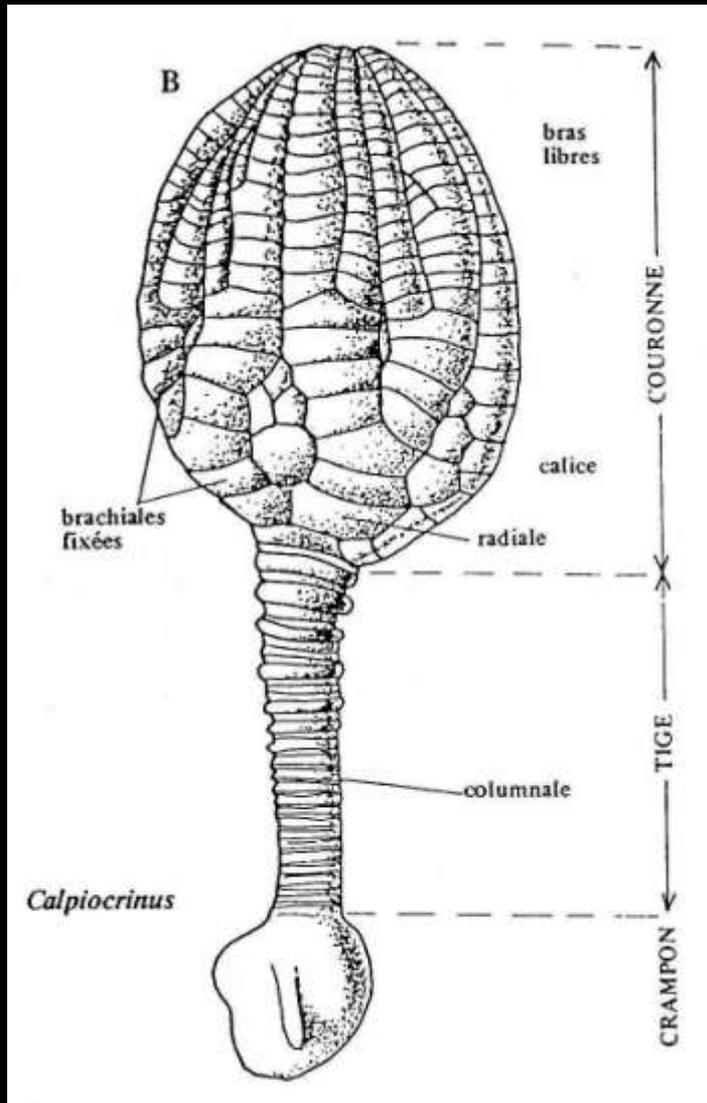


Archaeocidaris



Pentremites

Echinodermes: Crinoïdes

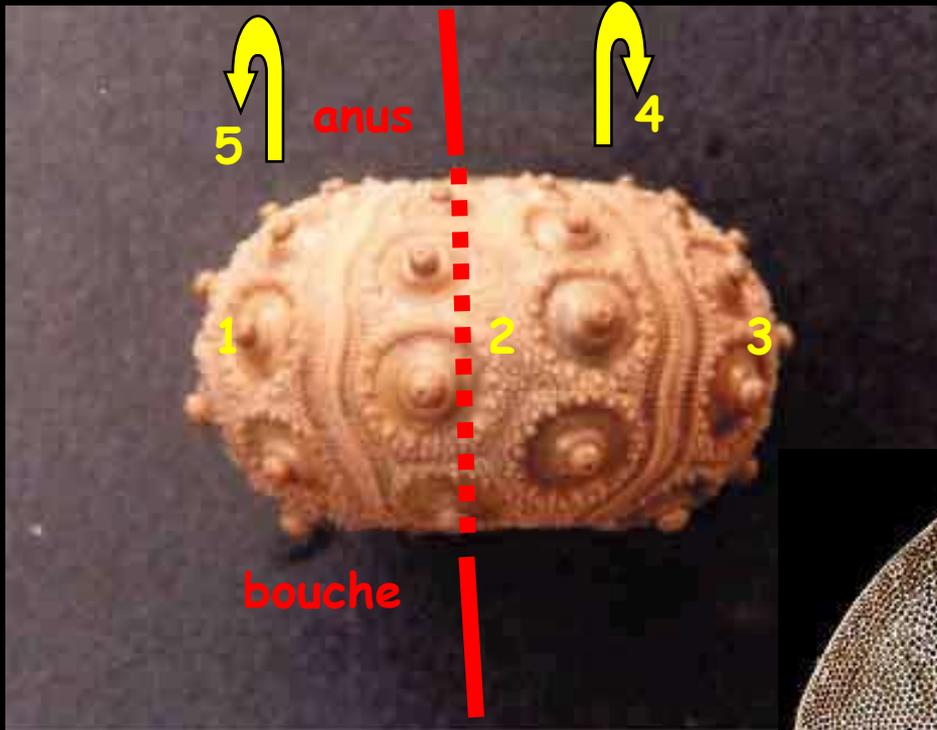


Echinodermes: Crinoïdes



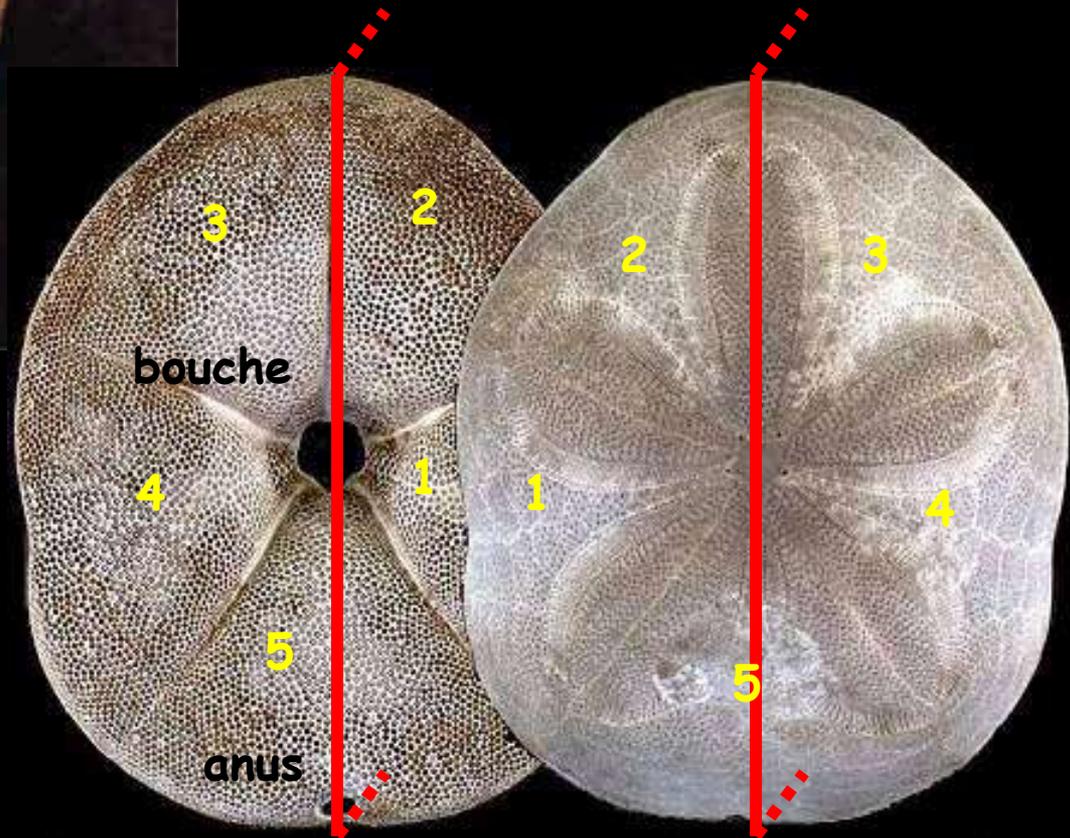
Calcaire à Entroques

Echinodermes: Oursins

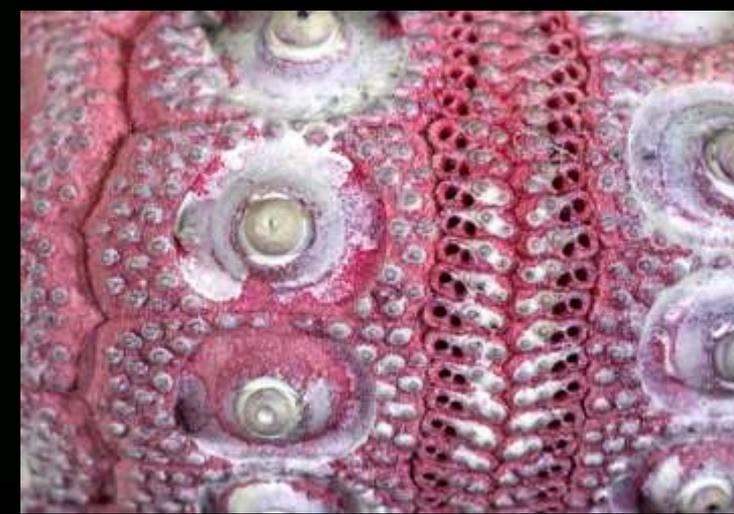
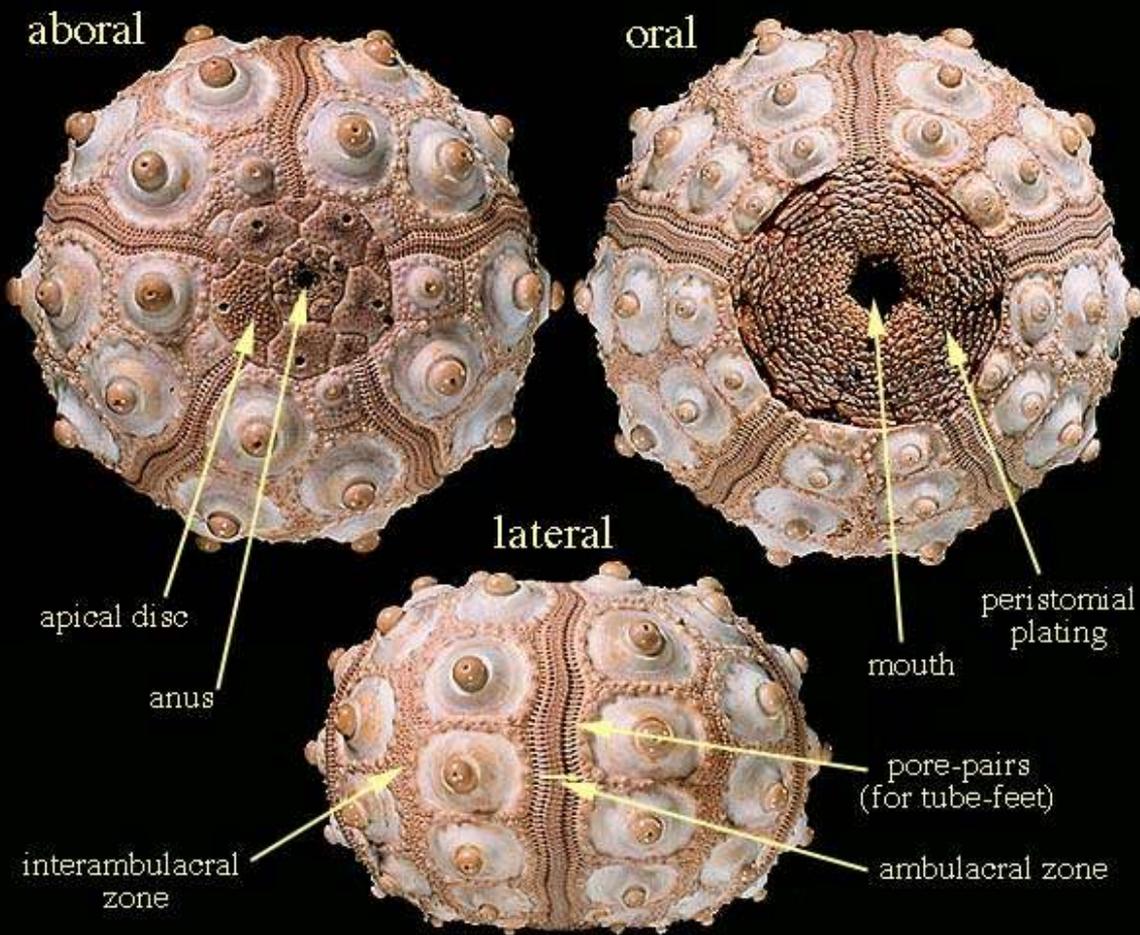


Oursins réguliers
(à symétrie axiale)

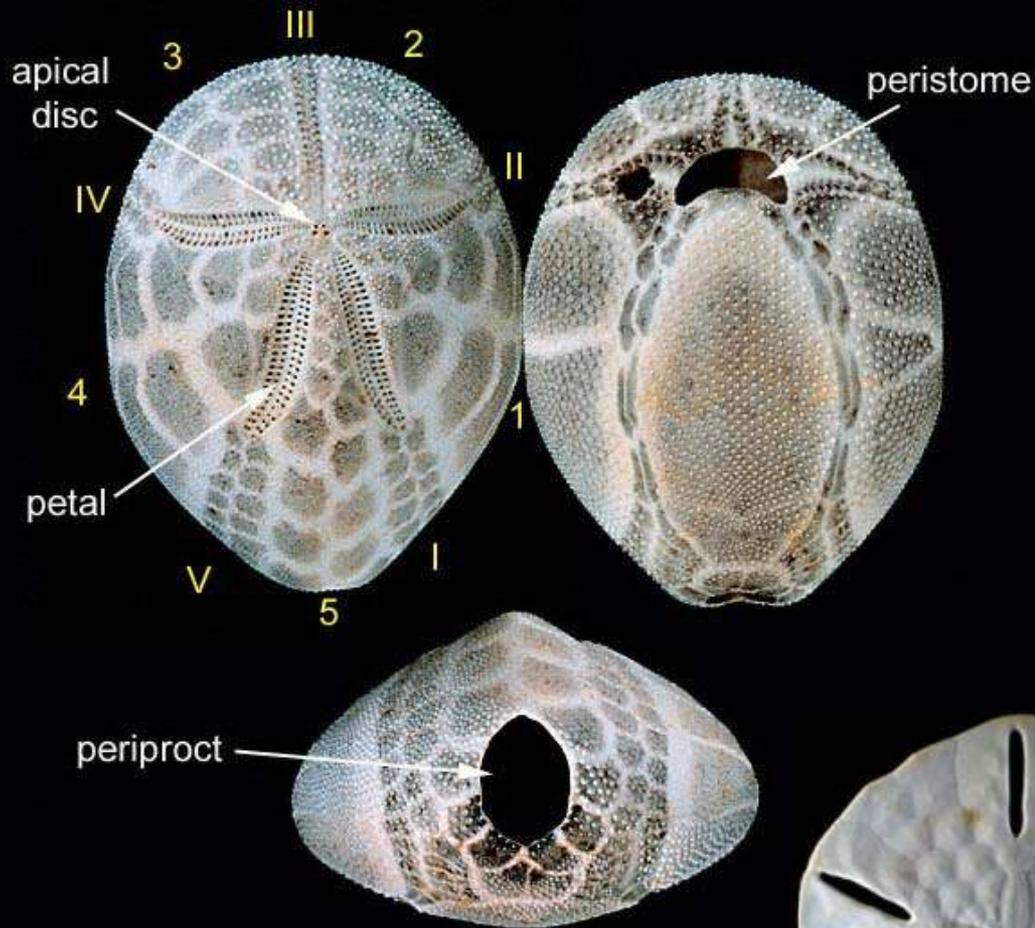
Oursins irréguliers
(à symétrie bilatérale)



Echinodermes: Oursins réguliers

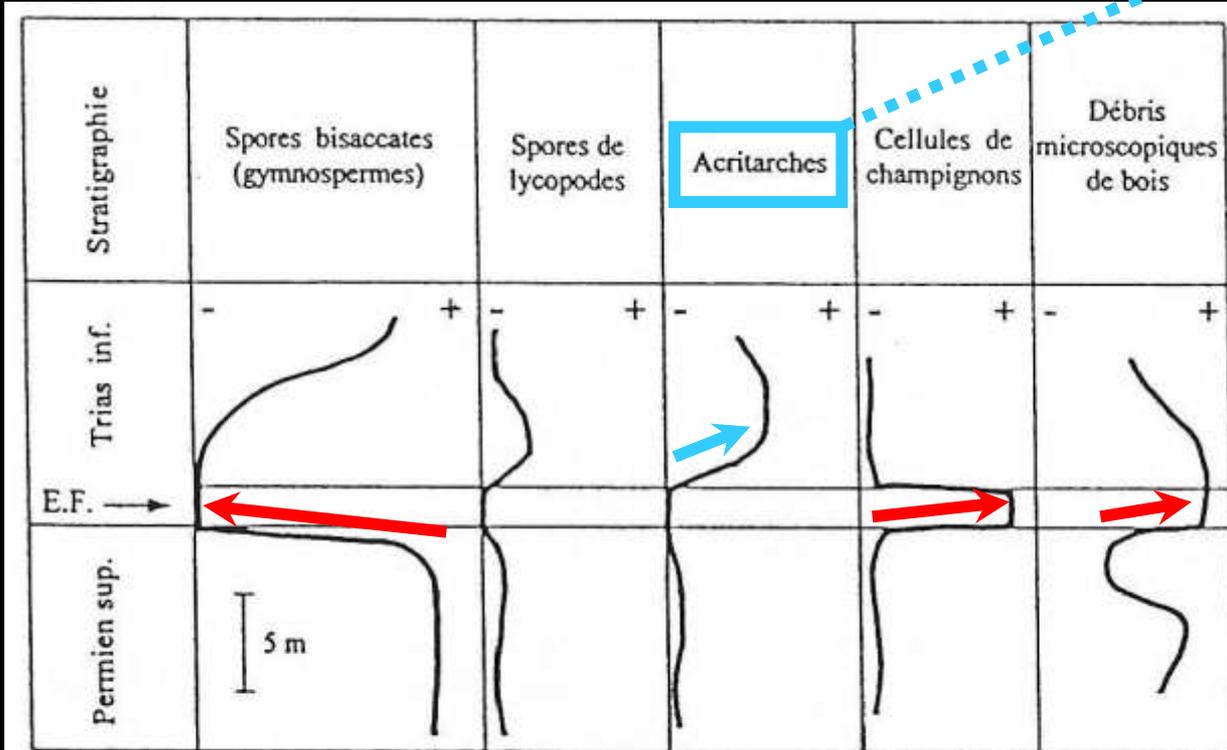


Echinodermes: Oursins irréguliers

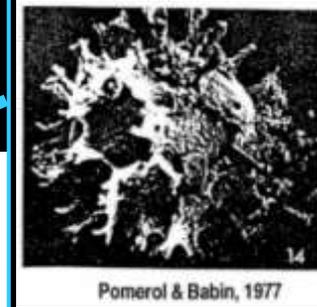


Faits biologiques en milieu continental

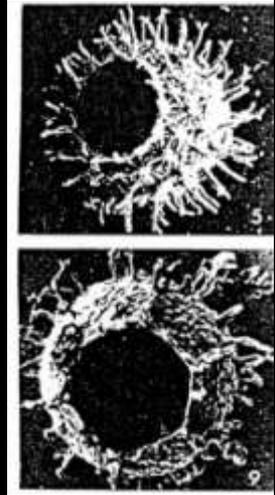
Flore



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



Pomerol & Babin, 1977



Acritarches

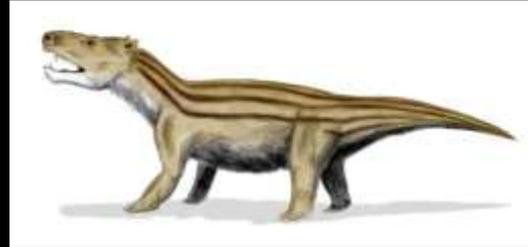
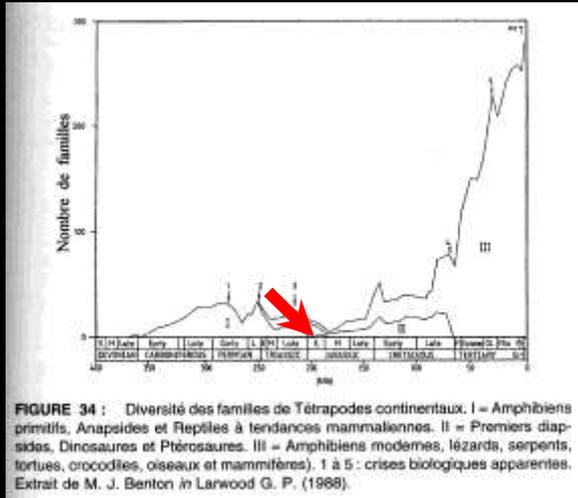
Kystes d'algues unicellulaires du phytoplancton, de 5 à 50 microns

↕ < 50.000 ans

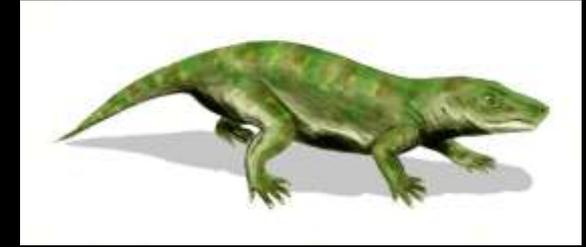
Vertébrés

70 à 77% des familles

Groupes concernés : amphibiens et reptiles Thérapsides (reptiles mammaliens)



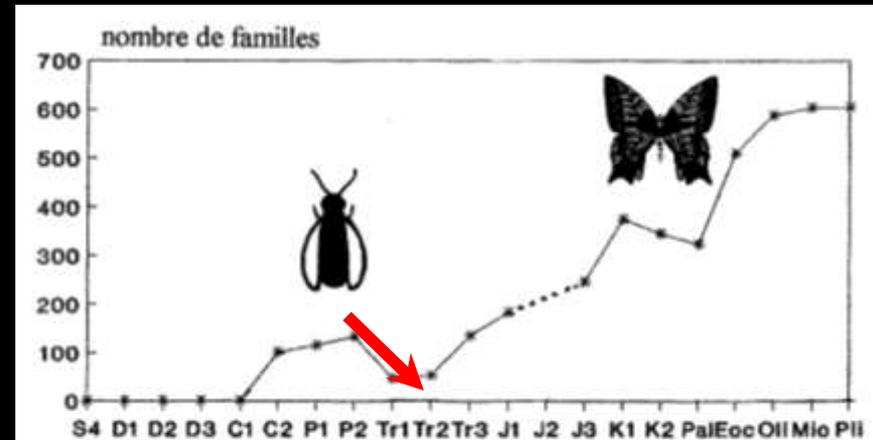
Cynognathus



Bauria

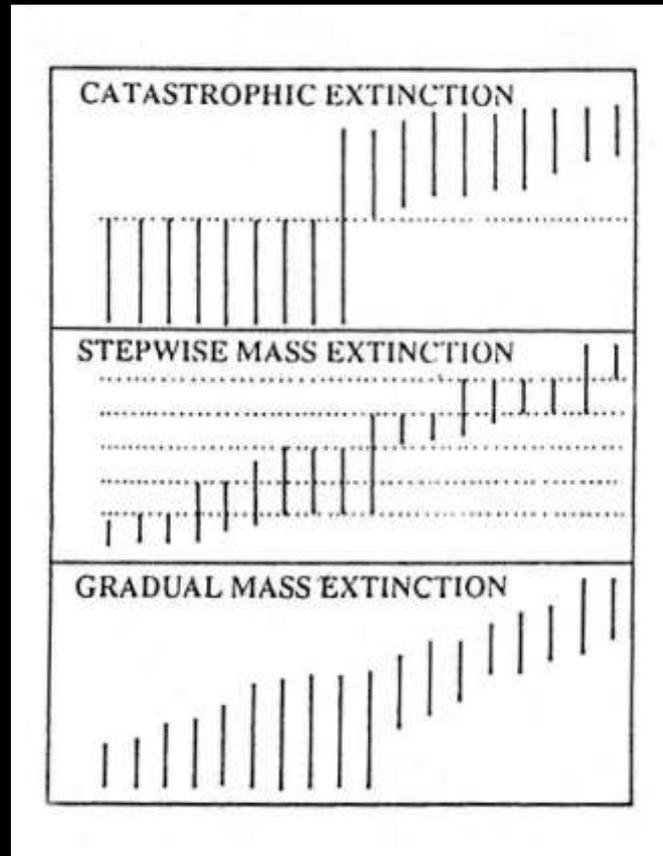
Insectes:

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



par étapes

graduelles



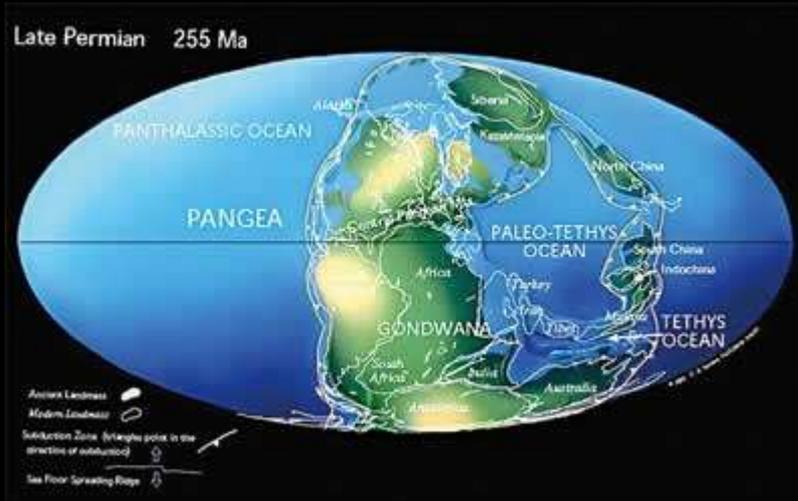
céphalopodes
échinodermes



vertébrés

Faits géologiques

Formation de la Pangée

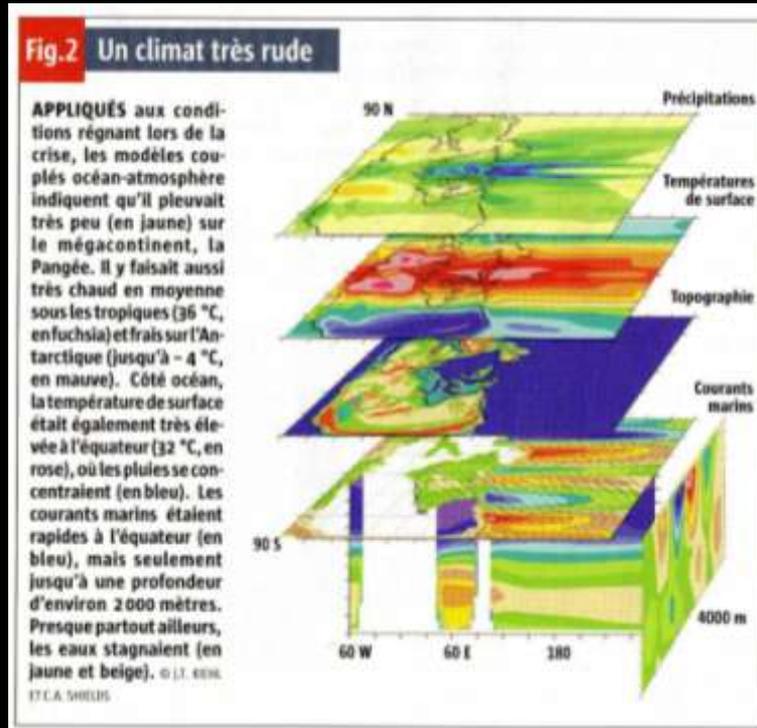
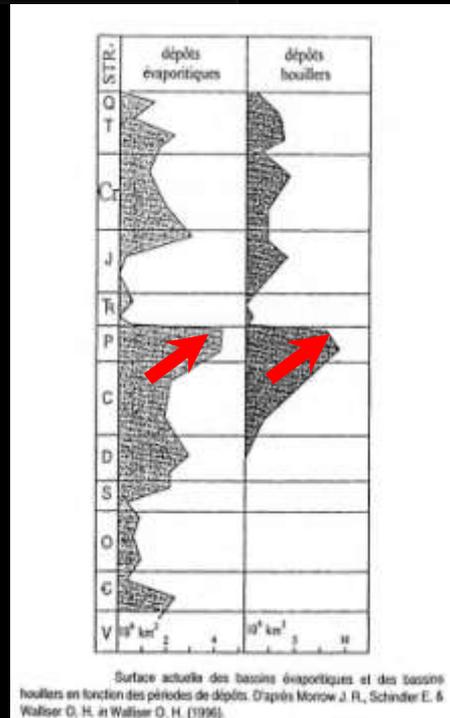


+

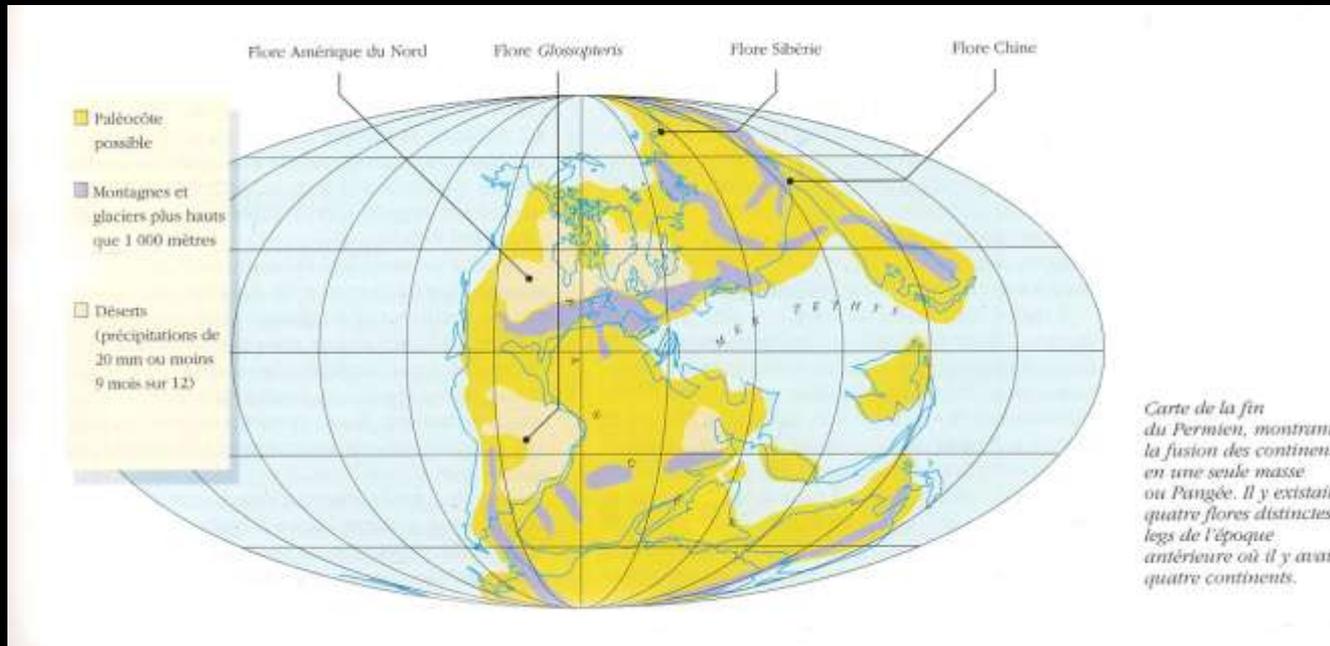
Variations de l'orbite terrestre



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



Impact sur la Flore



chute de la diversité

Evolution progressive

Filicophytes, Ptéridospermales,...

à larges feuilles



Cordaïtes

Gymnospermes, Ptéridophytes,...

à petites feuilles

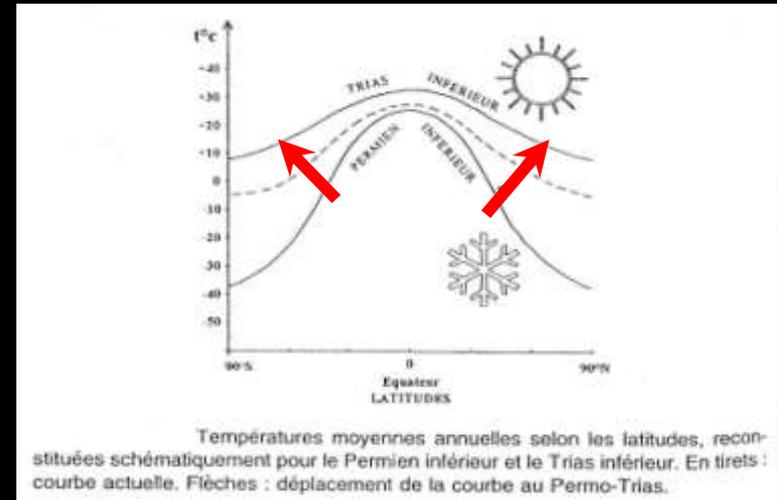
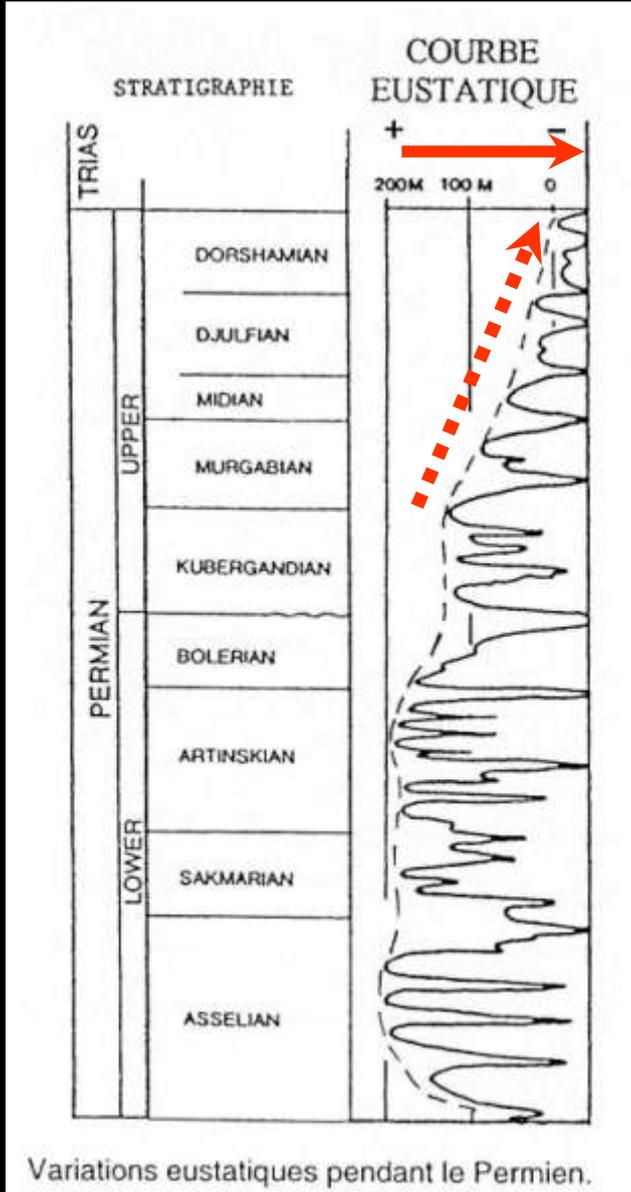


Voltzia (conifère)



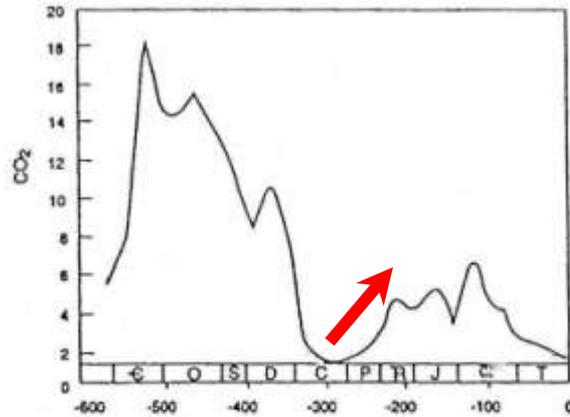
Fait 2: régression marine

Conséquences: Continentalisation et aridité du climat

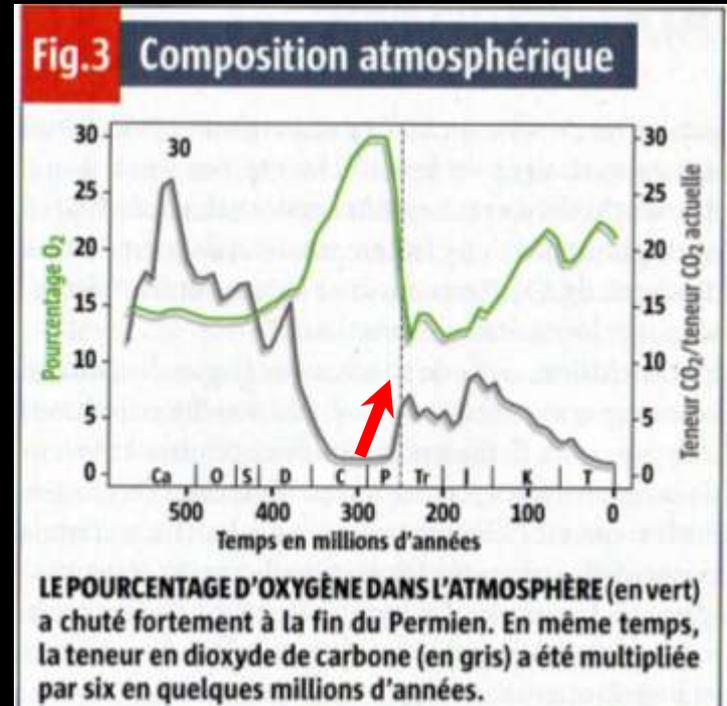


Remarque: les cycles transgression-régression sont liés aux super-cycles tectoniques « regroupements en Pangée - dispersion des continents »

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%).



LE POURCENTAGE D'OXYGÈNE DANS L'ATMOSPHÈRE (en vert) a chuté fortement à la fin du Permien. En même temps, la teneur en dioxyde de carbone (en gris) a été multipliée par six en quelques millions d'années.

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 km³
- durée +/- 1 Ma en 11 phases éruptives



- > rejet de SO₂ > pluies acides
- > poussières > obscurcissement

- > rejet de CO₂ > effet de serre



Localisation supposée des trapps de Sibérie

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 fonte des hydrates > nouvelle hausse T > ...



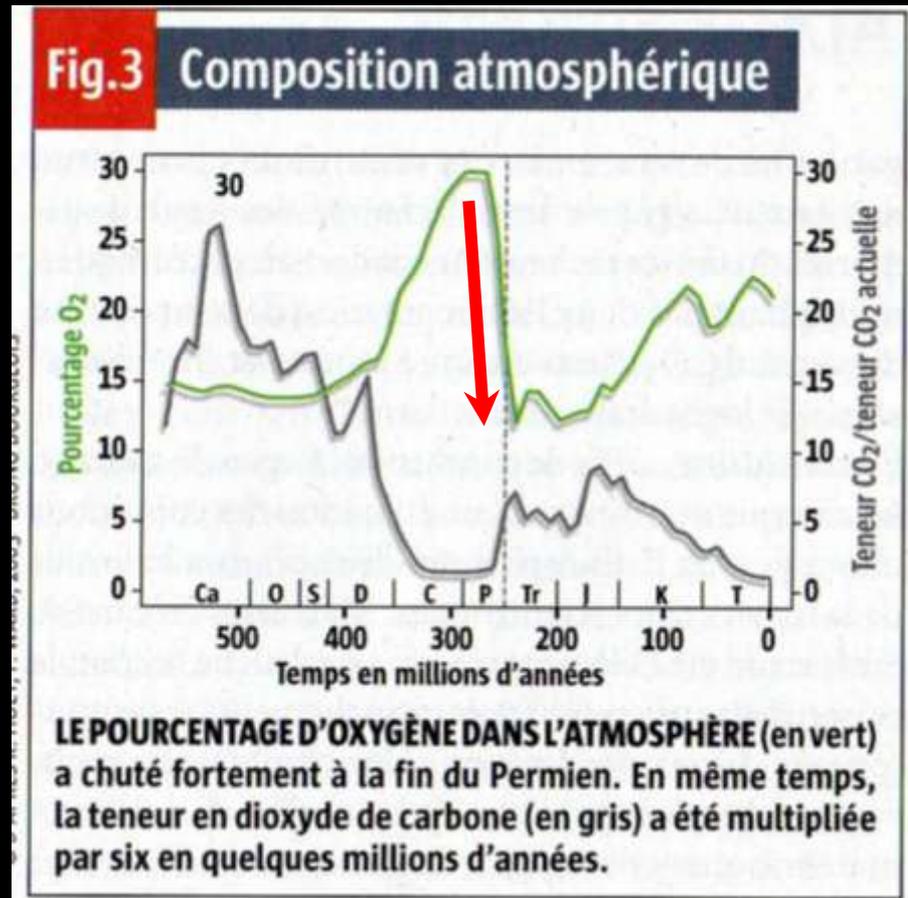
DES BULLES DE MÉTHANE sont ici piégées dans un étang gelé. Dans des hydrates, le piégeage se fait à l'échelle microscopique, dans le réseau cristallin de l'eau. C'est quand la glace se désagrège que les petites bulles de méthane grossissent et remontent vers la surface.

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

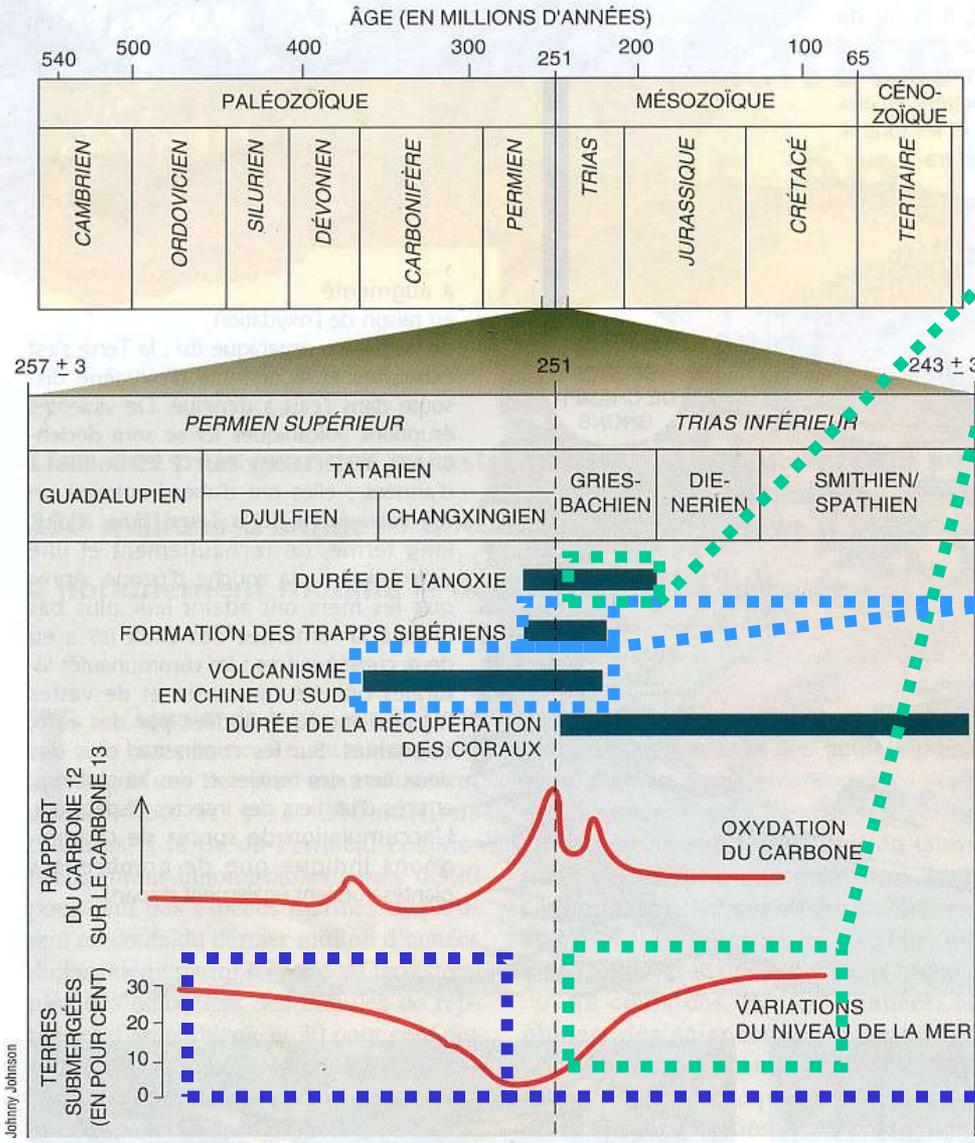
Montée d'eaux mal oxygénées

> 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:

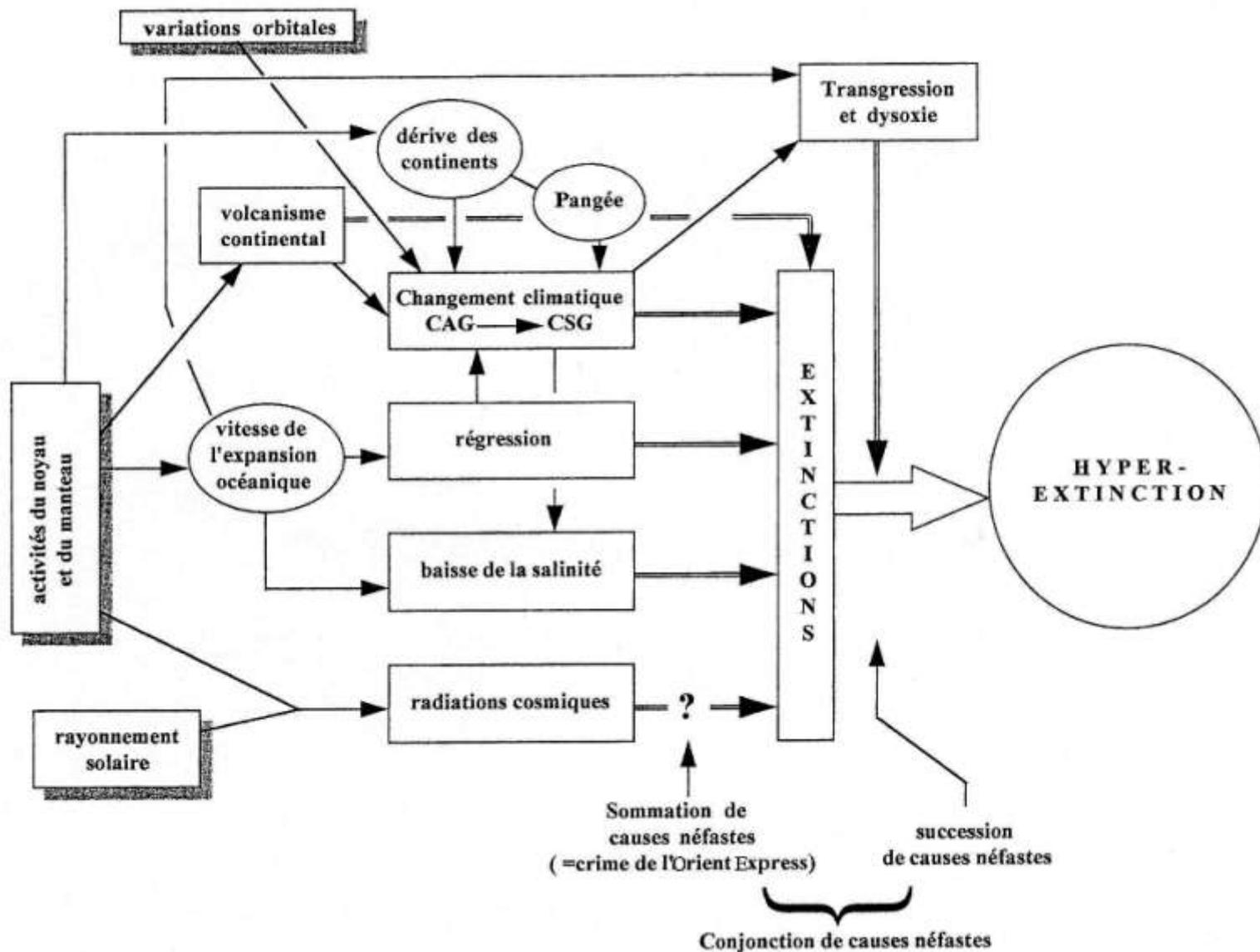
Volcanisme > effet de serre, dégagement de méthane et pluies acides

Permien supérieur:

Régression, réchauffement climatique, aridité, baisse de la salinité

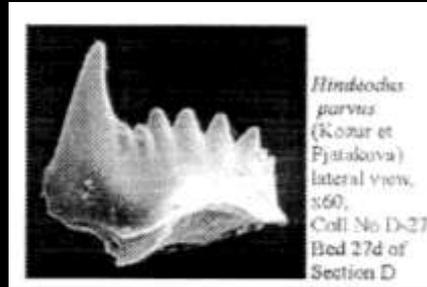
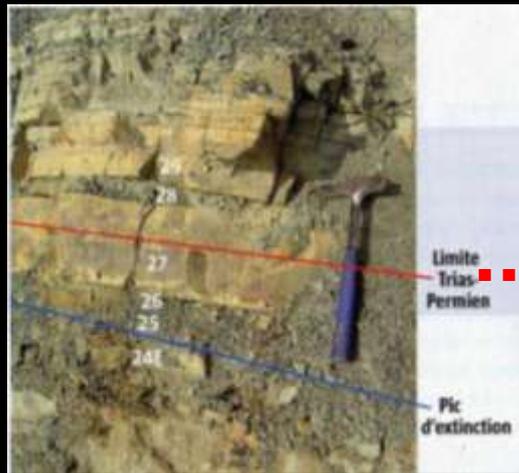
> conditions défavorables à la vie

Schéma synoptique de la crise biologique du Permo-Trias



Synoptique: qui offre une vue générale, qui permet de voir tout un ensemble d'un seul coup d'œil

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



conodonte

	Hindeodus parvus Zone
Hindeodus typicalis fauna	
Clarkina meishanensis fauna	Hindeodus typicalis - Clarkina meishanensis Zone

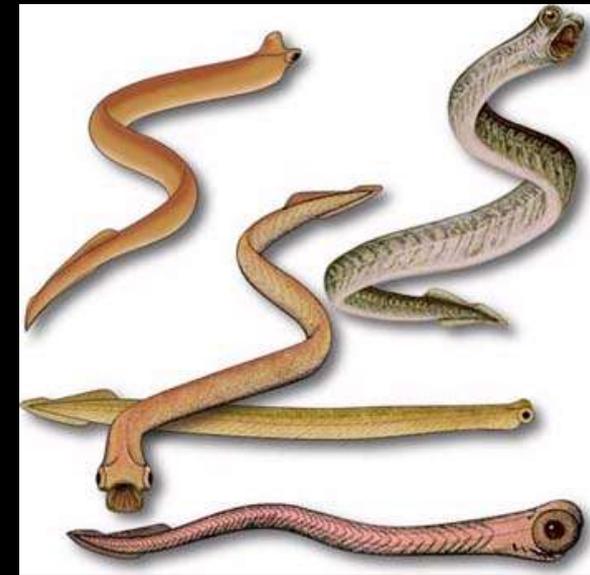
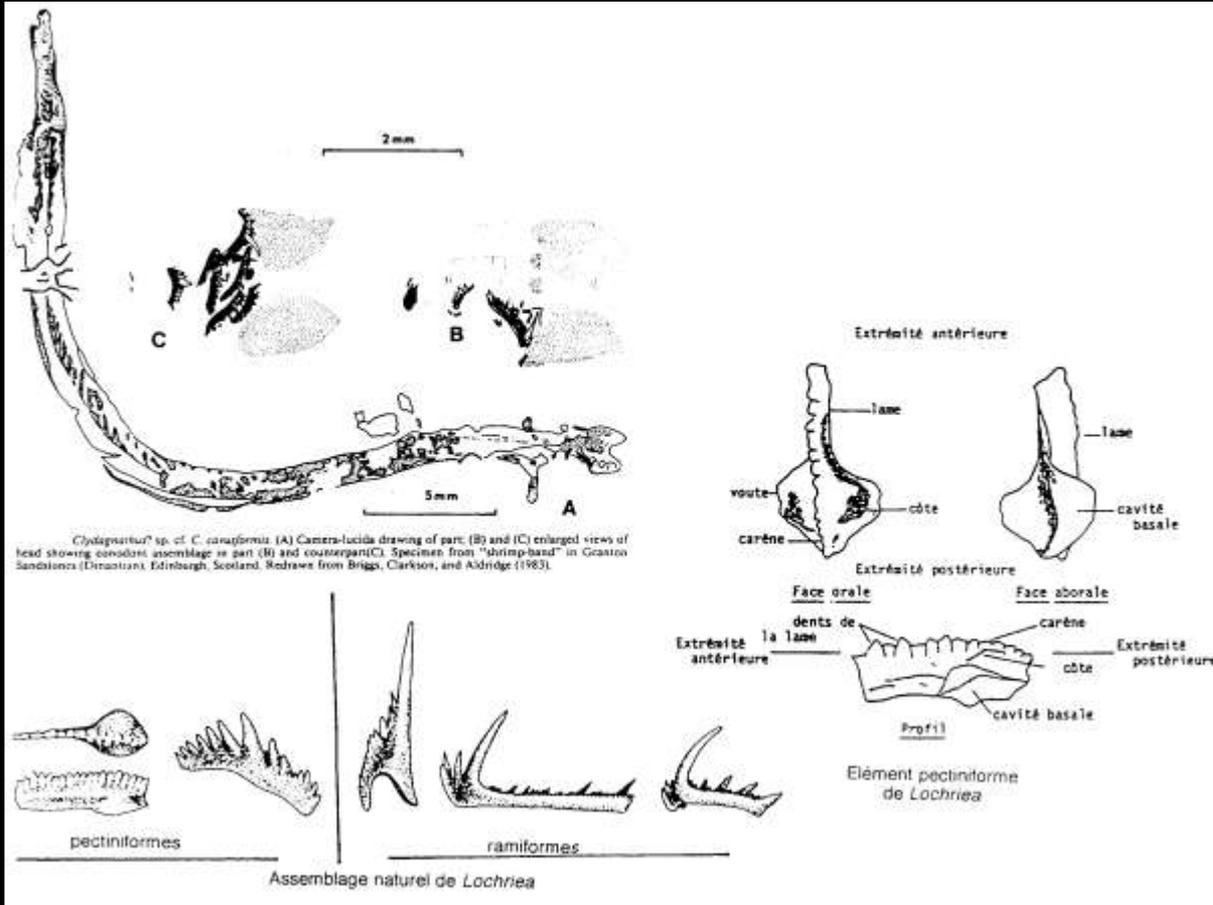
Yin et al. (2001)



Géoparc

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

Conodontes

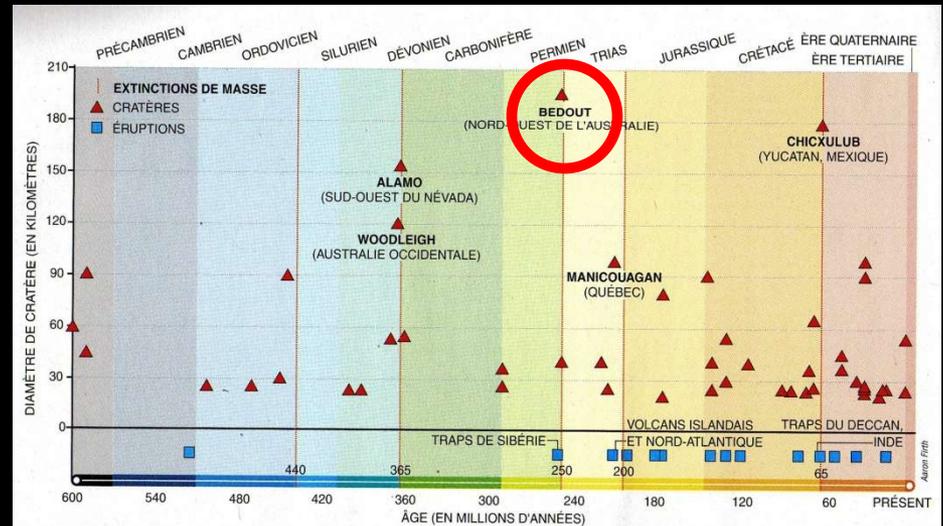
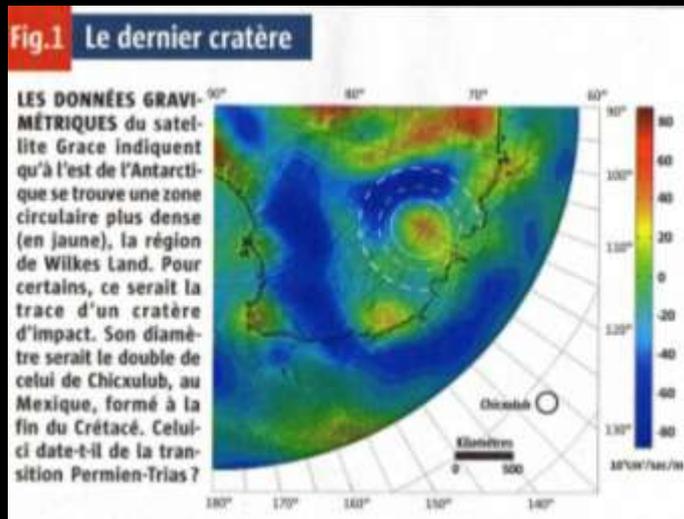


Un impact météorique, autre coupable ?

Indice 1 : ? fullerènes

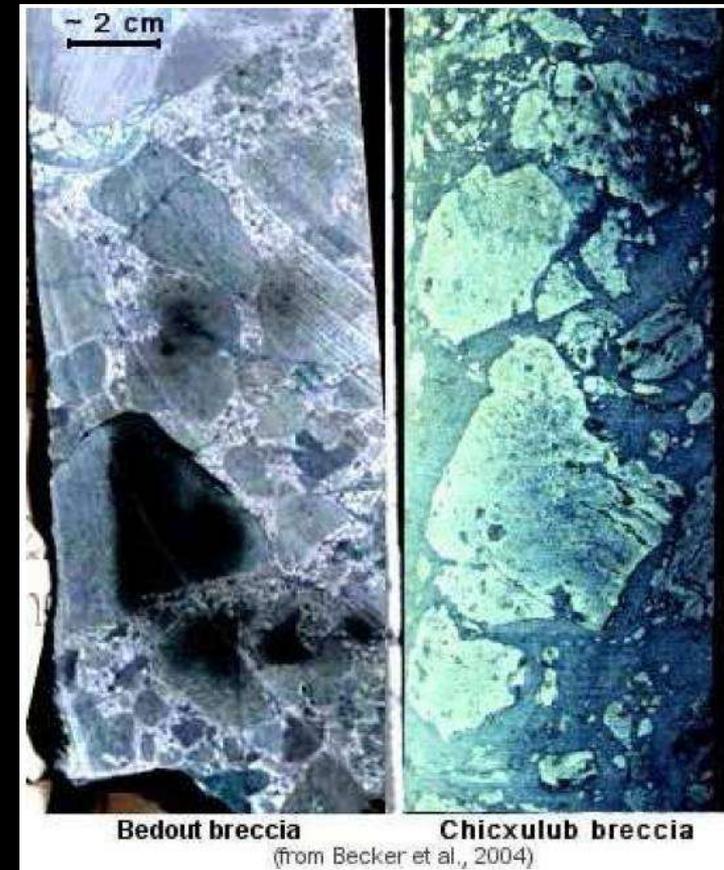
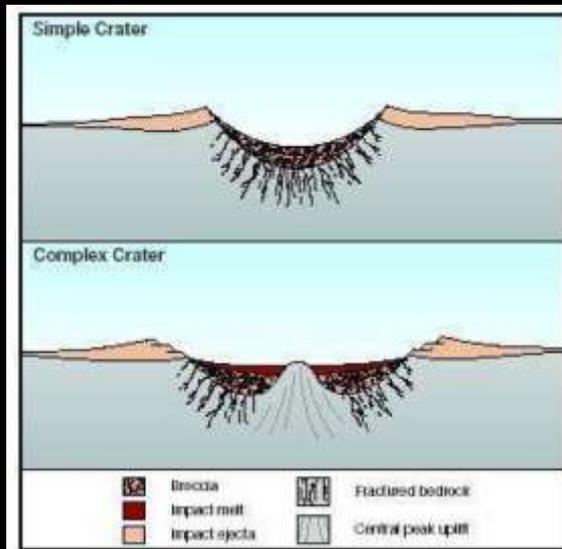
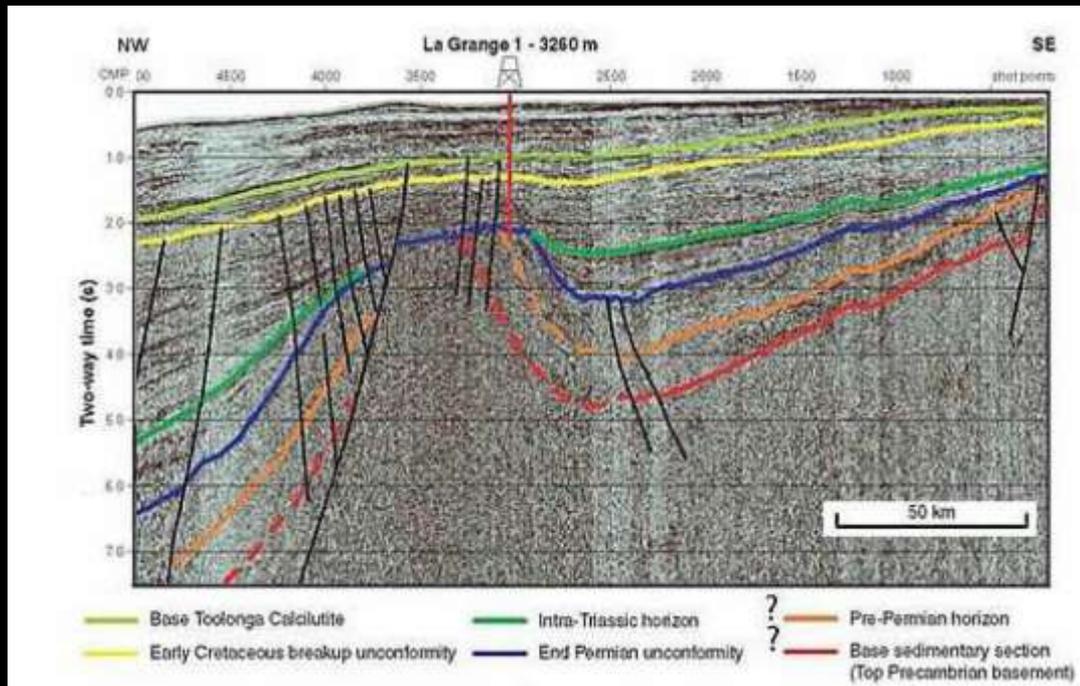


Indice 2 : cratère d'impact de 480 km de D



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

Un impact météorique, autre coupable ?



Impact météorique, oui ou non ?

OUI pour

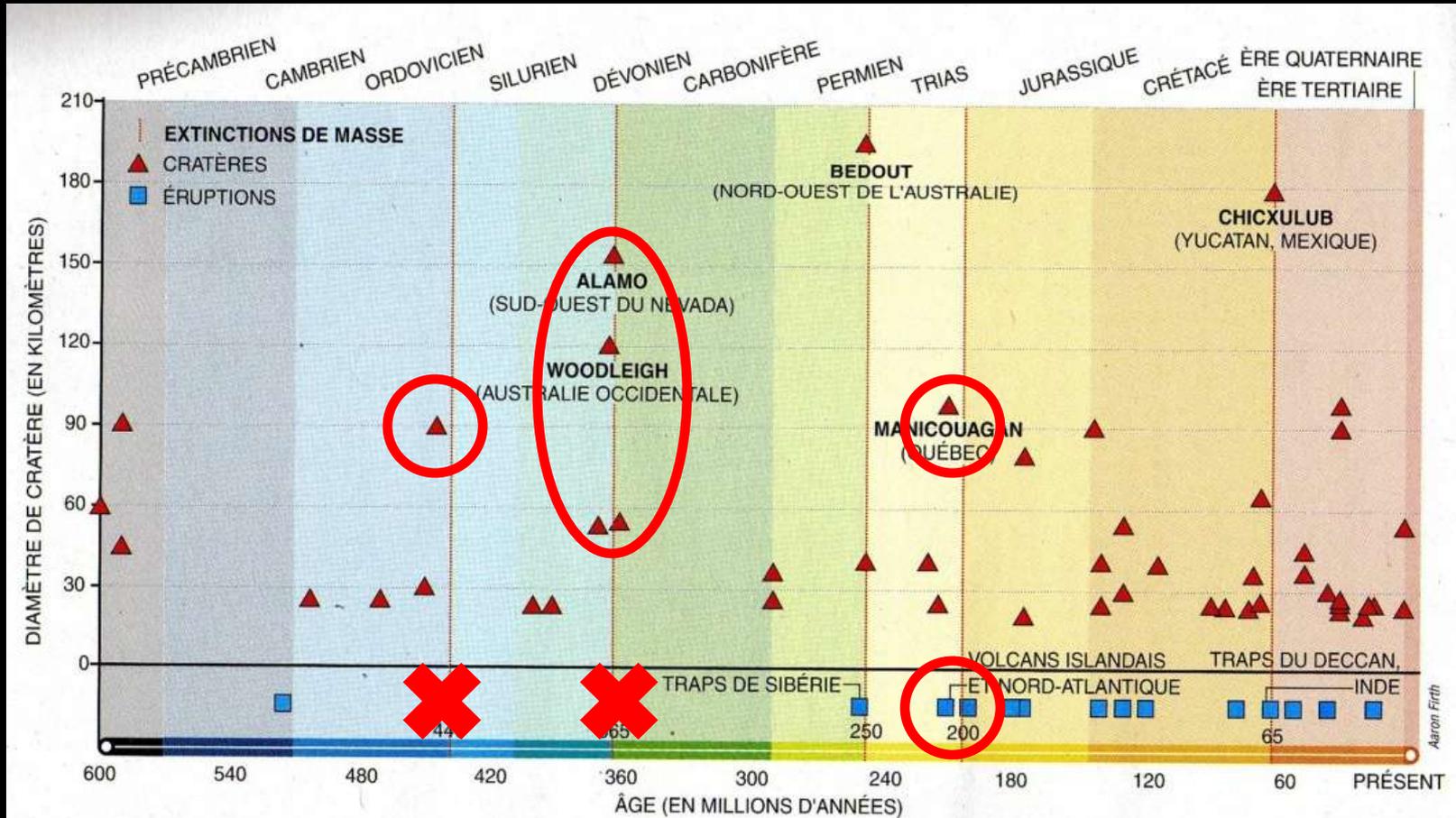
Becker (Science 2004) : Le lieu, la taille et l'âge du cratère de Bedout peuvent expliquer les enregistrements de débris d'impact, dans les sédiments de la limite Permien-Trias, découvertes dans le monde entier.

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.

Et les autres crises, magmatisme ou impact ?



Témoignages d'un magmatisme

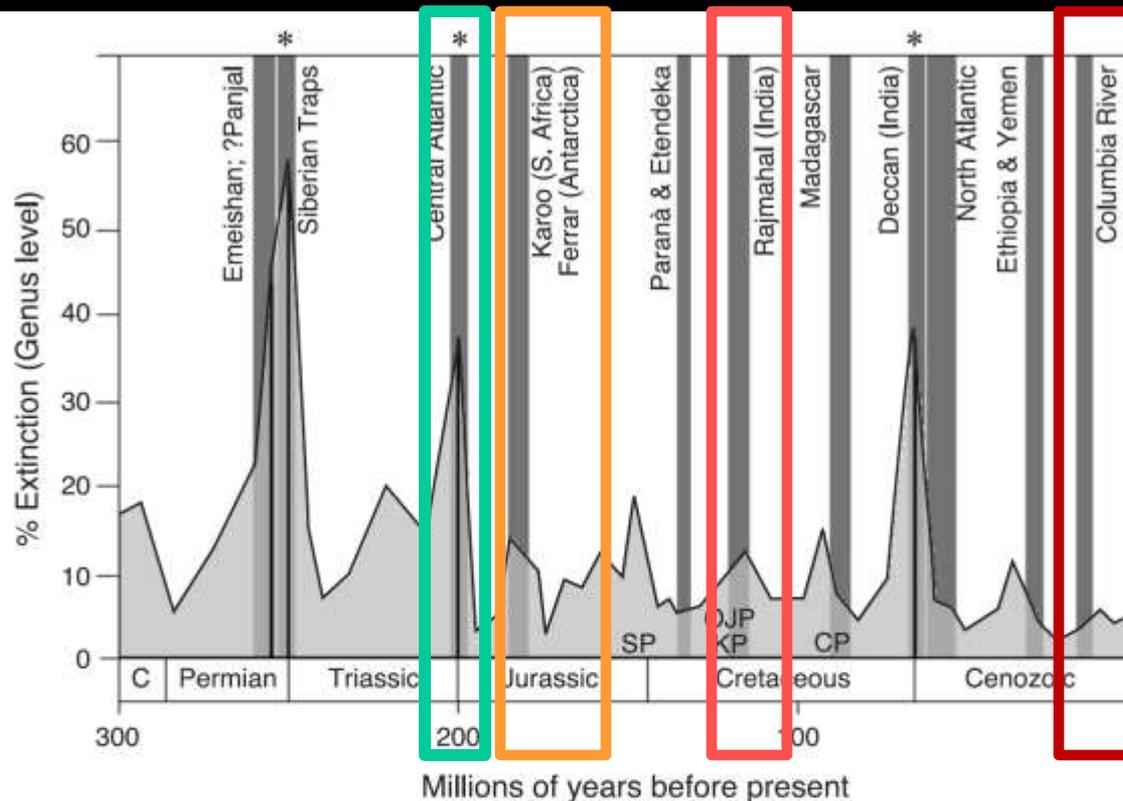
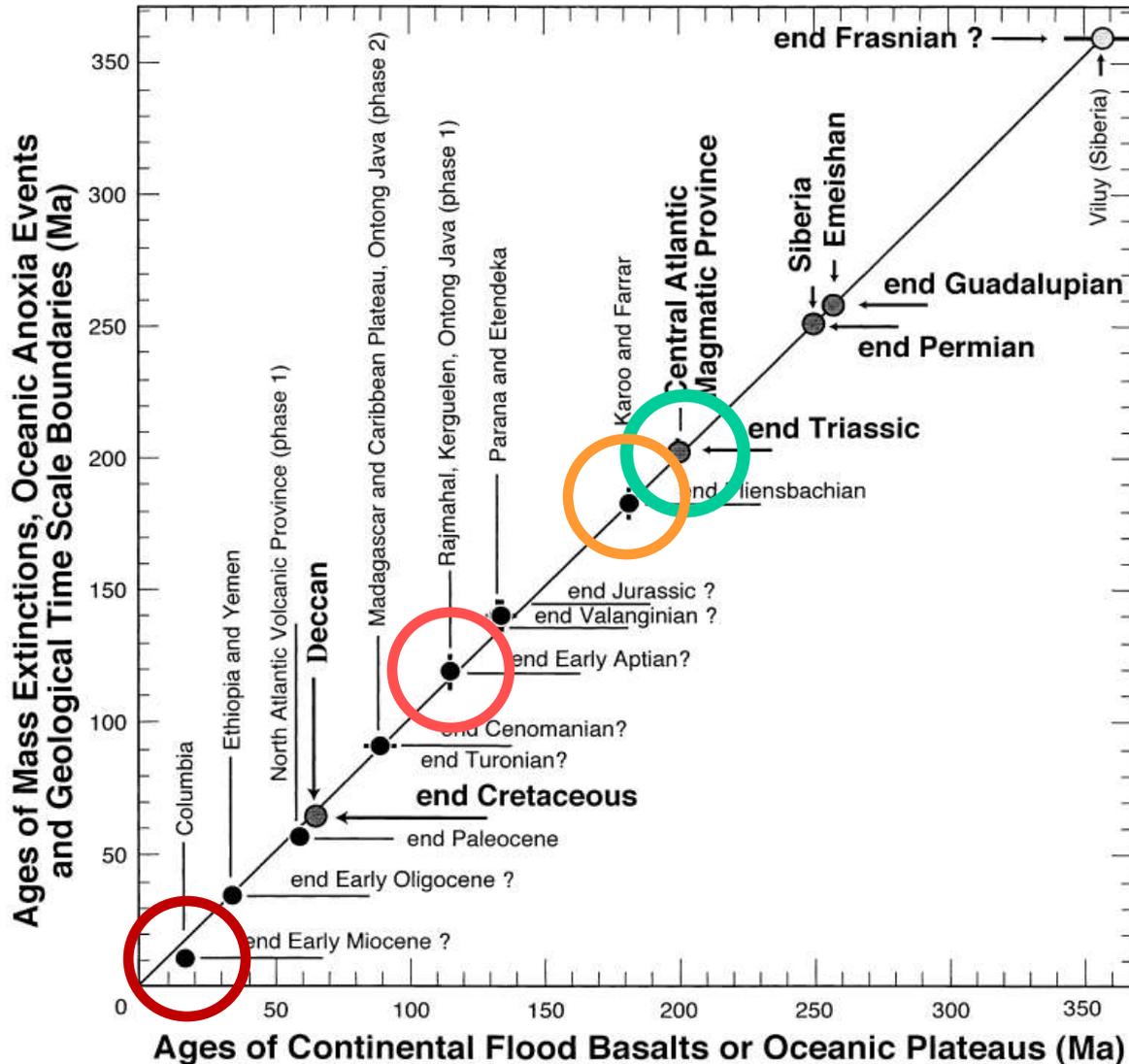


Fig. 1. Extinction rate versus time (multiple-interval marine genera: modified from Sepkoski, (1996) to reflect radiometric age constraints on stratigraphic boundaries) compared with eruption ages of continental flood basalt provinces. Three of the most severe extinctions, the P-Tr, the Tr-J and the K-T, correspond with eruption of the Siberian Traps, Central Atlantic Magmatic Province and Deccan Traps, respectively. Evidence of impact (*) has also been reported at these times (Alvarez et al., 1980; Becker et al., 2001; Olsen et al., 2002a; Basu et al., 2003). The K-T crater is ~180 km in diameter; for the P-Tr and Tr-J boundaries, the size (and indeed existence) of any impact is not confirmed. The end-Guadalupian extinction (~259 Ma) coincides with eruption of the Emeishan Traps (Zhou et al., 2002), but no evidence for impact has been noted for this boundary. Oceanic plateaus may also have had profound environmental consequences (e.g., Kerr, 1998). Selected oceanic plateaus are therefore included on this figure, but as text only, because the preservational bias of the geological record towards younger examples would otherwise render the diagram misleading. SP: Sorachi Plateau, Japan; KP: Kerguelen Plateau; OJP: Ontong Java Plateau; CP: Caribbean-Colombian Plateau.

Témoignages d'un magmatisme



Témoignages d'un magmatisme

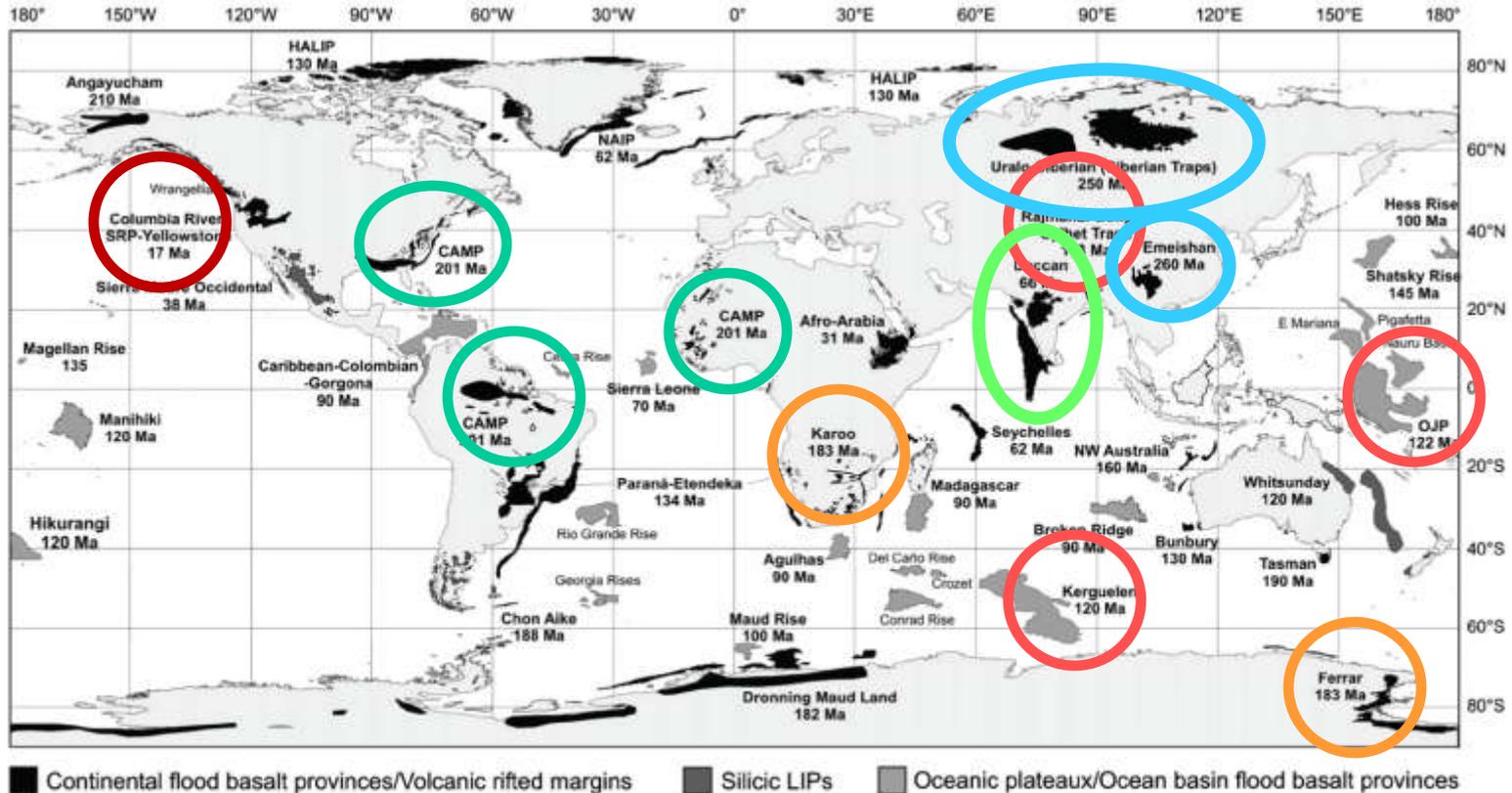
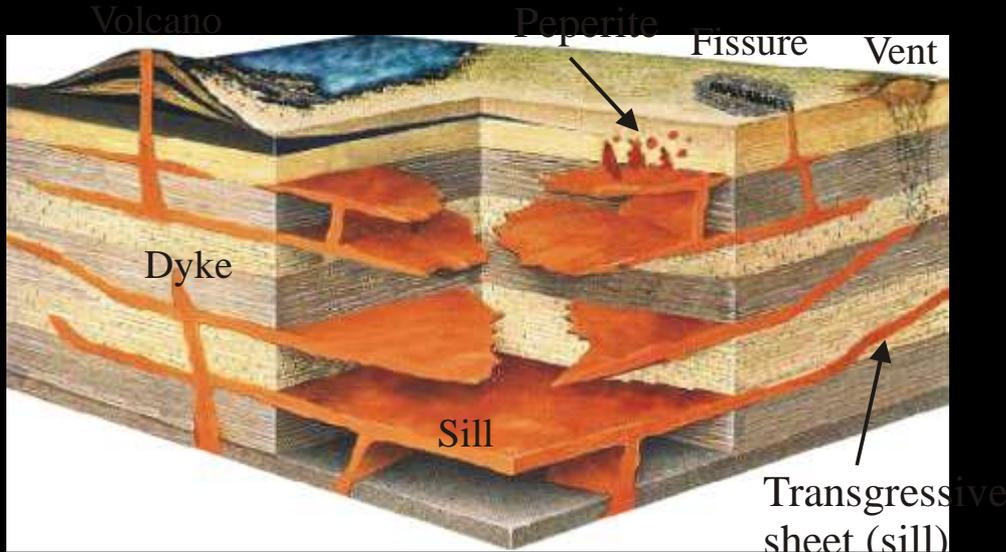


Figure 1 Distribution mondiale des Grandes Provinces Magmatiques mises en place depuis 275 ma. D'après Bryan et Ernst (2008).

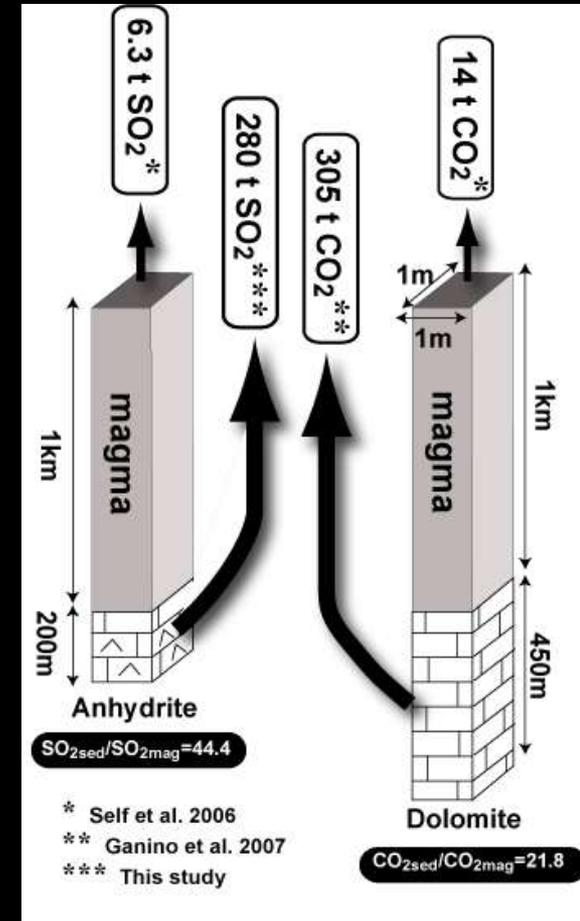
Une nouvelle hypothèse: le métamorphisme de contact

(Ganino & Arndt 2009, *Geology*)



Intrusions de basaltes dans les séries sédimentaires

Métamorphisme de contact: transformation, par augmentation de la température, des roches traversées par les basaltes



Dégagement de SO_2 et CO_2

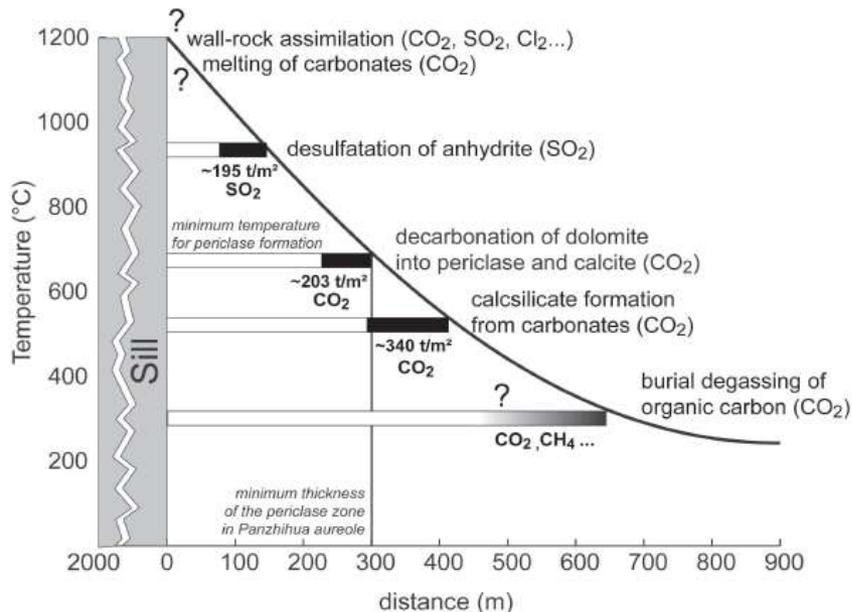


Fig 2. Theoretical thermal profile in Panzhihua-like contact aureole. The maximum distances in the aureole where the metamorphic reactions happen are plotted with bars in which the black fraction represents the amount of gas formed.

Dégagement de SO₂ et CO₂

Rôle des roche sédimentaires

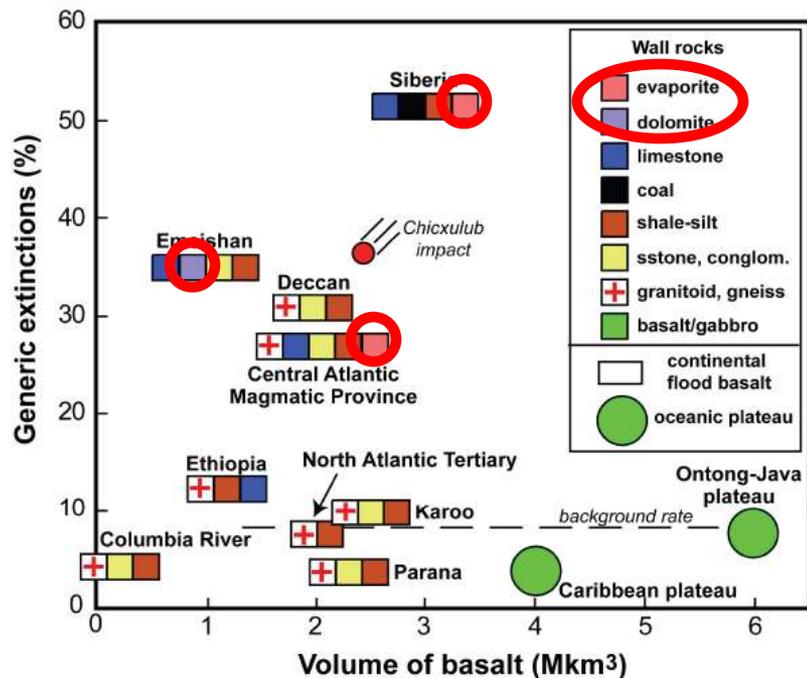


Fig 1. Volume of erupted basalt from Courtillot and Renne (2003) vs Percentage of generic extinctions (from Rhodes and Muller 2005) for major LIPs.

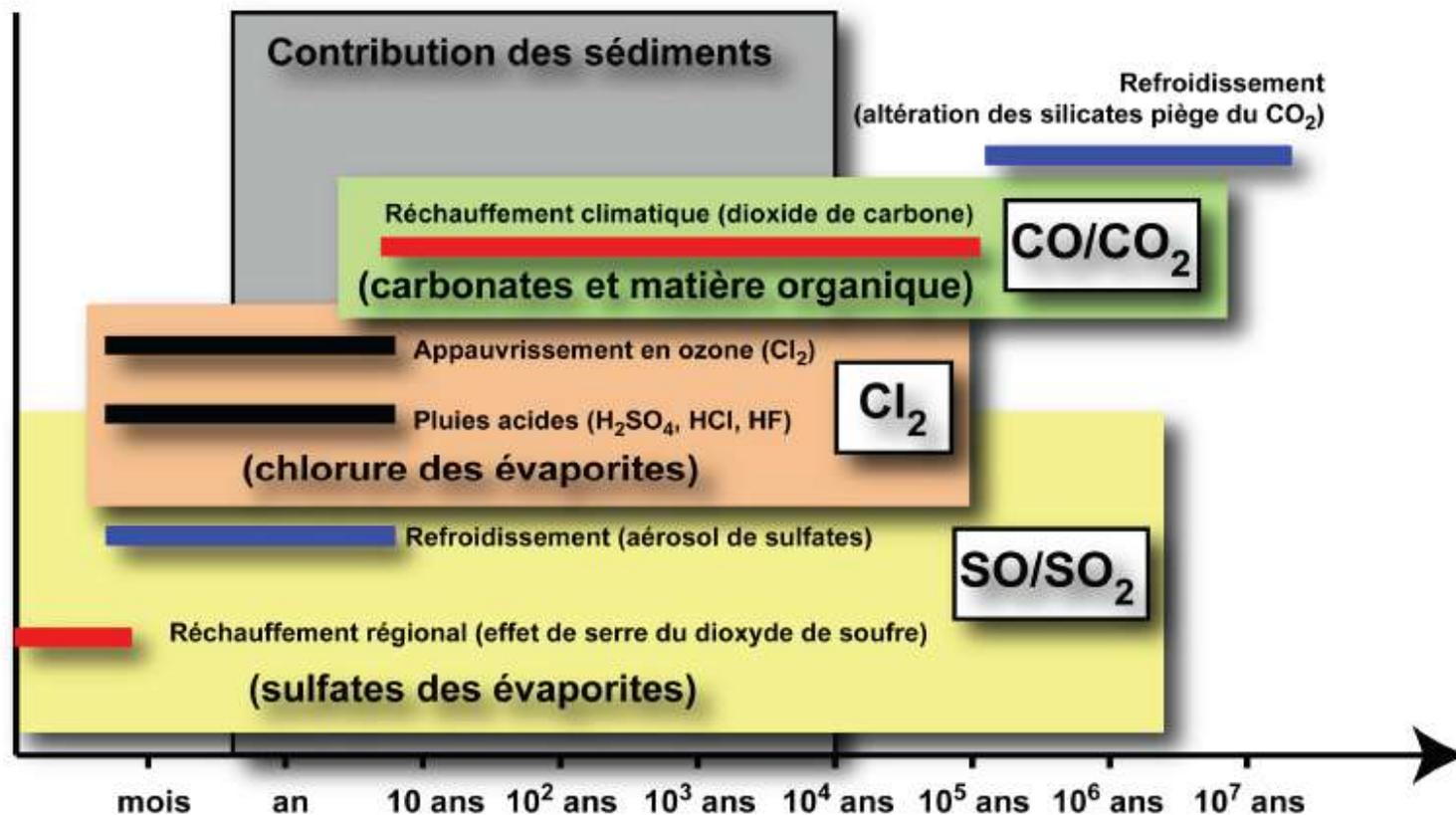


Figure 24 Conséquences sur l'environnement de l'émission de grands volumes de gaz lors de la mise en place de grands volumes de magma dans des sédiments. Les principaux gaz d'origine magmatique impliqués sont SO/SO₂, Cl₂ et CO/CO₂. Le métamorphisme de contact de roches sédimentaires peut considérablement amplifier chacune de ces émissions.

AUTRES CRISES

FIN du TRIAS (-200 Ma) →

FIN du DEVONIEN (-365 Ma) →

FIN de l'ORDOVICIEN (-443 Ma) →

Era	Period	Epoch	Age (Ma)	
CENOZOIC	Quaternary	Holocene	0.0118	
		Pleistocene	U/L	0.126
			Middle	0.781
			L/E	1.806
	Tertiary	Neogene	Pliocene	5.33 ± 0.05
		Miocene	22.9 ± 0.1	
	Paleogene	Oligocene	33.9 ± 0.1	
		Eocene	54.8 ± 0.5	
		Paleocene	65.0 ± 0.05	
		Cretaceous	Upper/Late	99.0 ± 1.0
Lower/Early	144.8 ± 3.7			
Jurassic	Upper/Late	156.6 ± 2.7		
	Middle	178.0 ± 1.5		
	Lower/Early	200 ± 1.0		
Triassic	Upper/Late	231 ± 5		
	Middle	244 ± 1		
	Lower/Early	253 ± 2		
Permian	Upper/Late	258 ± 5		
	Middle	229 ± 5		
	Lower/Early	300 ± 3		
	Carboniferous	Upper/Late	306.5 ± 1.0	
Middle		311.7 ± 1.1		
Lower/Early		318.0 ± 1.3		
Mississippian		Upper/Late	326.4 ± 1.6	
	Middle	345.3 ± 2.1		
Devonian	Lower/Early	360 ± 2		
	Upper/Late	383 ± 4		
	Middle	394 ± 2		
Silurian	Lower/Early	418 ± 2		
	Upper/Late	424 ± 1		
Ordovician	Lower/Early	443 ± 4		
	Upper/Late	460.9 ± 1.6		
	Middle	471.8 ± 1.6		
Cambrian	Lower/Early	489 ± 1		
	Upper/Late	499 ± 5		
	Middle	509 ± 1		
PRECAMBRIAN	Proterozoic	Neoproterozoic	544 ± 1	
		Mesoproterozoic	1,000 ± 50	
		Paleoproterozoic	1,600	
	Archean	Neoaarchean	2,500	
		Mesoaarchean	2,800	
		Paleoaarchean	3,200	
		Eoaarchean	3,600	

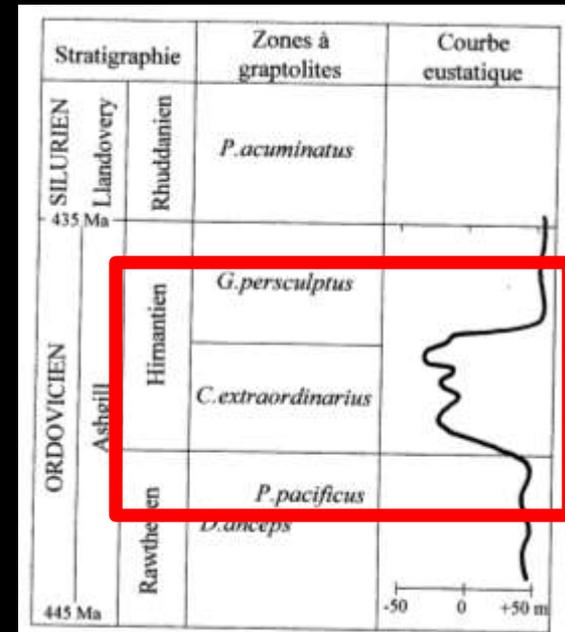
Synthèse des faits

	FIN DE L'ORDOVICIEN	DEVONIEN SUPERIEUR	TRIAS SUPERIEUR
Causes majeures avancées	<ul style="list-style-type: none"> •Glaciation > refroidissement et régression (1) •Dérive continentale •Transgression et anoxie (2) 	<ul style="list-style-type: none"> •Réchauffement •Transgression et dysoxie (1) •Météorites •Refroidissement et régression (2) 	<ul style="list-style-type: none"> •Météorite •Volcanisme •Réchauffement •Régression (1) •Transgression (2)
Milieus et Groupes concernés	<p><i>Milieu récifal tropical</i></p> <ul style="list-style-type: none"> •Coraux solitaires •Bryozoaires •Brachiopodes •Graptolites •Échinodermes •Trilobites 	<p><i>Milieu récifal tropical</i></p> <ul style="list-style-type: none"> •Coraux coloniaux •Stromatopiridés •Brachiopodes •Ostracodes •Trilobites •Poissons agnathes 	<p><i>Milieu récifal tropical</i></p> <ul style="list-style-type: none"> •Ammonoïdes •Nautiloïdes •Conodontes •Poissons placodontes •Amphibiens •Reptiles marins
Pourcentages de taxons disparus	<p>Familles: 20-26%</p> <p>Genres: 50-60%</p> <p>Espèces marines: 85%</p>	<p>Familles: 21-22%</p> <p>Genres: 47-57%</p> <p>Espèces marines: 70-80%</p>	<p>Familles: 22-23%</p> <p>Genres: 40-53%</p> <p>Espèces marines: 75%</p>

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

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



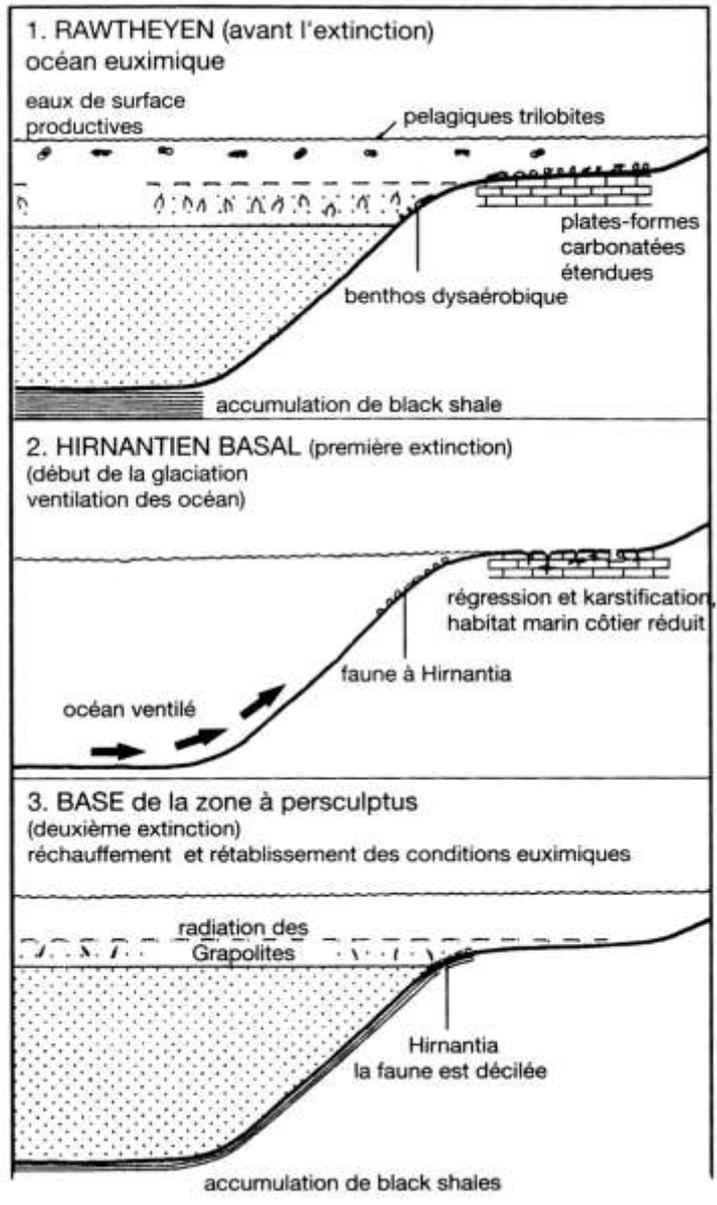
Faits biologiques

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

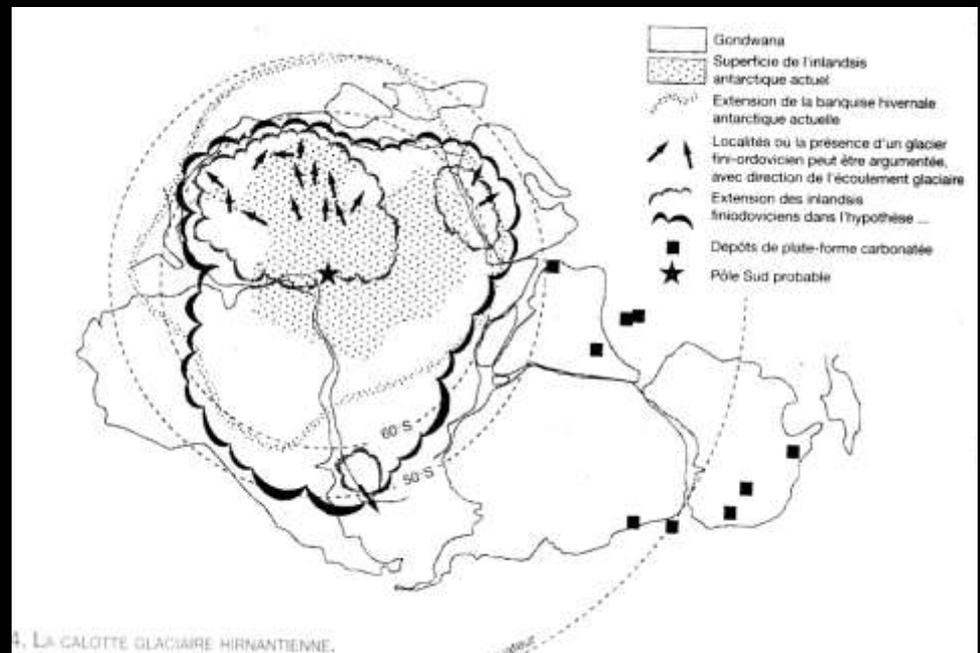
Caractères:

- 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

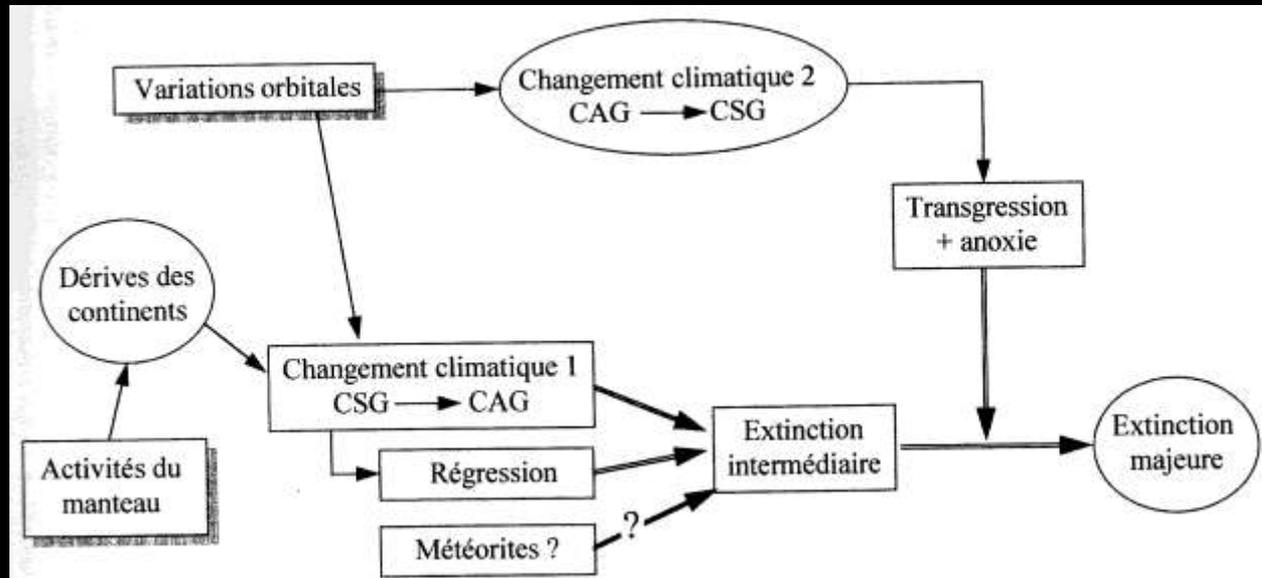
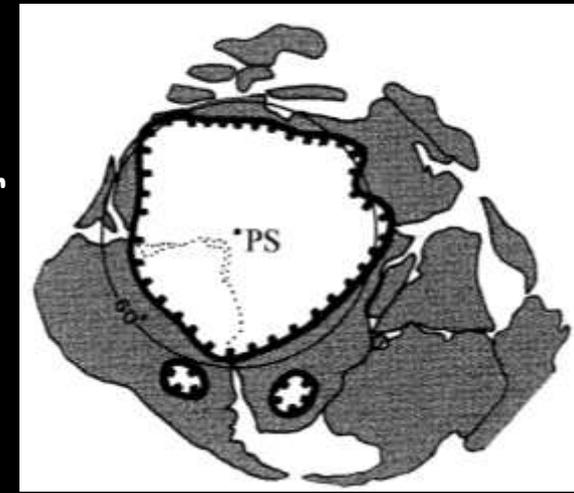
1a) Changement climatique rapide à l'Ordovicien supérieur
> glaciation à très forte extension géographique
> régression (100m)

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

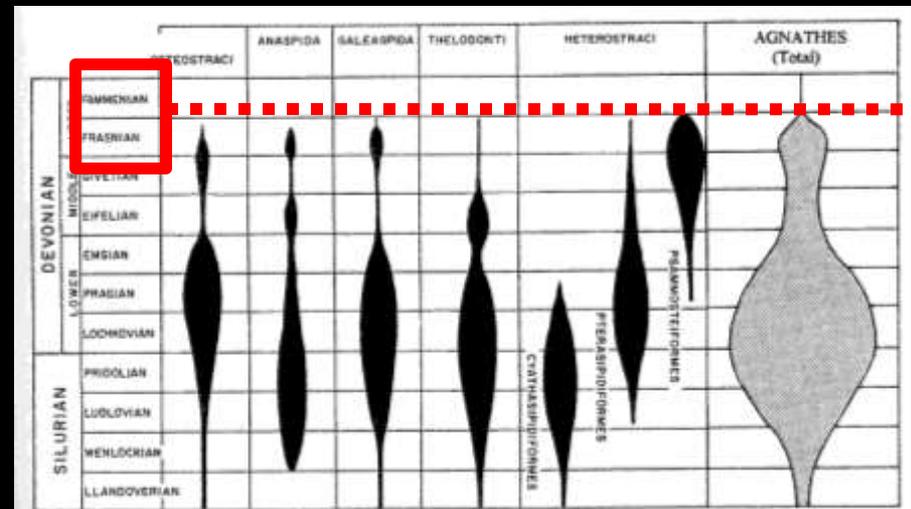
Benthos du milieu récifal benthique, qui disparaît totalement au passage Frasnien-Famennien:

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

Pelagos:

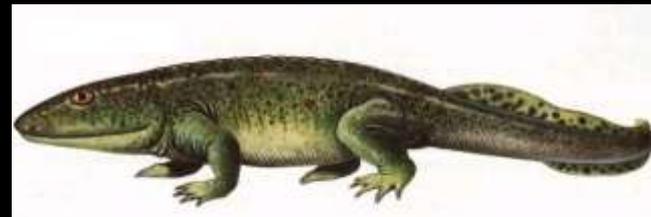
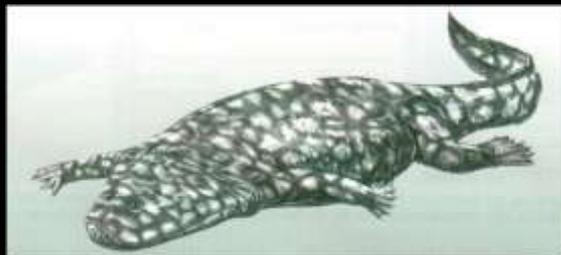
- disparition des tentaculites
- crise forte chez les ammonoïdes, conodontes,...
- relais fauniques chez les acritarches, algues vertes,...

Vertébrés:



Sortie des eaux

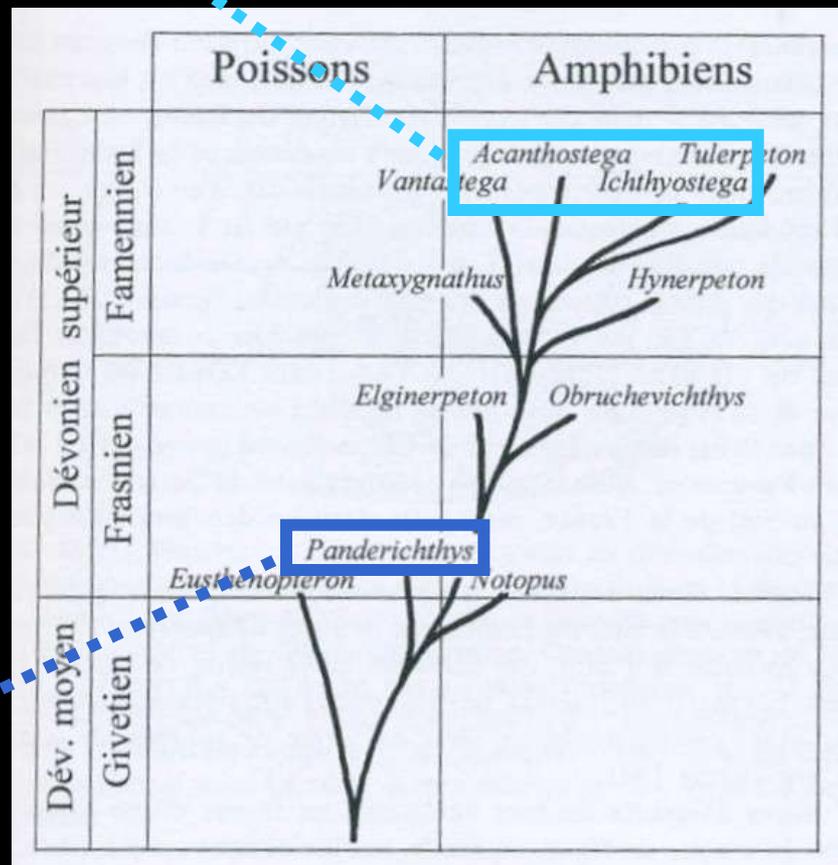
Amphibiens primitifs



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

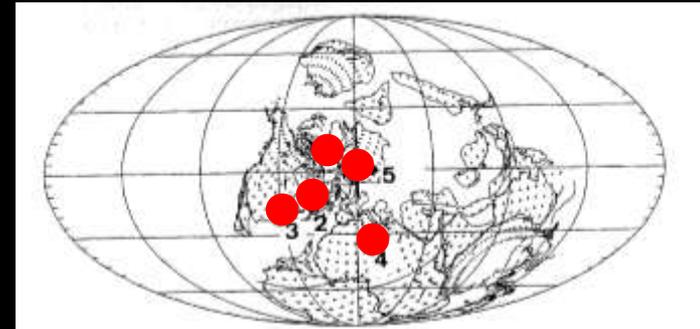
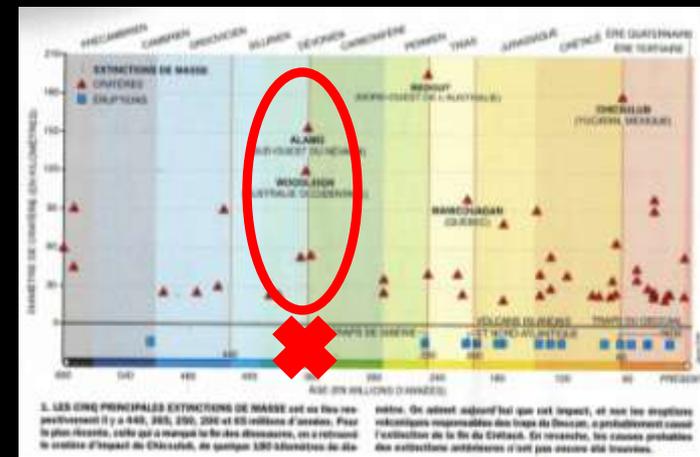
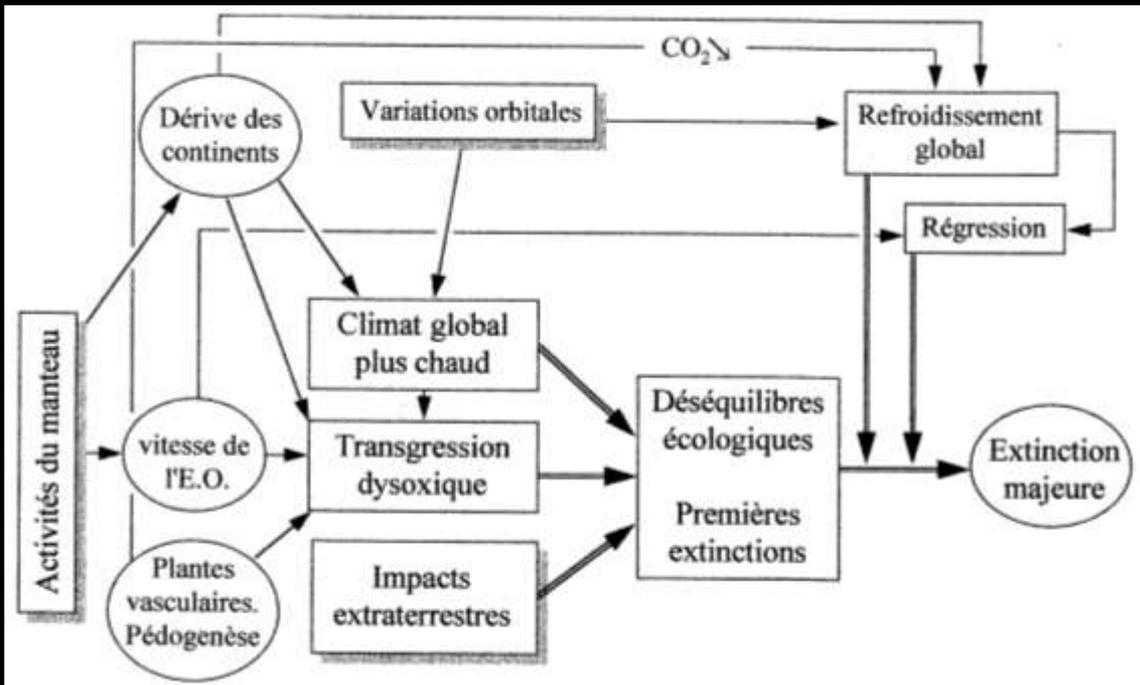


FIGURE 157 : Situation de cinq traces d'impacts au Dévonien supérieur, reportées sur une carte paléogéographique d'après Scotese C. R. et McKerrow W. S. (1990, *The Geol. Soc. Mem.* n° 12). 1 = cratère de Siljan (Suède), diamètre 52 km, limite F/F; 2 = cratère de Charlevoix (Québec, Canada), diamètre 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 paléogéographique 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

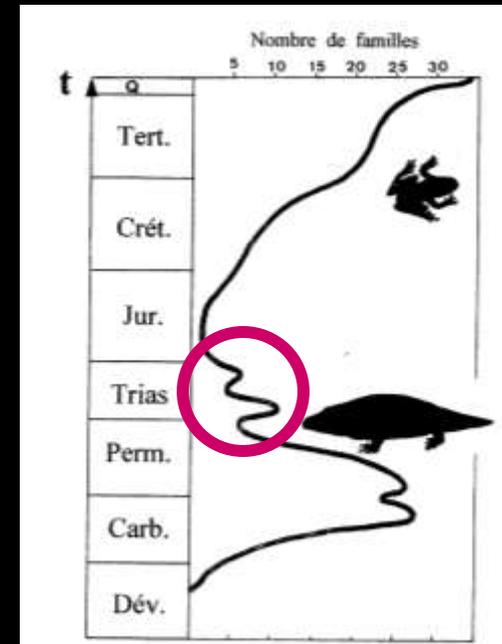
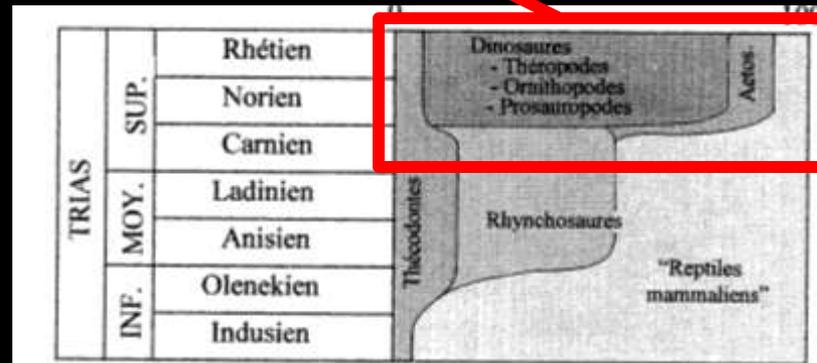
Dans les mers:

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

Sur les continents:

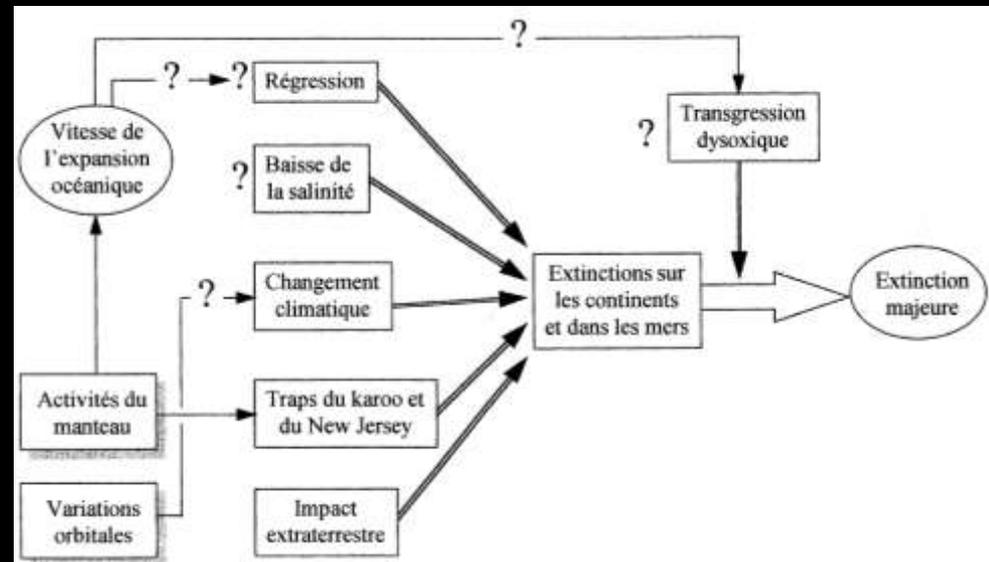
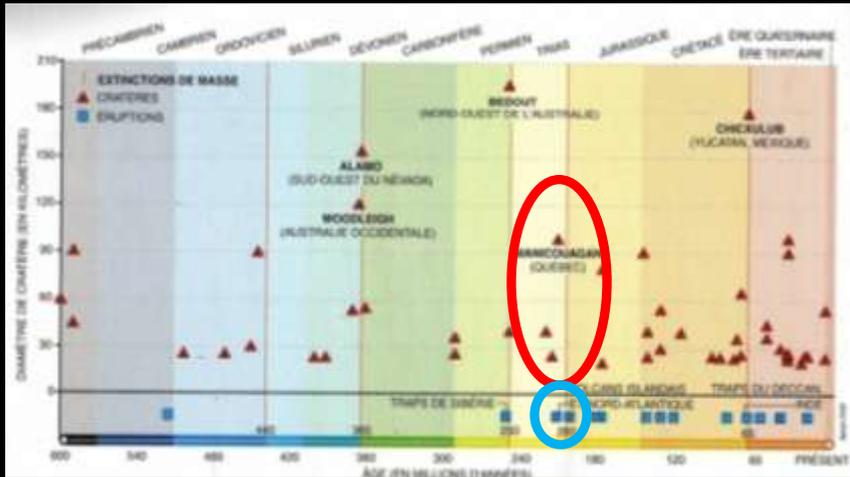
- turn-over
- apparition des premiers **dinosaures**
- crise chez les **amphibiens**

STRATIGR.		CONSTRUCTEURS	
Jurassique inférieur	Toarcien	Calcaires	Bivalves
	Pliensbachien		
	Sinemurien		
	Hettangien		
Trias supérieur	Rhétien	Eponges siliceuses	Coraux
	Norien		
	Carnien		



Causes possibles

- 1) Impact d'une météorite au Norien (cratère de Manicouagan, Québec, D>70km)
- 2) Éruption volcanique: trapps du New Jersey (USA, 1500m)
- 3) Régression généralisée
- 4) Réchauffement climatique > aridité et baisse de la salinité
- 5) Éruption volcanique: trapps du Karroo (Sud de l'Afrique, ? 9000m)
- 6) Transgression au Jurassique inférieur > ? anoxie



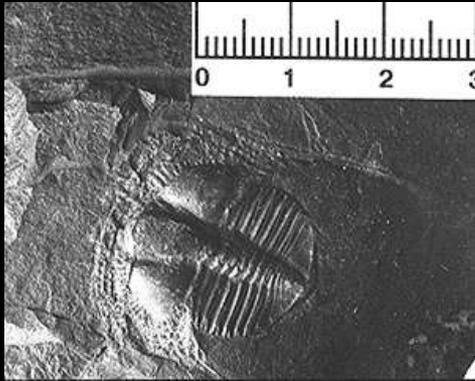
Trilobites



Calymene



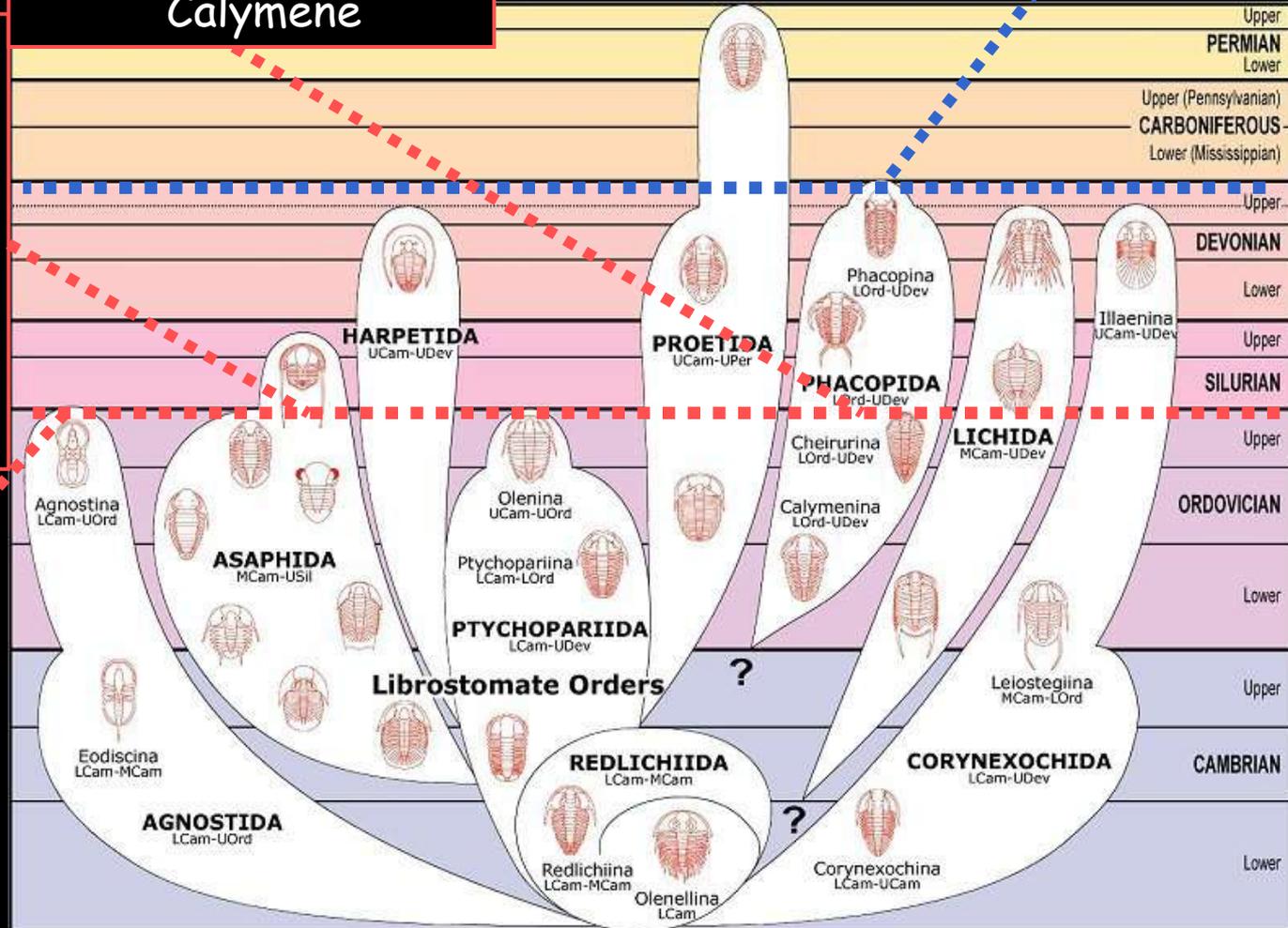
Phacops



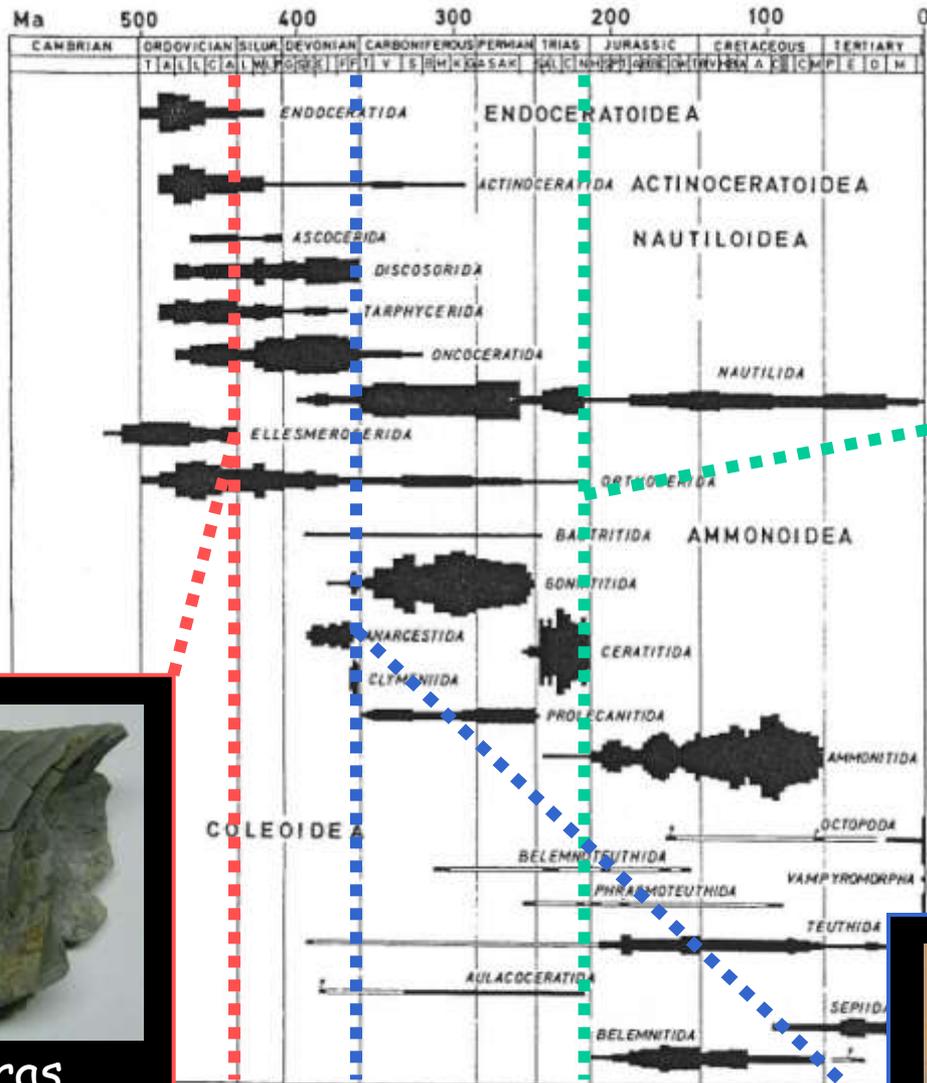
Trinucleus



Agnostus



Céphalopodes



Orthoceras



Anarcestes



Bassleroceras

Répartition stratigraphique des principaux ordres de céphalopodes rassemblés par sous-classes (ex : Ammonoidea). Nautiloidea = Ascocerida à Orthocerida. Ammonoidea = Baculitida à Ammonitida (ou ammonites). Coleoidea = Octopoda à Belemnitida. Extrait de House M. R. in Larwood G. P. (1957) Stratigraphie en anglais.



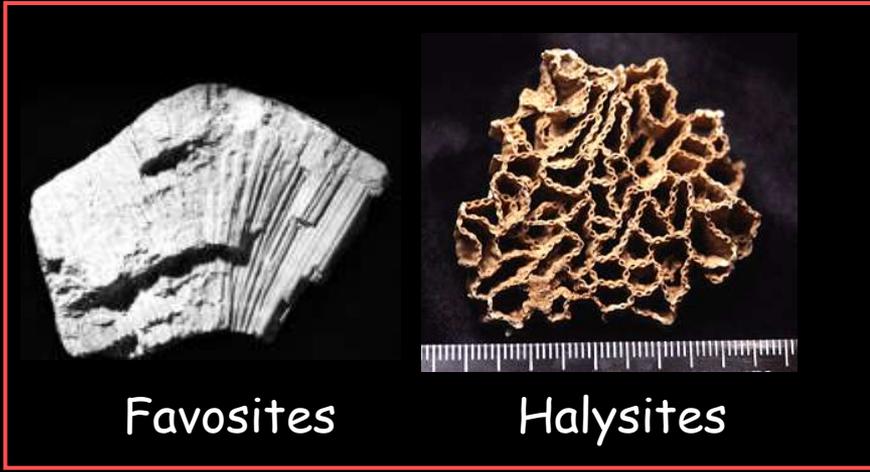
Coraux

Era	Period	Epoch	Age (Ma)		
CENOZOIC	Quaternary	Holocene	0.0118		
		Pleistocene	U/L	0.125	
			Middle	11.781	
	Tertiary	Neogene	Pliocene	5.33 ± 0.05	
			Miocene	22.9 ± 0.1	
		Paleogene	Oligocene	33.9 ± 0.1	
			Eocene	54.8 ± 0.5	
			Paleocene	65.0 ± 0.05	
			Cretaceous	Upper/Late	99.0 ± 1.0
				Lower/Early	144.8 ± 3.7
Jurassic	Upper/Late	156.6 ± 2.7			
	Middle	178.0 ± 1.5			
	Lower/Early	200 ± 1.0			
Triassic	Upper/Late	231 ± 5			
	Middle	244 ± 1			
MESOZOIC	Permian	Lower/Early	253 ± 2		
		Upper/Late	258 ± 5		
	Carboniferous	Middle	229 ± 5		
		Upper/Late	300 ± 3		
		Lower/Early	306.5 ± 1.0		
	Pennsylvanian	Middle	311.7 ± 1.1		
		Lower/Early	318.0 ± 1.3		
		Upper/Late	325.4 ± 1.6		
		Middle	345.3 ± 2.1		
	Mississippian	Lower/Early	360 ± 2		
Upper/Late		383 ± 4			
Devonian	Middle	394 ± 2			
	Lower/Early	418 ± 2			
Silurian	Upper/Late	424 ± 1			
	Lower/Early	441 ± 4			
Paleozoic	Ordovician	Upper/Late	460.1 ± 1.8		
		Middle	471.8 ± 1.6		
	Cambrian	Lower/Early	489 ± 1		
		Upper/Late	499 ± 5		
Precambrian	Proterozoic	Middle	509 ± 1		
		Lower/Early	544 ± 1		
		Neoproterozoic	1,000 ± 50		
	Archean	Mesoproterozoic	1,600		
		Paleoproterozoic	2,500		
		Neoproterozoic	2,800		
Archean	Mesoarchean	Mesoarchean	3,200		
		Paleoarchean	3,600		
	Eoarchean	Mesoarchean	4,000		
		Eoarchean	4,500		

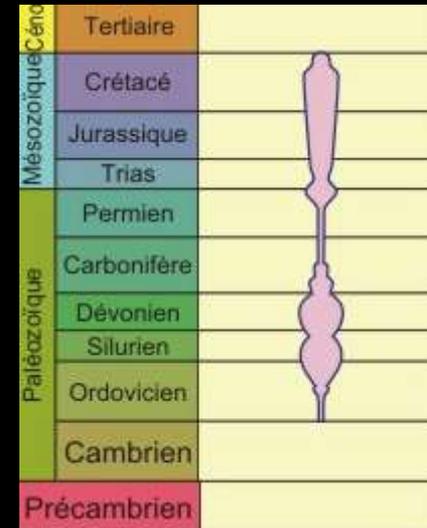
Hexacoralliaires

Tabulés

Tetracoralliaires



Stromatopores (Calcispongia) : † Crétacé

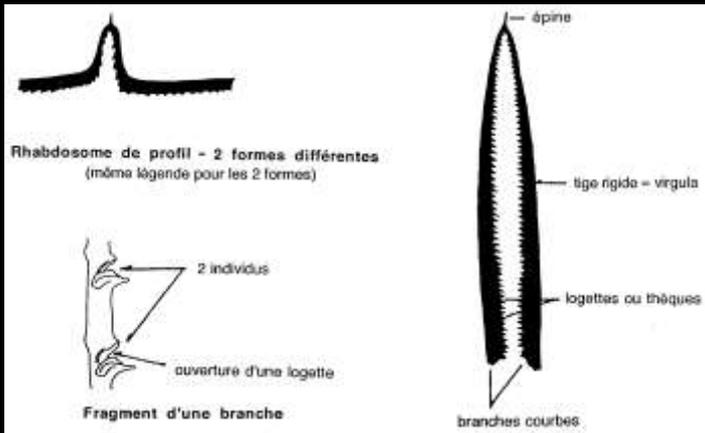


Placodermes: † Dévonien



Dunkleosteus

Graptolites: † Carbonifère inférieur



Didymograptus

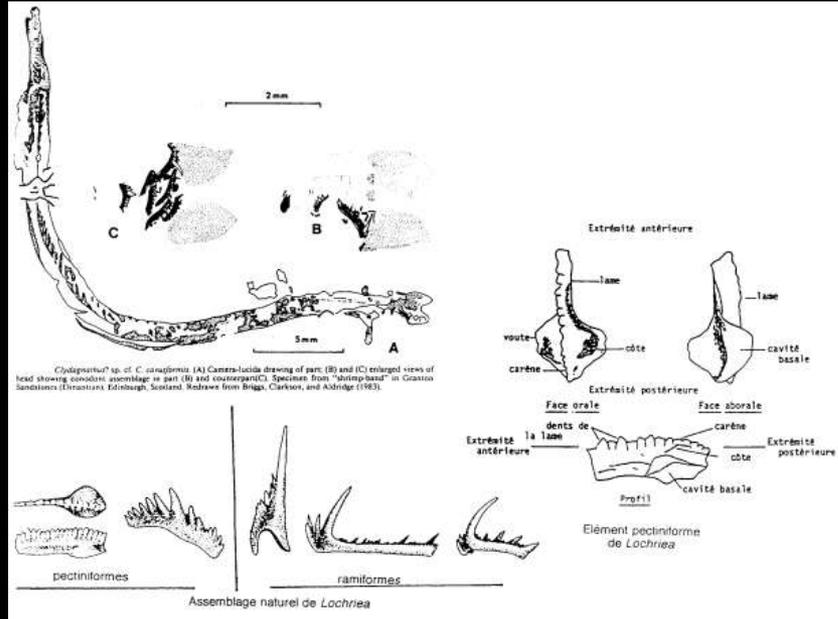
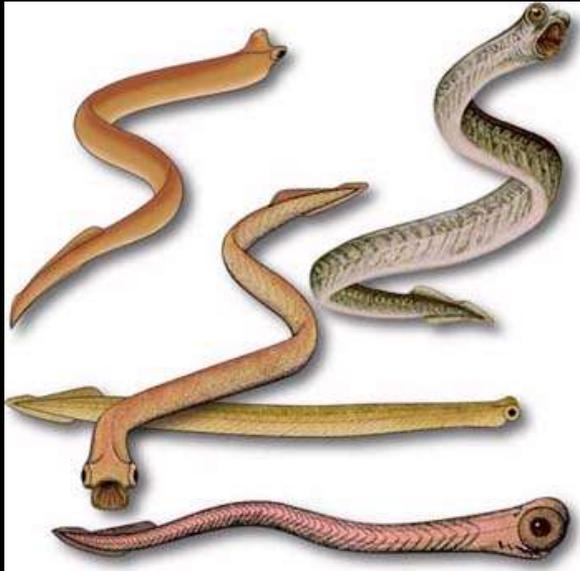


Cyrtograptus

Tentaculites: † Dévonien supérieur



Conodontes: † Trias supérieur



Eurypterus (mérostome):
† Permien supérieur

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

déjà disparus



le dodo

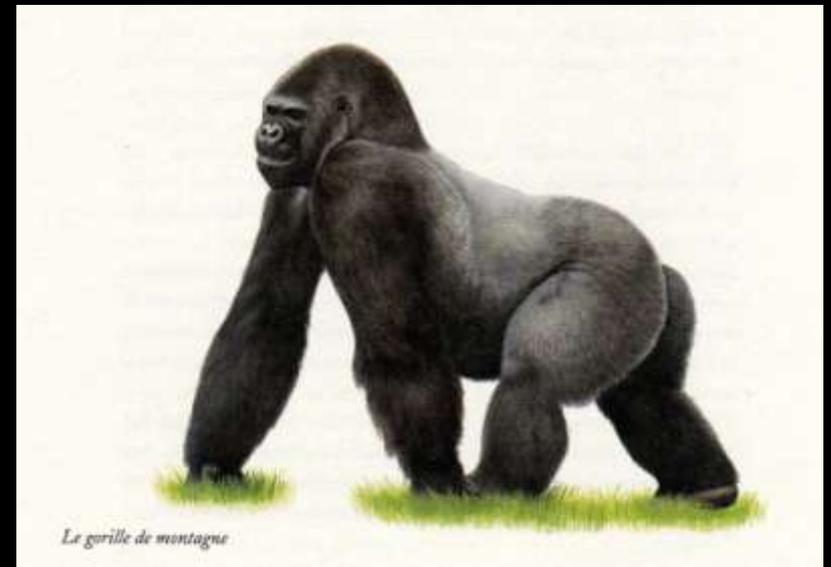
en grand danger



l'ossetot



L'hippotrague bleu



le gorille des montagnes

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 !!!