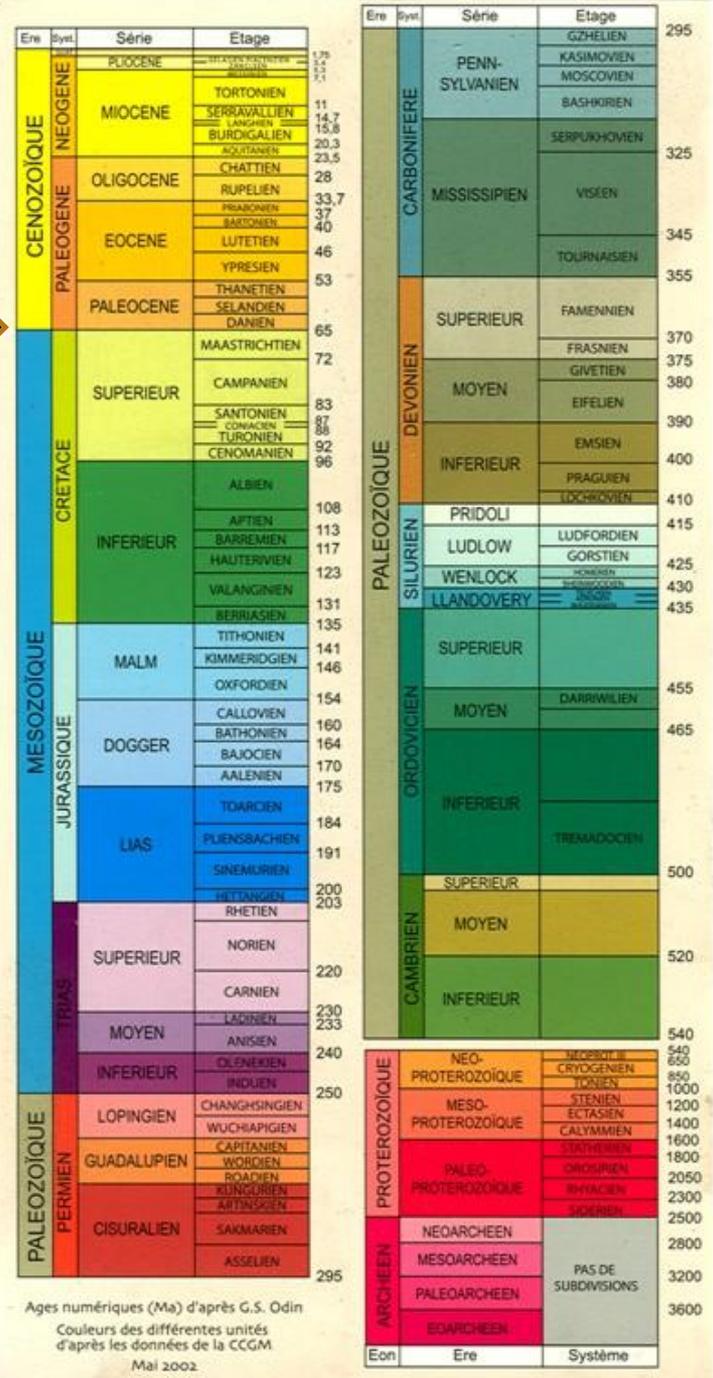


Étude de la crise Crétacé – Tertiaire



Objectifs du chapitre: montrer que l'échelle des temps a été édiflée en partie sur l'étude du contenu paléontologique des différentes strates sédimentaires et donc mettre en évidence le couplage entre évènements géologique et biologique.



Échelle des temps géologiques
(couverture du Hatier 2002)

QU'EST-CE QU'UNE CRISE?

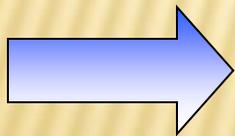
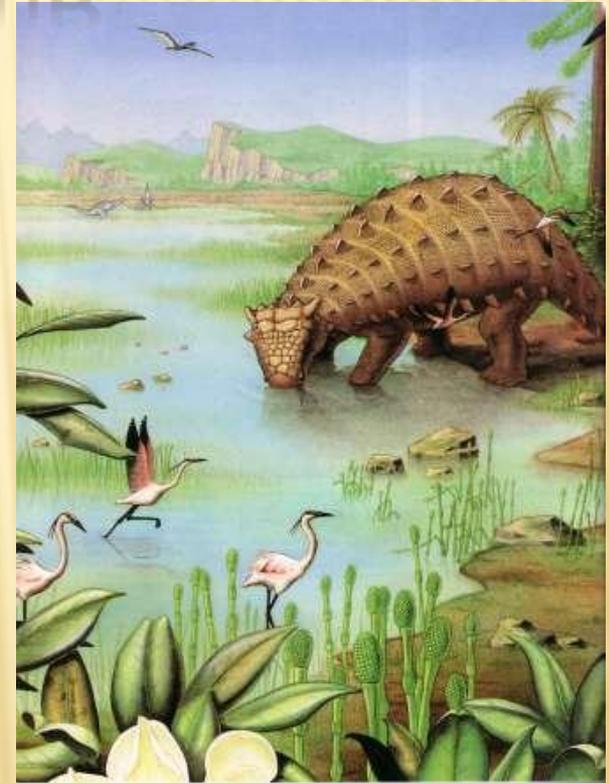
- ✘ Extinction en masse de plusieurs espèces
- ✘ Libération de niches écologiques
- ✘ Survie d'autres espèces
- ✘ Diversification d'espèces opportunistes
- ✘ Évènement biologique mondial, global et ponctuel

LA VIE AU CRÉTACÉ SUPÉRIEUR

Au Crétacé supérieur, vie diversifiée: transgression (=montée du niveau marin) installe de vastes mers, plus chaudes qu'actuellement dans lesquelles nombreuses diversifications.

Absence de grandes glaciations aux pôles.

Climat global de la Terre n'engendre pas de zones arides excessives.



Organismes continentaux conquièrent toutes les niches écologiques terrestres et d'eau douce.

Mais...

... dès la fin du Crétacé: diminution de 76 % des espèces du domaine marin....

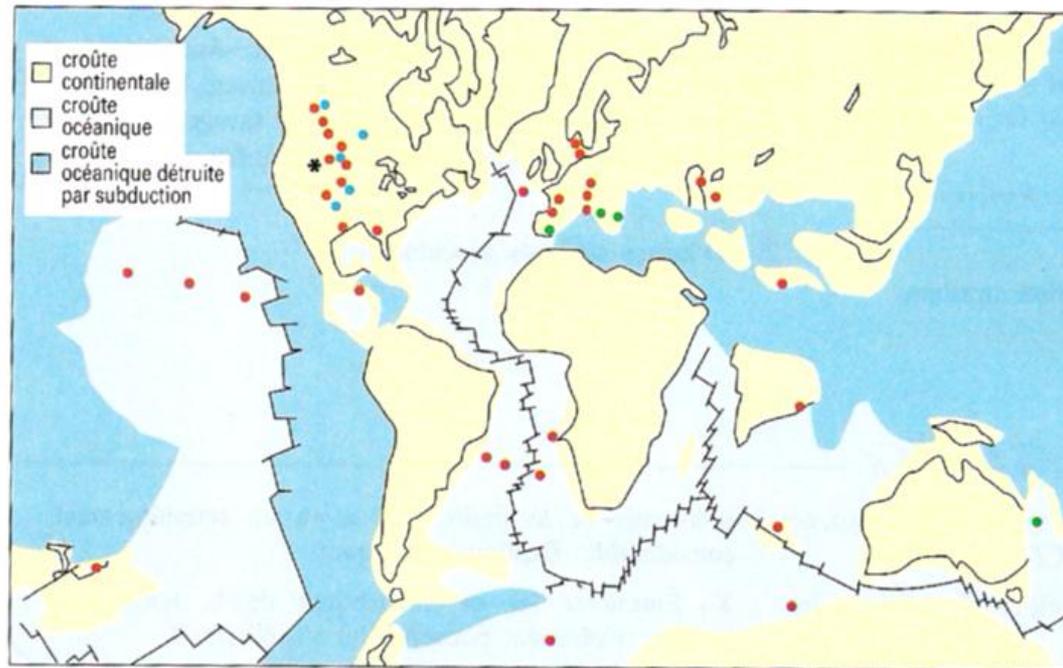


**Donc la limite chronologique K-T
repose sur une
extinction en masse de certaines
espèces.**

**Mais ce n'est pas le seul critère de
définition d'une crise!**

CRISE MONDIALE OU LOCALISÉE

Sites présentant des marqueurs de la limite K-T:
Bidart (France), El Kef (Tunisie), Gubbio (Italie), Agot (Espagne), île de Seymour (Antarctique).



d'après "Pour la Science" n° 158. Décembre 1990.

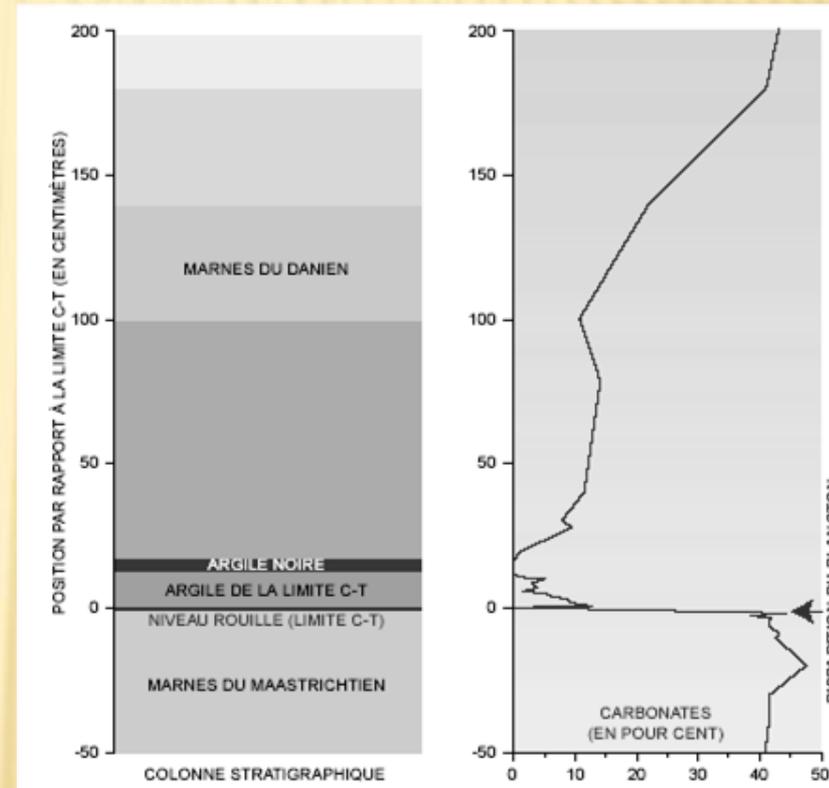


CRISE MONDIALE

CRISE GLOBALE OU SÉLECTIVE?

Étude du domaine marin:

- 1) Passage de dépôts crayeux maastrichtiens à un lit d'argile noir
- 2) Anomalie élevée en Ir dans niveau d'argile noir avec cristaux de spinelles nickélifères
- 3) Diminution du $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C} \Rightarrow$ diminution de la productivité phytoplanctonique
- 4) Apparition de nouvelles espèces de foraminifères planctoniques à 1 ou qqs cm au dessus du niveau noir
- 5) Disparition des espèces tropicales
- 6) Survivance des espèces cosmopolites dans le Danien



LIMITE GÉOLOGIQUE DU KT



Badlands près de Drumheller, Alberta, où l'érosion a découvert à l'air libre la limite K-T.

LES ORGANISMES PÉLAGIQUES

Les organismes chlorophylliens marins: Les coccolithophoridés = nanofossiles calcaires



Disparition à la limite K-T

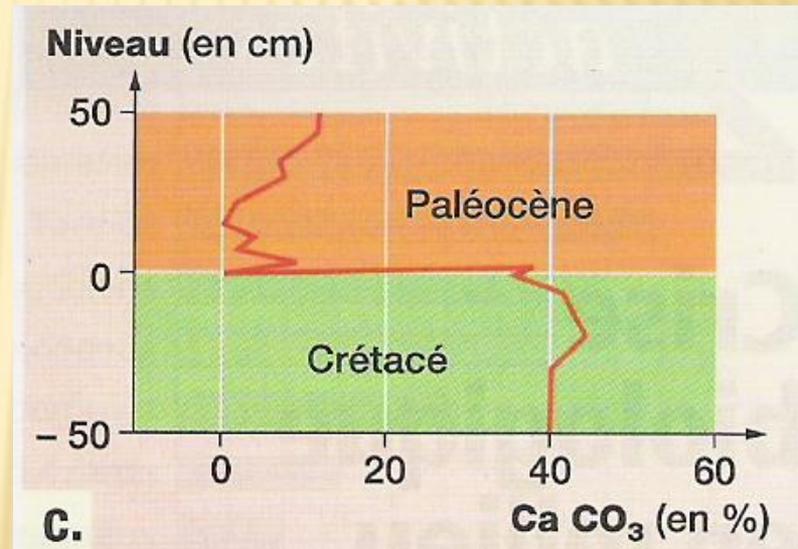
Zone pélagique*: partie des mers ou océans comprenant la colonne d'eau, i.e. les parties autres que les côtes ou le fond marin (la plaine abyssale)

Les Foraminifères

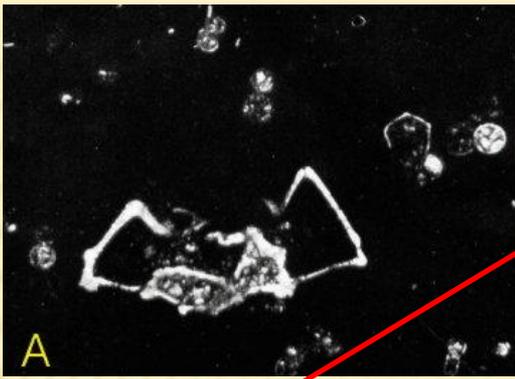
L'étude des foraminifères planctoniques est intéressante car cette faune souvent abondante, peut se suivre, cm par cm, dans une analyse bio stratigraphique.

Ex El Kef: 70 % des espèces de foraminifères s'éteignent entre - 25 cm et + 15 cm autour du pic d'Ir

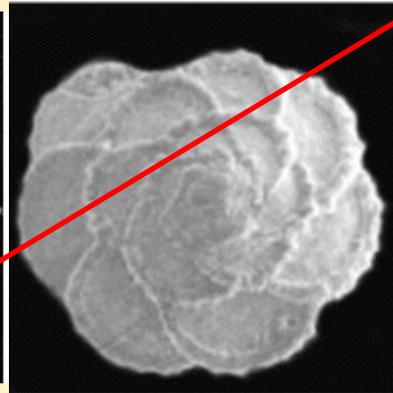
30 % survivent mais l'extinction s'échelonne dans 500 cm au-dessus du pic d'Ir tandis que de nouvelles espèces apparaissent



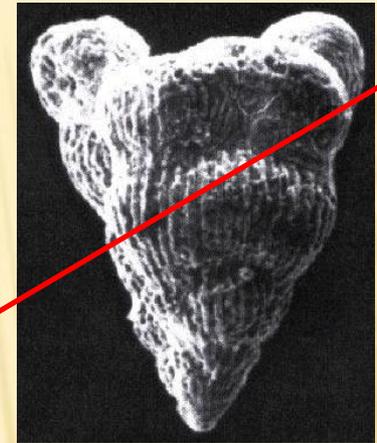
Variations de la teneur en carbonate de calcium des roches d'origine marine de Gubbio à la limite K-T (d'après Hatier TS)



A

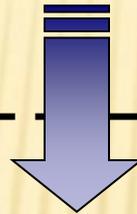


Globotruncanidés

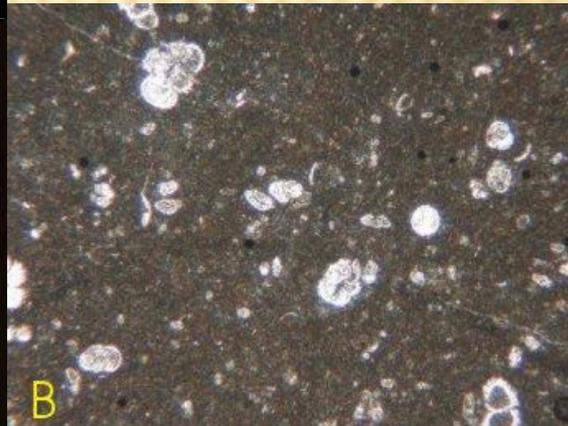
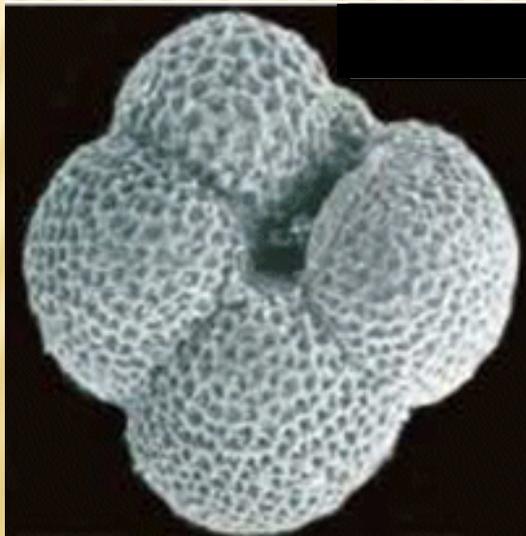


Hétérohélicidés

Crétacé (Maastrichtien)



Tertiaire (Danien)



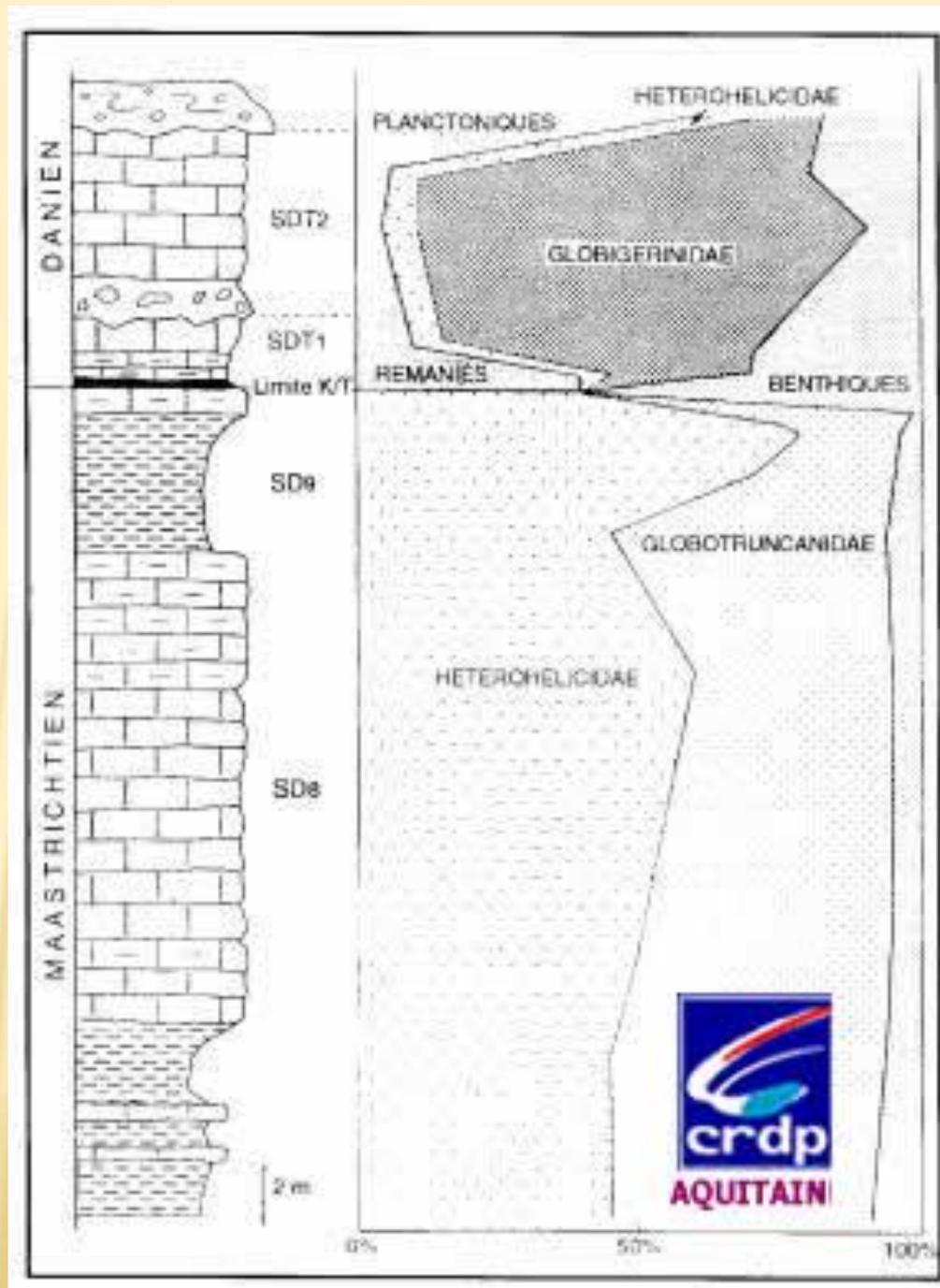
B

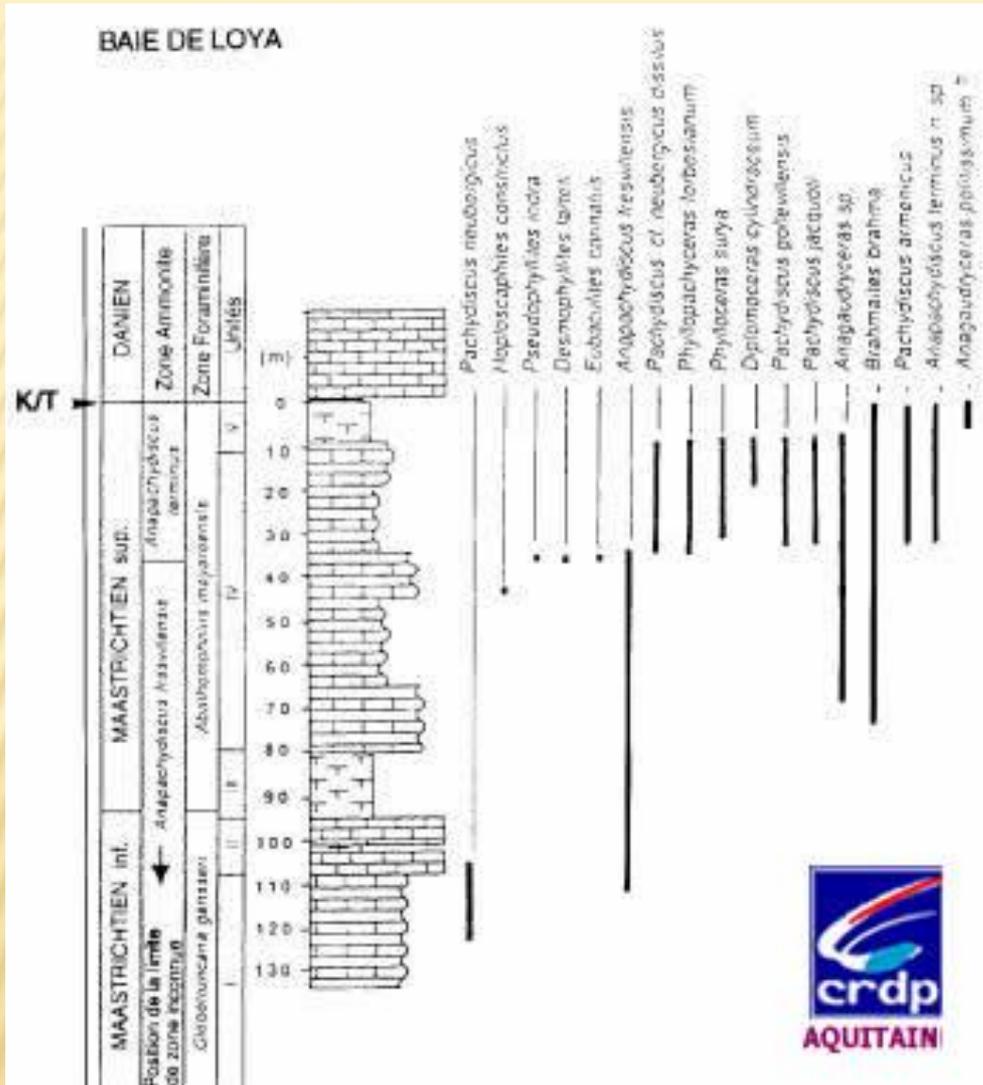
Globigérinidés

La limite K-T (niveau des argiles sombres) est marquée par la présence de microfossiles remaniés (Foraminifères de grande taille, benthiques se développant généralement sur la plate-forme carbonatée), ce qui abonde dans le sens d'une chute du niveau marin;

Dans les calcaires rosés du Paléocène, les Globotruncana et Heterohelicidae sont complètement remplacés par les Globigerinidae, ce qui est un témoin d'une crise majeure au niveau de la limite.

Répartition des Foraminifères planctoniques, benthiques et remaniés sur la coupe de Bidart.





Répartition des Ammonites au Maastrichtien sur le site de la baie de Loya.

Enregistrement de la crise par les macrofossiles

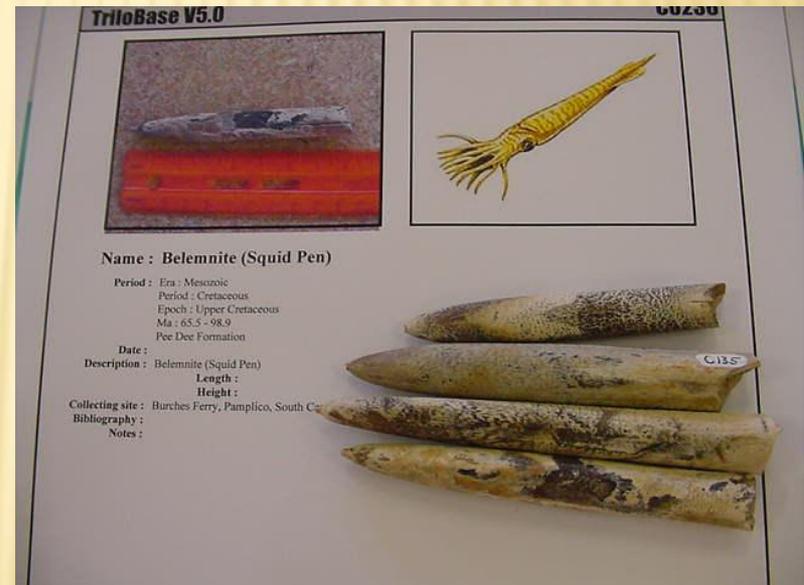
Les études menées sur les populations d'**Ammonites** montrent une certaine diversité dans le dernier étage du Crétacé. En effet, alors que peu d'espèces sont trouvées dans le Maastrichtien inférieur, elles sont plus nombreuses au Maastrichtien supérieur et terminal. Cette diversification s'arrête brutalement au passage K-T puisque toutes les Ammonites disparaissent dans les formations du Danien (premier étage du Paléocène). Cette observation accrédite l'hypothèse d'une crise instantanée (par rapport à l'échelle des temps géologiques).

DISPARITION DES ORGANISMES MARINS MACROSCOPIQUES



Les **Ammonites**: elles déclinent graduellement dès -6 Ma avant la limite K-T

Disparition des **Bélemnites**



Organismes plutôt pélagiques (eaux peu profondes)

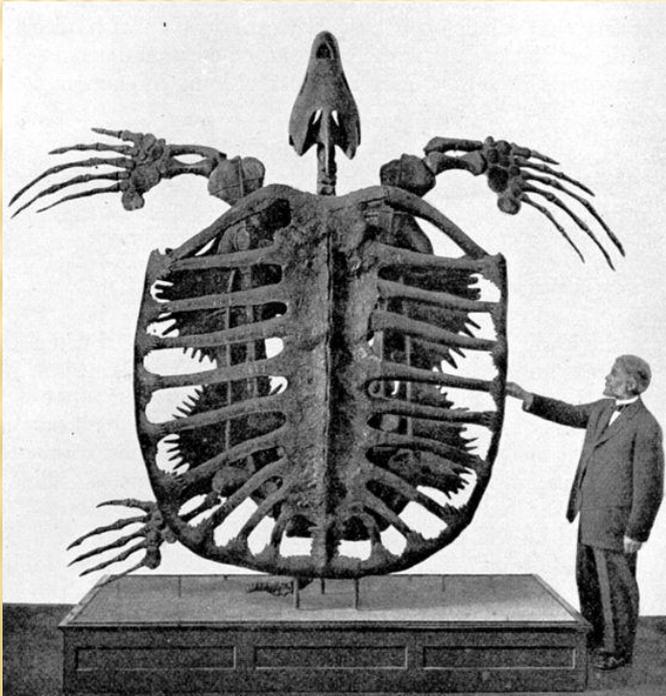


90 % des espèces de requins et de raies disparaissent



Parmi les reptiles adaptés à la vie marine, ceux de grande taille et spécialisés à la vie marine disparaissent:

Mosasaures = lézards marins

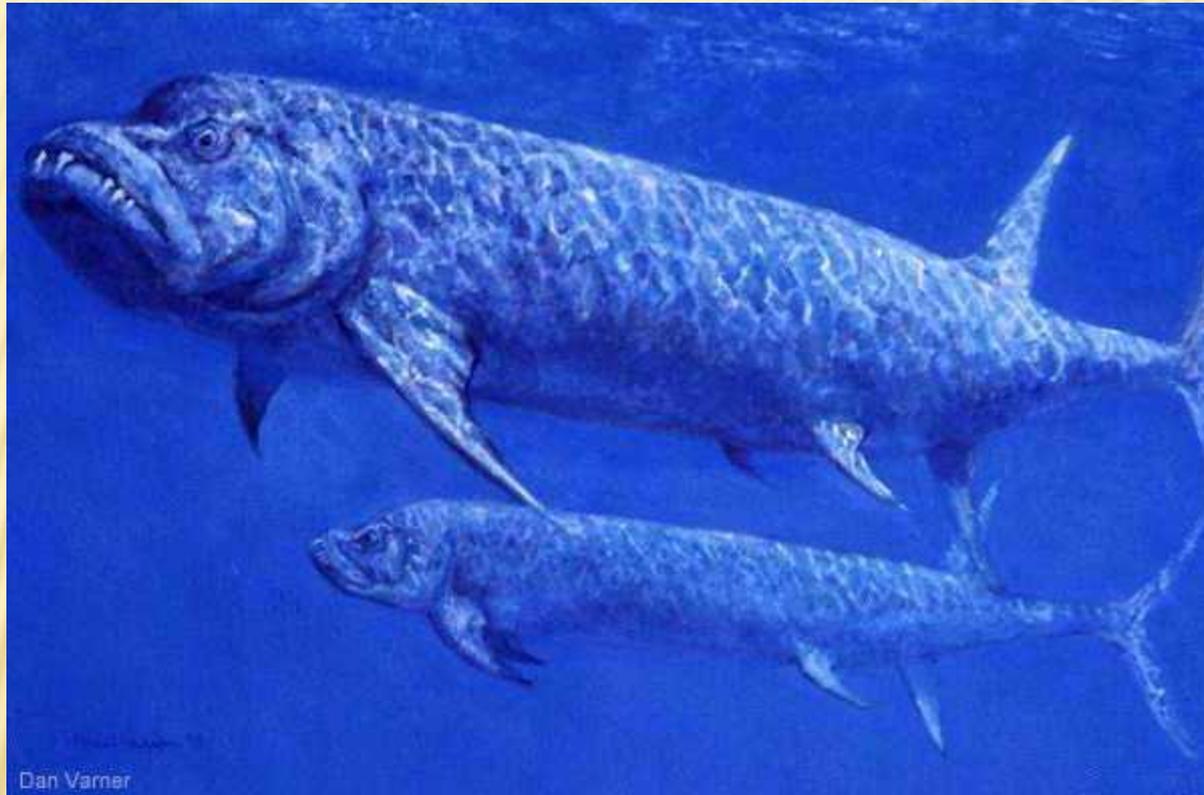


Archelon (disparu au campanien)



Plésiosaures (long cou)

... et des Poissons

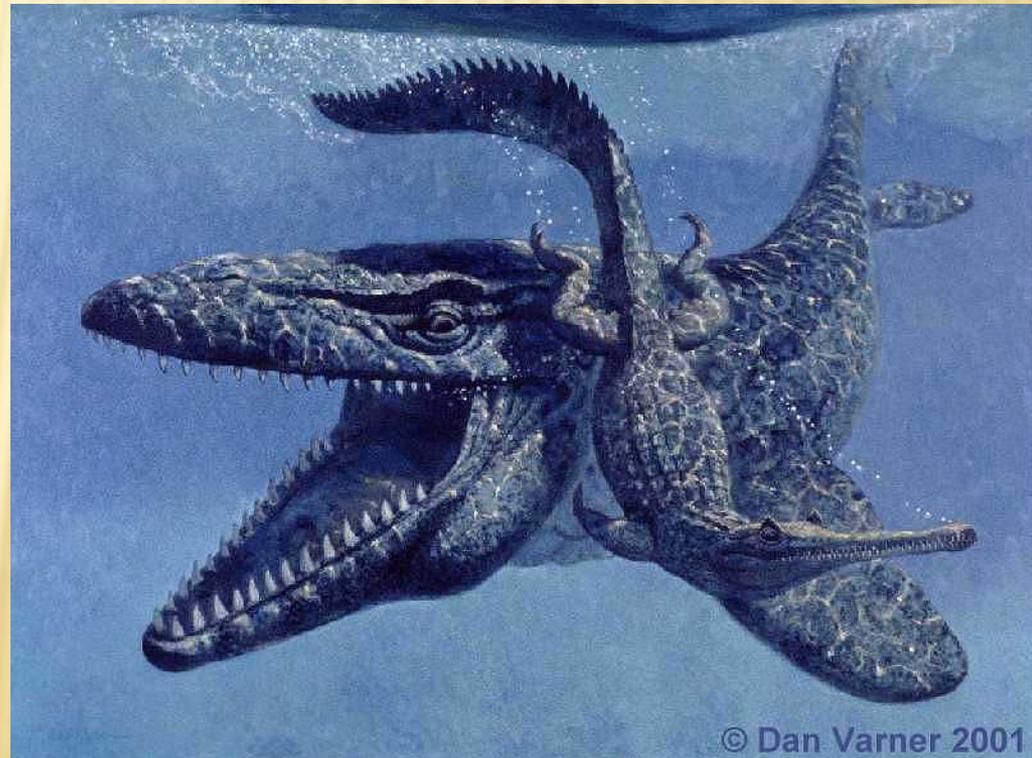


Xiphactinus audax

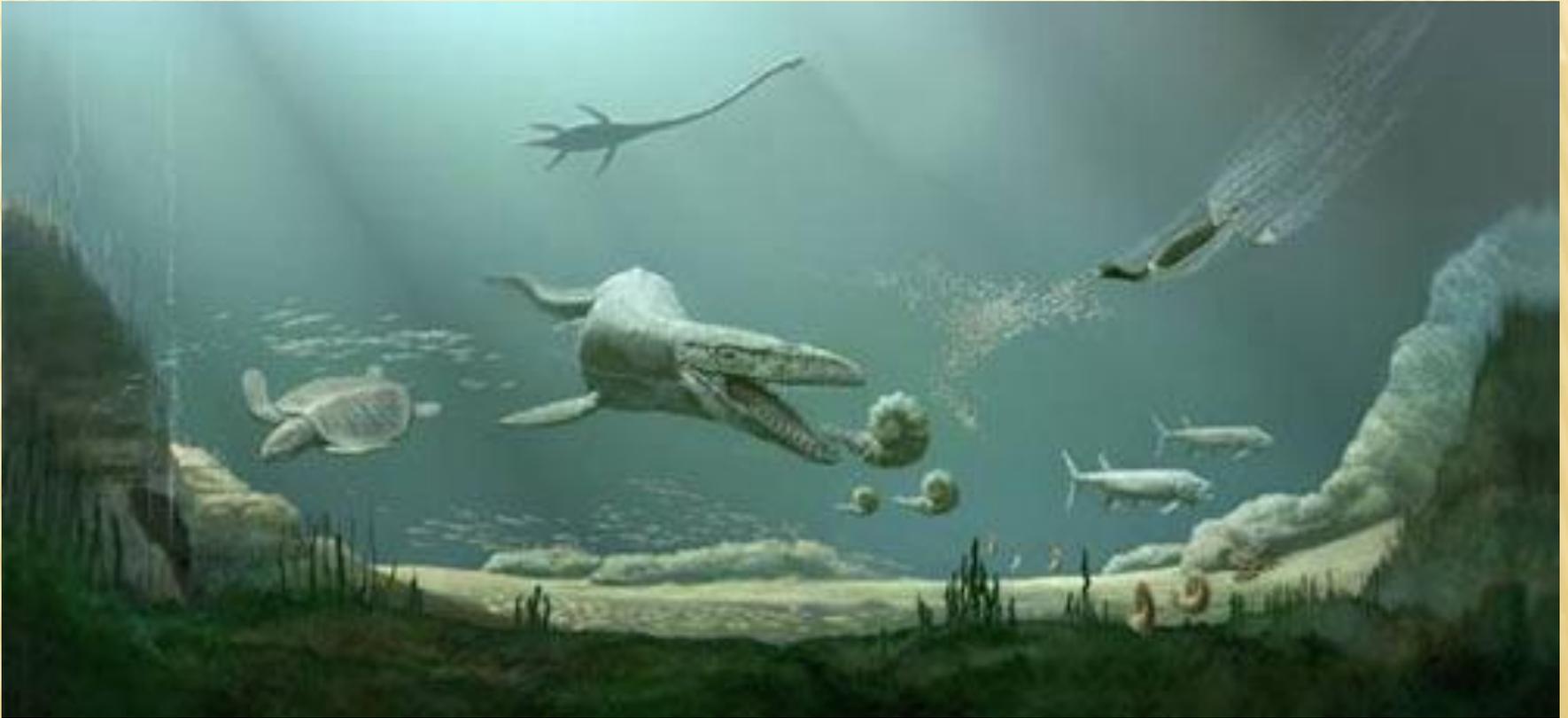
DES ESPÈCES PASSENT LA CRISE...

Groupes passant la limite K-T: localisés près des estuaires, capables de se mouvoir épisodiquement sur la terre ferme

Ex: **certaines Tortues**, **Serpents marins** et **Crocodiles marins** (Dyrosauridae)



LA VIE DANS LES MERS AU CRÉTACÉ



D'après Karen Carr

DISPARITION DE QUELQUES ORGANISMES BENTHIQUES

Les organismes benthiques sont moins affectés par la crise que les pélagiques, néanmoins quelques disparitions à noter:

Ostracodes (groupe d'Arthro-Crustacés)



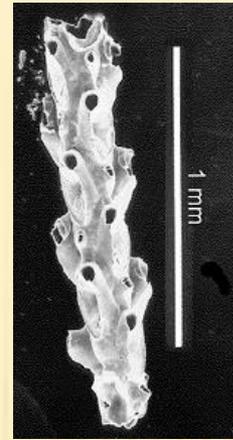
Brachiopodes

articulés: 70% des espèces subissent l'extinction



Le **benthos*** est l'ensemble des organismes aquatiques (marins ou dulcicoles) vivant à proximité du fond des mers et océans.

Bryozoaires: 60 % de perte



Affleurement au Sultanat d'Oman (J. Philip)



Dessin d'après Stanley

Rudistes (Bivalves comparables aux coraux actuels => faible profondeur)

Inocérames: disparaissent 2 Ma avant la fin du Crétacé

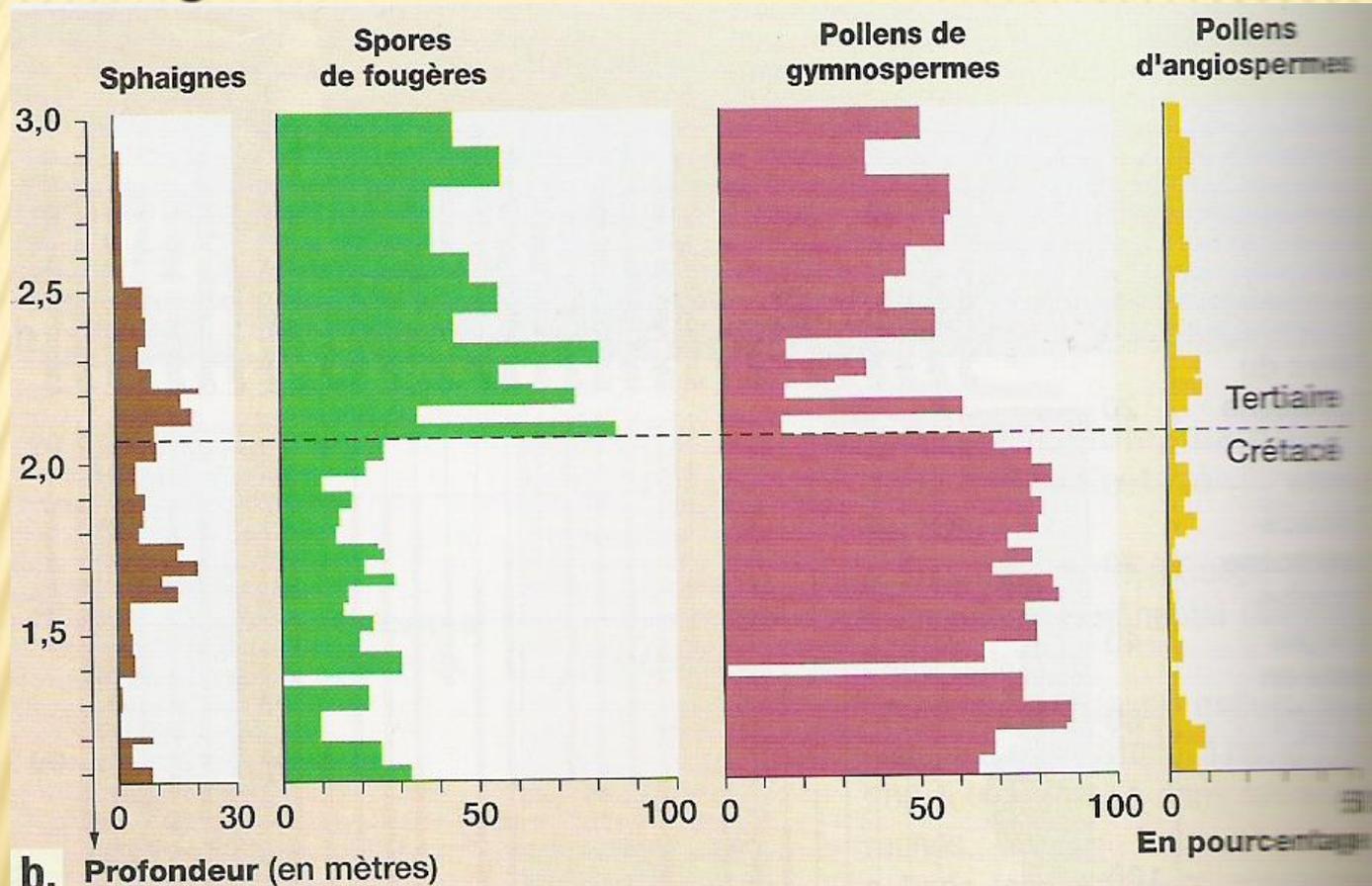


LA CRISE BIOLOGIQUE MARQUANT LA LIMITE K-T, UNE CRISE GLOBALE?

- La limite K-T correspond à une crise majeure puisqu'elle voit la disparition :**
- de 80% des micro-organismes marins**
 - des grands reptiles marins**
 - des Dinosaures terrestres**
 - des Ammonites**
 - des Bélemnites**

LA CRISE EN MILIEU CONTINENTAL

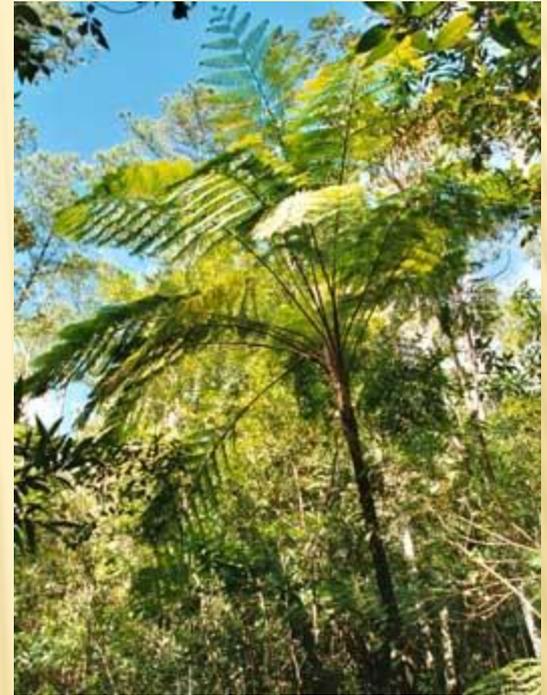
Les végétaux:



Abondance relative de quelques végétaux de part et d'autre de la limite K-T (d'après Hatier TS 2002 p.344)

À El Kef plutôt renouvellement progressif de la palynoflore.

Au Crétacé terminal dans la région Ouest des États-Unis, la végétation est de type tropical humide avec des Angiospermes, des Gymnospermes et des Fougères (15 à 30 % de spores par rapport aux pollens). Au niveau de la couche riche en Ir, on observe soudain 90 % de spores de fougères



Forêt « primitive » de la fin du Crétacé

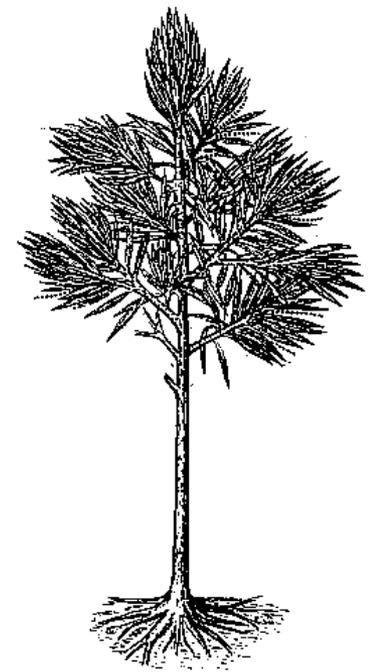
- preuve d'un refroidissement brutal

- Fougères = espèce opportuniste, profite des niches écologiques laissées vacantes par les Gymnospermes.

Disparition de nombreuses
Gymnospermes (plantes à ovule
caché)



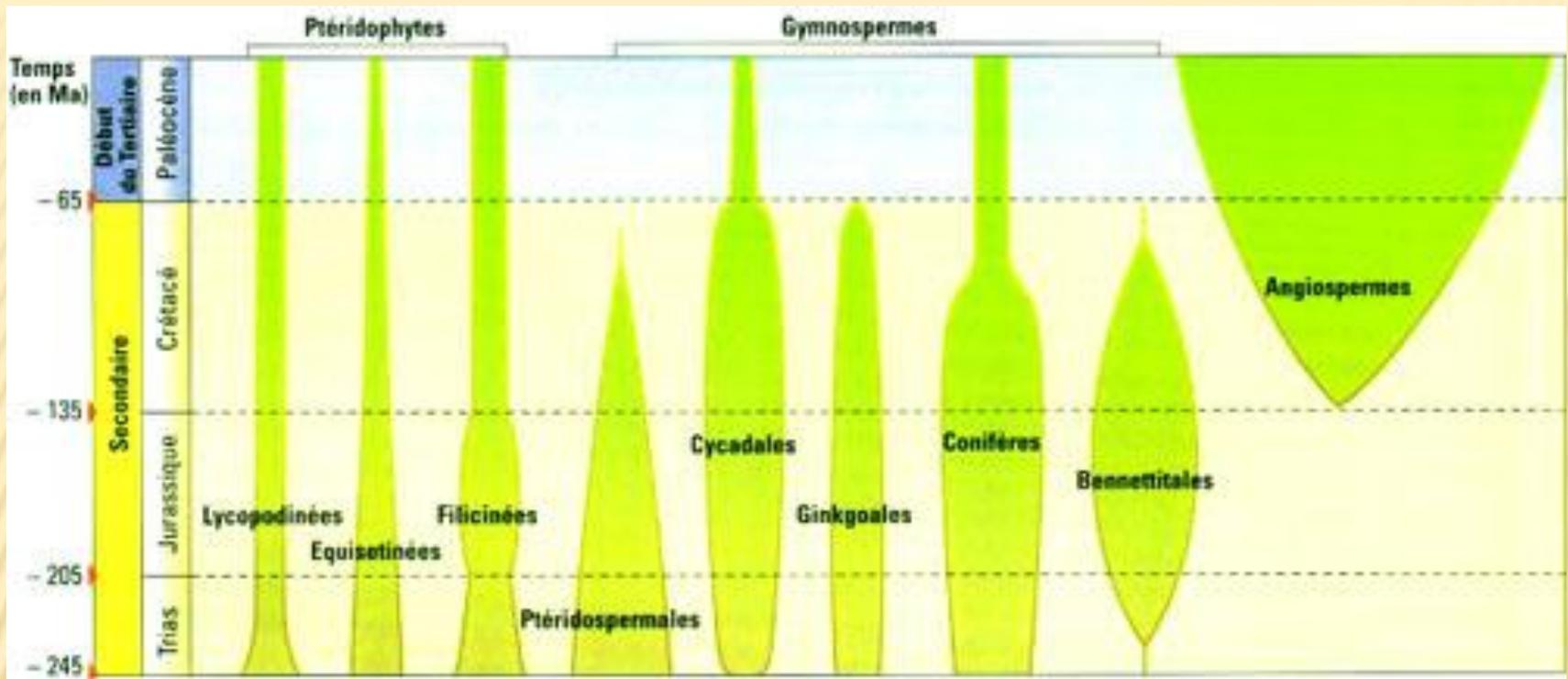
Cordaïtales



Diversification des **Angiospermes** (plantes à fleurs)



Allium roseum

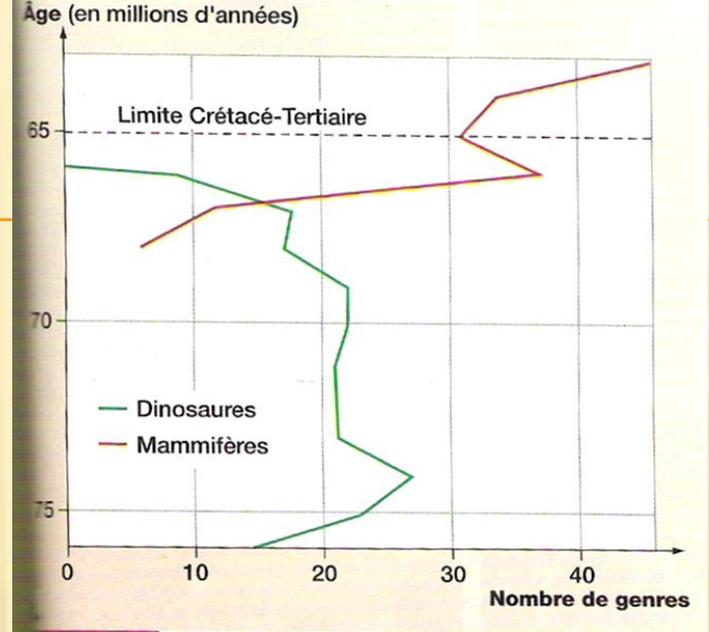
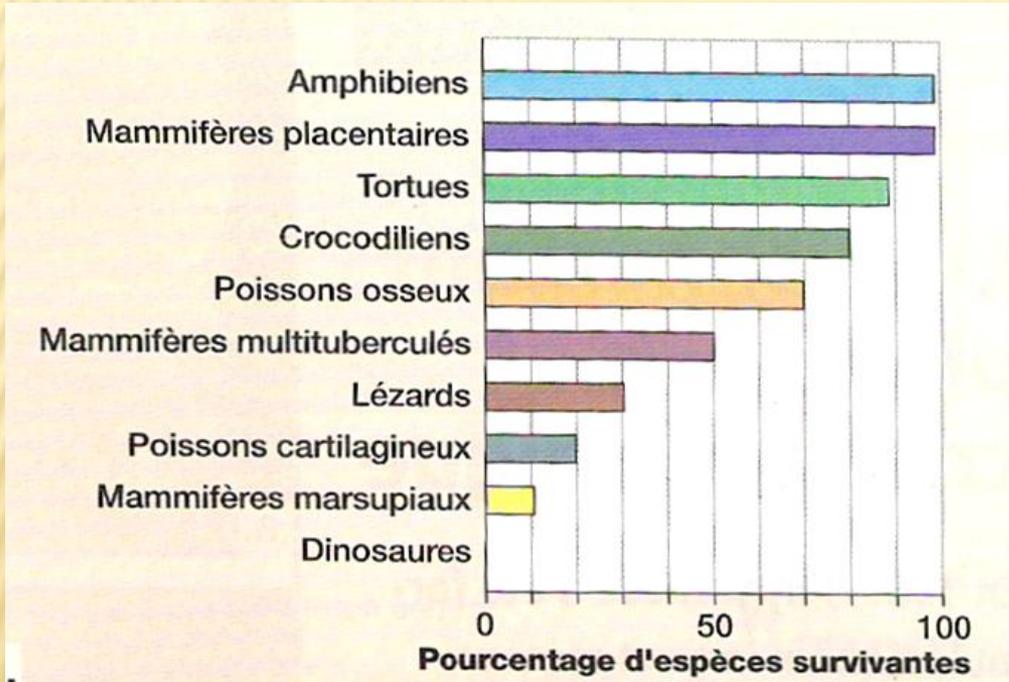


Évolution des végétaux depuis 245 millions d'années. (D'après Éditions Belin)

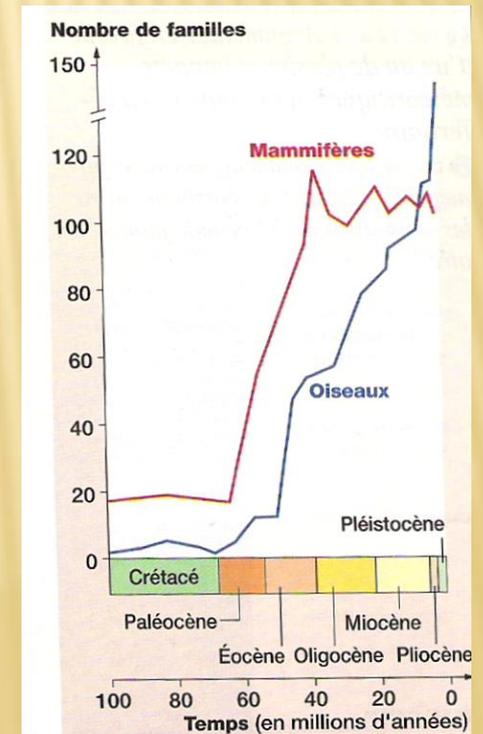
Le monde végétal est moins touché que le monde animal : le nombre de disparitions y est nettement moindre.

=> L'importance du stage « graine », stade de résistance dans le cycle de vie de la plante.

LES ANIMAUX TERRESTRES ET LA CRISE



L'évolution des espèces animales au passage de la limite K-T



Les insectes: pas de chute majeure, or ils représentaient déjà 70 % des espèces terrestres



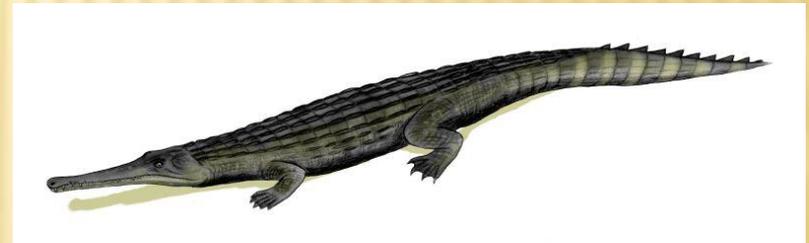
Les batraciens: extinction pas significative

Les reptiles: extinction sélective, la moitié des familles de reptiles passe la limite K-T.

Crocodyliens continentaux passent la crise K-T sans discontinuité, or ces reptiles ne tolèrent pas les basses températures et sont de bons indicateurs de climats chauds => problème avec hypothèse d'un refroidissement général...



Sarcosuchus imperator (14 m) (MNHN) disparaît...



Le « petit » (6 m) Dyrosaurus survit jusqu'à l'éocène

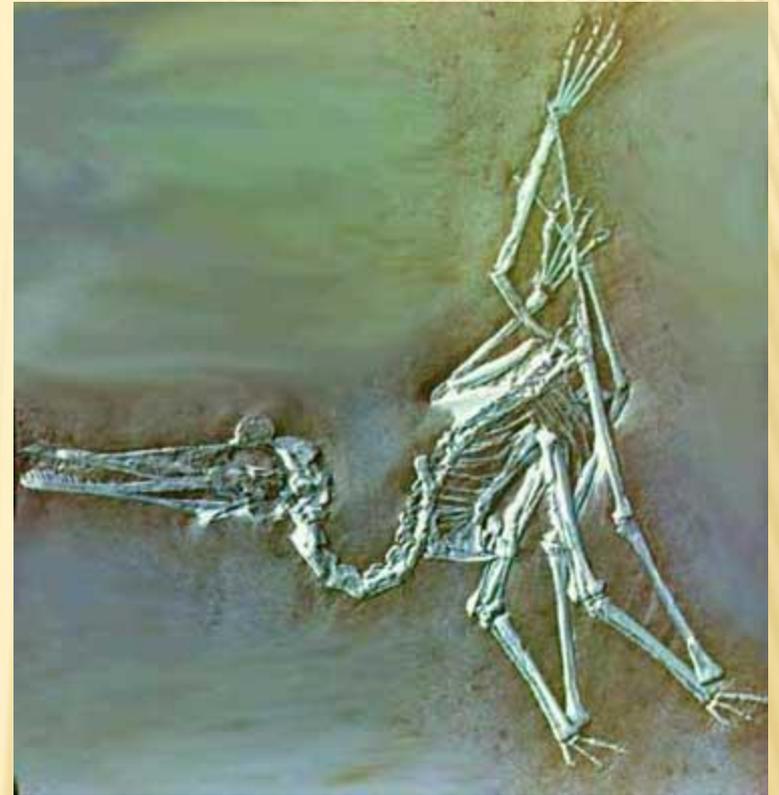
LA LIMITE KT EST MARQUÉE PAR LA DISPARITION DES DINOSAURES

Dinosaures et Ptérosaures sont décimés

90 théories pour expliquer la disparition des Dinosaures....

L'extinction soudaine et simultanée dans toutes les régions du globe n'est pas démontrée.





Le Ptérosaure *Quetzalcoatlus*, le plus gros animal qui ait jamais volé (d'après *Natural History Museum, John Sibbick*)

Les Mammifères: pas de changement particulier.

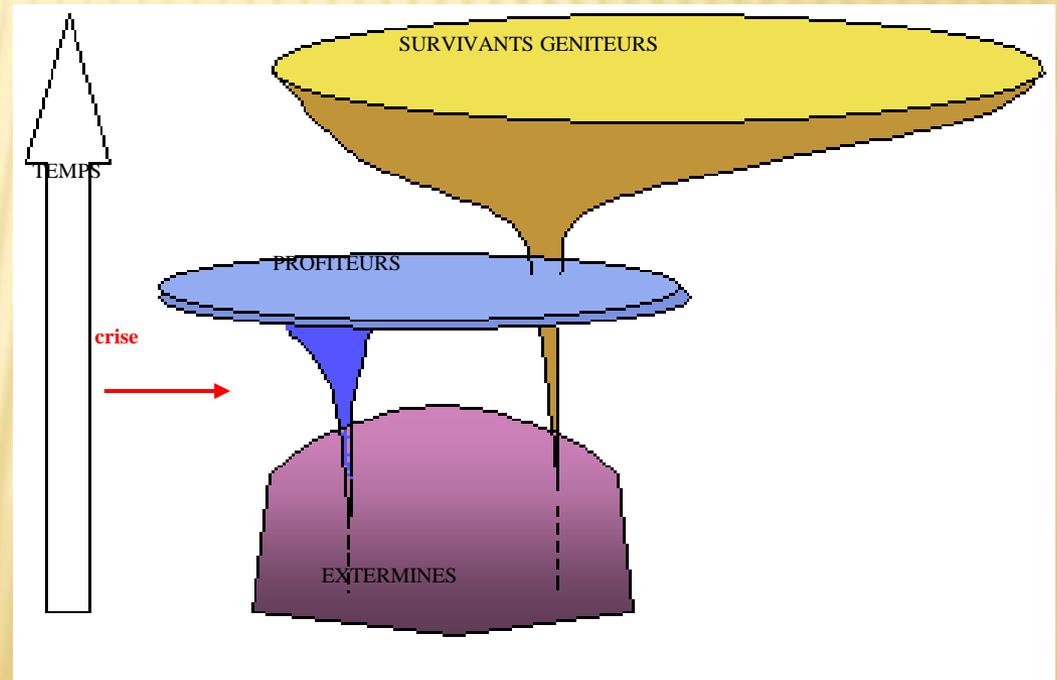
Fin du Crétacé, les Marsupiaux dominent les Placentaires.
La diversité générale est déjà ,importante, mais pour des animaux ayant des tailles < 50 cm.

Lors de crise K-T 90 % des Marsupiaux sont touchés, d'où par la suite explosion démographique des Placentaires.

Un exemple de **radiation évolutive***

=une espèce qui s'est grandement et relativement rapidement diversifié pour donner naissance à de nombreuses espèces dont la morphologie, l'écologie et la distribution peuvent varier beaucoup. Ces espèces sont des clades.

(doc 6 du TP)



Les Marsupiaux:

Diprotodon. (Encyclopédie des Dinosaurés Gallimard)



Thylacoleo. Le Livre de la Vie S J Gould

Les Mammifères:

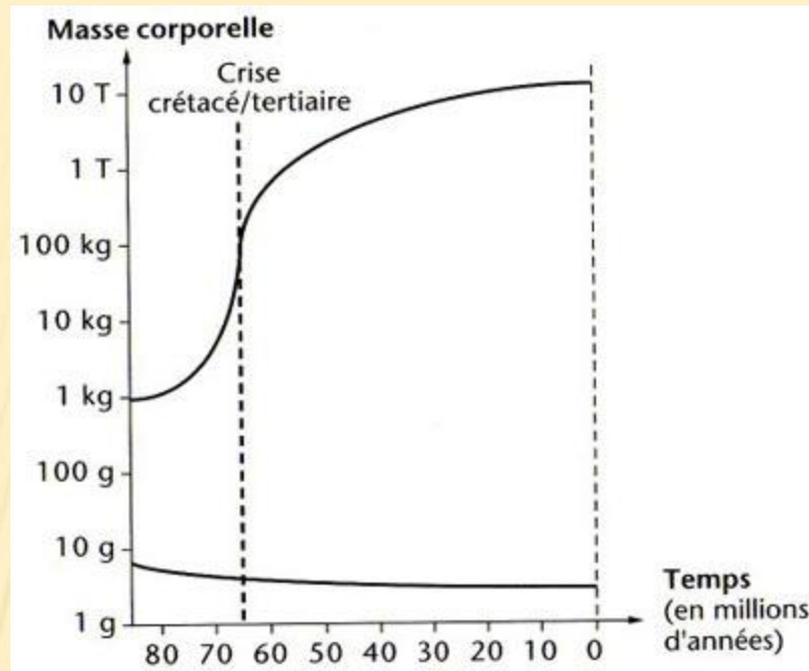
L'ancêtre du Cheval:



L'âge d'or des mammifères géants : l'*Entelodon*

La « course aux armements »
avec le *Smilodon*





Évolution de la taille des Mammifères terrestres répertoriés dans les gisements d'Amérique du Nord, du Crétacé au Cénozoïque. L'accroissement de taille, qui apparaît brutal, atteint vite un palier.

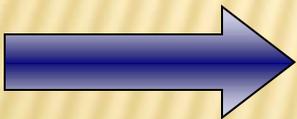
Ce palier peut être considéré comme une limite au-delà de laquelle les contraintes surpassent les avantages que pourraient en tirer les espèces qui la franchiraient. *Extrait de J.-L. Hartenberger*

Tableau récapitulatif au passage de la limite K-T

organismes	Disparition	Survie
Sphaignes		
Fougères		
Gymnospermes	Pertes importantes	
Angiospermes		Diversification
Amphibiens		
Tortues		
Crocodyliens		
Dinosaures		
Insectes		
Mammifères marsupiaux	Pertes importantes	
Mammifères placentaires		

UNE CRISE EST-ELLE GRADUELLE OU PONCTUELLE?

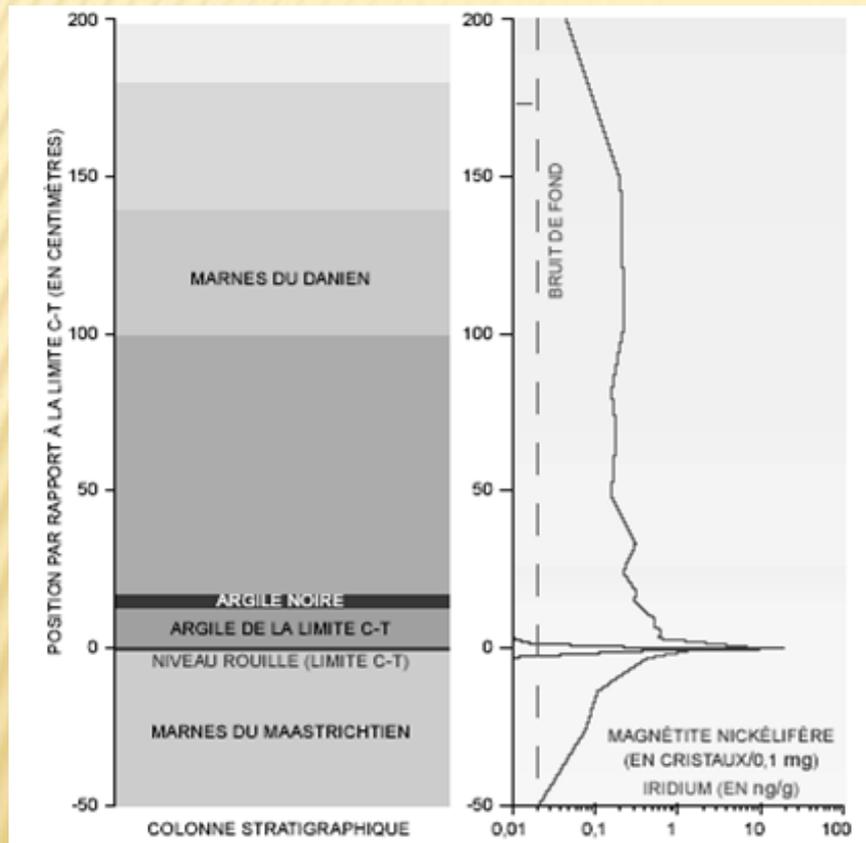
A l'échelle des temps géologiques, les Dinosaures mettent quelques millions d'années à disparaître.



**CRISE PONCTUELLE à l'échelle des
temps géologiques**

ACTIVITÉ 2: LES CAUSES DE LA CRISE

1. Les indices météoritiques

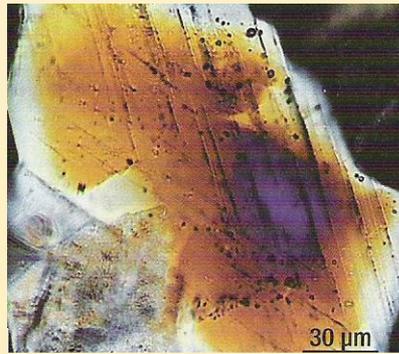


Observations directes sur le terrain:

- pic d'Iridium au niveau de la couche d'argile noir modélisant la limite K-T
- pic de magnétite nickélique à la limite K-T

-Iridium: métal apporté par les météorites

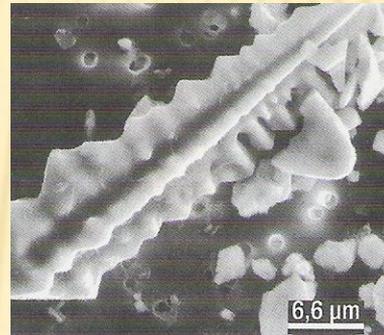
- quartz choqués



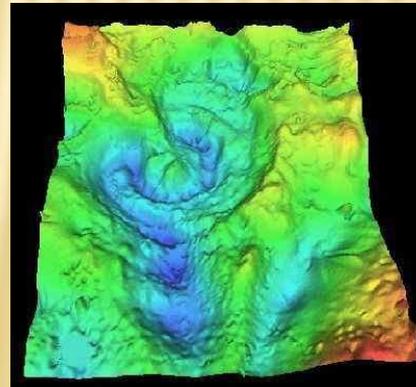
- sphérules de verre formées à HT dans les roches des Caraïbes



- présence de magnétites nickélifères



-trace d'un impact : cratère de Chicxulub



**IMPACT
METEORITIQUE**



LE PIC D'IRIDIUM, UN INDICE D'IMPACT MÉTÉORITIQUE

L'hypothèse sur le pic d'Iridium permet d'envisager la chute d'un corps d'une **dizaine de kilomètres de diamètre**. Un tel impact provoquant une explosion équivalente à une charge de 100×10^6 mégatonnes de TNT (soit une bombe d'Hiroshima par habitant de la Terre, en comptant 5×10^9 individus), il est aisément concevable qu'il s'accompagne d'une crise biologique majeure !

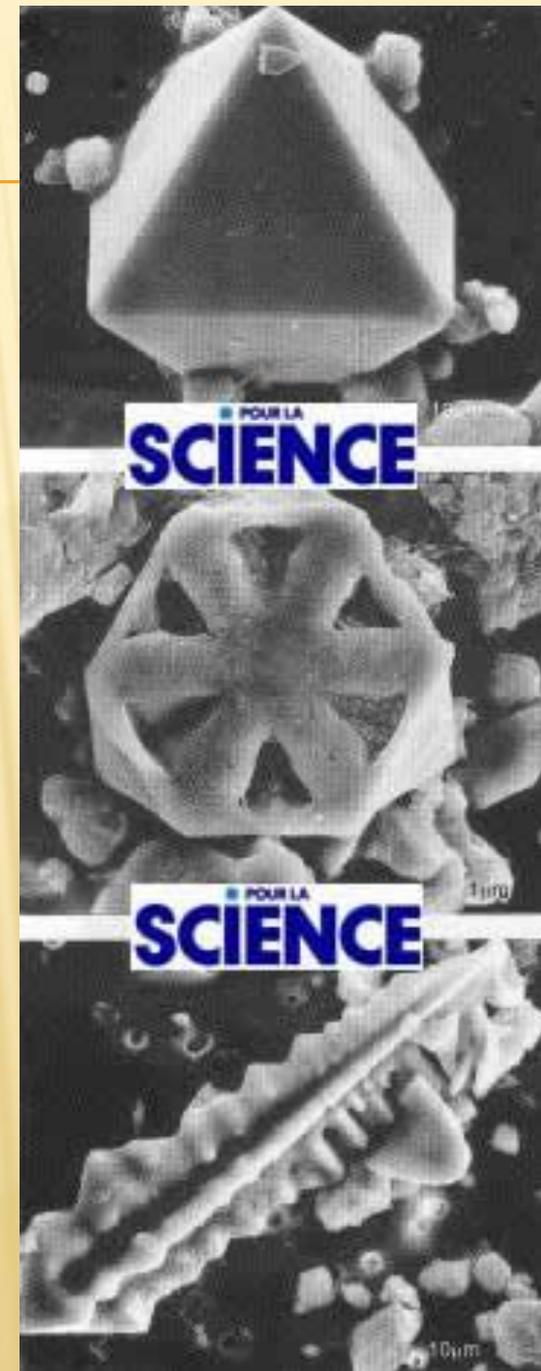


LA MAGNÉTITE NICKÉLIFÈRE

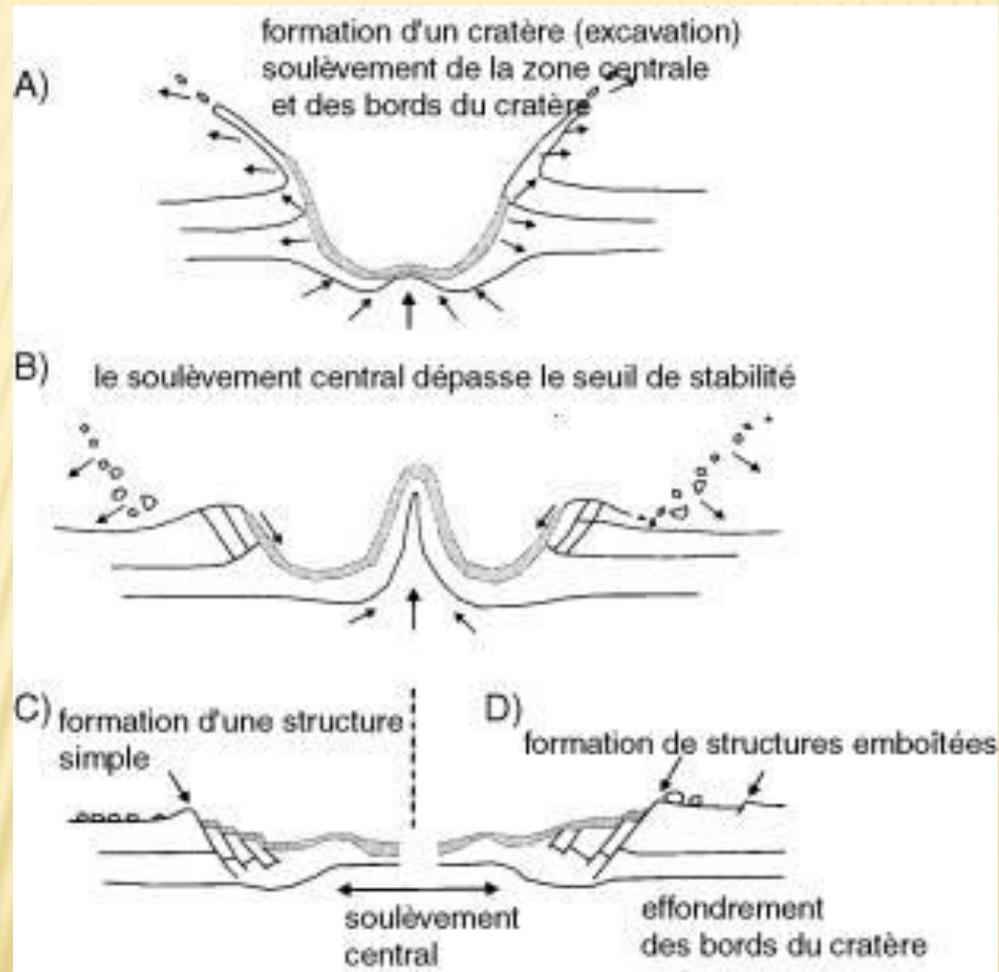
La magnétite nickélifère (ou spinelle nickélifère)

La magnétite nickélifère se présente sous forme de petits minéraux microscopiques octaédriques ou dendritiques. Ces minéraux proviennent de la fusion d'une roche riche en nickel dans un environnement oxydant. De fait, ces minéraux ne peuvent provenir de roches magmatiques terrestres qui sont trop pauvres en Ni. En outre, ces minéraux ne se trouvent pas dans les roches météoritiques riches en Ni mais condensées dans un environnement réducteur. Ces minéraux sont symptomatiques du passage d'une météorite dans l'atmosphère terrestre (milieu oxydant) et se forment au niveau de la croûte de fusion de la météorite.

cristaux de magnétite nickélifère (ou spinelle nickélifère) extraits des sédiments de la limite K-T.

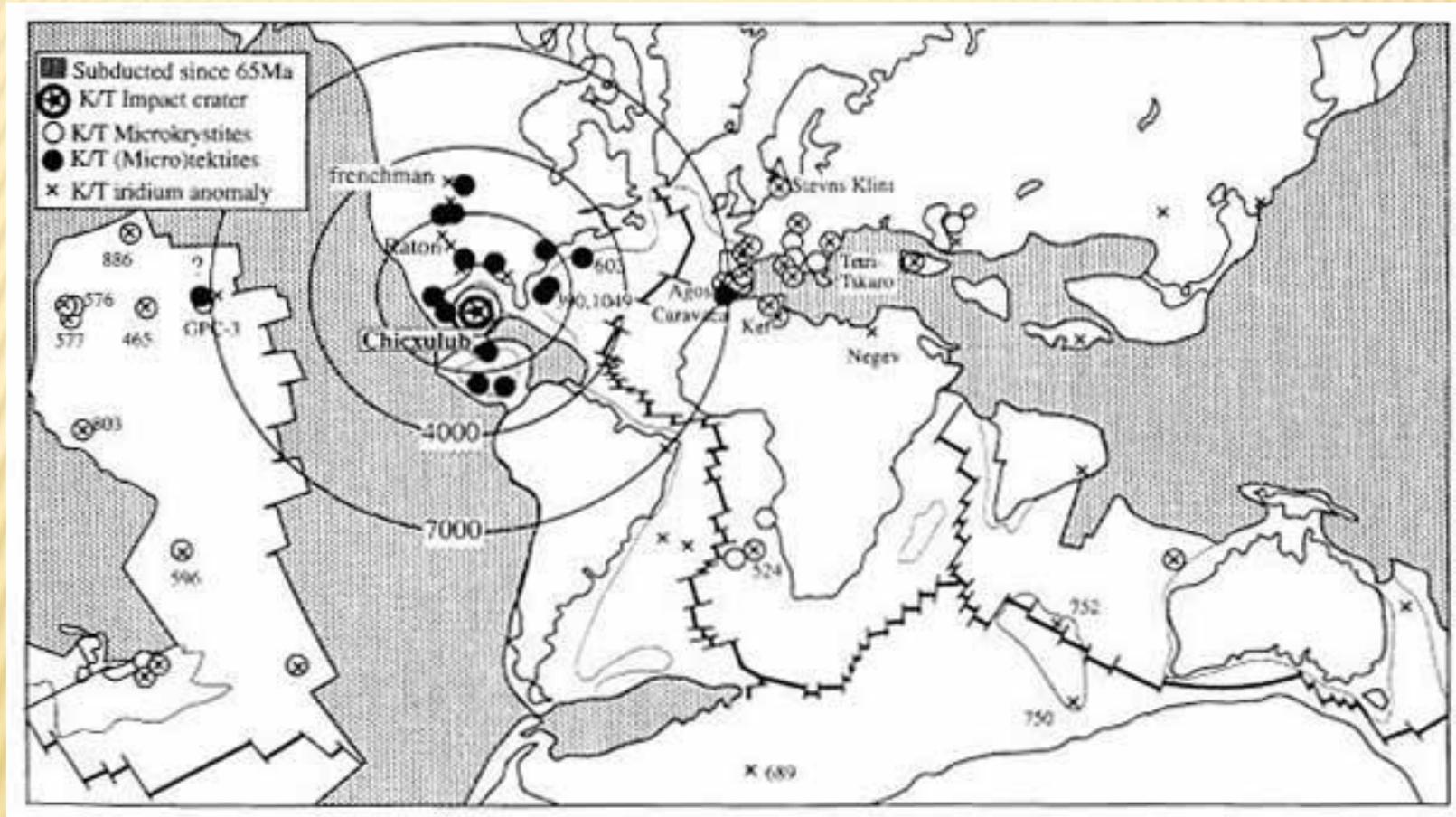


LA RECHERCHE DE LA TRACE DE L'IMPACT



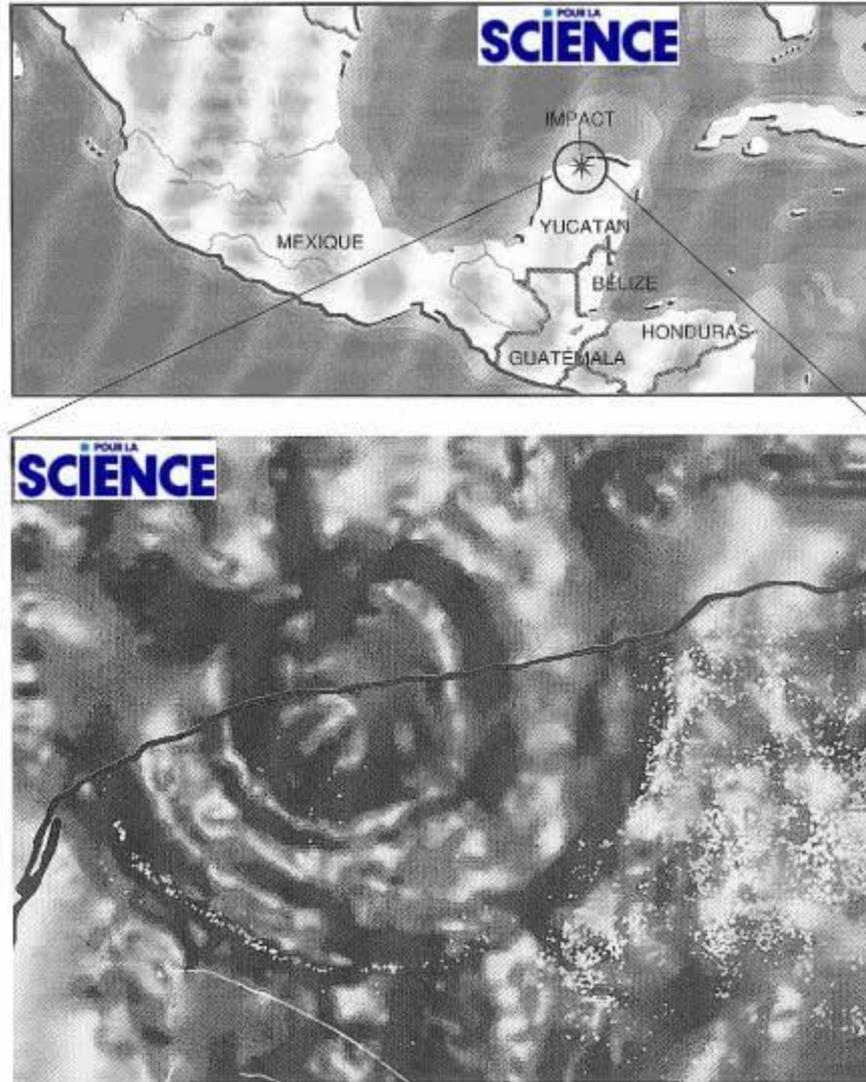
Source : Morgan, J. and Warner, M. 1999, [Chicxulub : the third dimension of a multi-ring impact basin](#), *Geology*, 27, p. 407-410. DOI: 10.1130/0091-7613(1999)027<0407:CTTDOA>2.3.CO;2

Carte de la répartition des minéraux choqués et des anomalies en Ir au niveau des sites d'étude de la limite K-T.



Source : Smit, J. 1999, [The global stratigraphy of the Cretaceous-Tertiary boundary impact ejecta](#), Annu. Rev. Earth Planet. Sci, 27, p. 75-113. doi:10.1146/annurev.earth.27.1.75

Structures concentriques du cratère du Chicxulub révélées par l'étude des anomalies gravimétriques.



Source : Dossier [La Valse des Espèces](#), Juillet 2000, p.110, [Pour La Science](#)

MAIS...

L'iridium peut aussi avoir une origine terrestre, car:

- dépôt simultané d'une couche anormalement riche en Iridium en de nombreux sites plus ou moins éloignés de Chicxulub.
- Découverte d'Iridium dans les produits émis par le piton de la Fournaise (La Réunion)
- anomalie Iridium s'étend de part et d'autre sur une épaisseur de sédiments représentant au moins 50 000 ans.

L'HYPOTHÈSE D'UNE INTENSE ACTIVITÉ VOLCANIQUE

Volume > 10 000 km³ ; l'épaisseur des coulées en moyenne 10 et 50 mètres (voire jusqu'à 150 m). A l'origine, l'ensemble devait recouvrir plus de 2 millions de km², et le volume de lave dépasser 2 millions de km³.
(Rq superficie de la France: 544.435 km²)



La datation des trapps du Deccan par les radio-isotopes => dépôts de coulées pendant un temps bref entre 63 et 68 millions d'années.

LES AUTRES HYPOTHÈSES...

- présence de suie dans les niveaux qui précèdent, qui suivent et qui accompagnent la limite K-T => incendie ravageant les forêts continentales.

- le refroidissement climatique:

=> données isotopiques ^{16}O ^{18}O : ?

=> flore fossile: nb arbres à feuilles à bord denté > nb arbres à feuilles au bord lisse = chute de 10°C

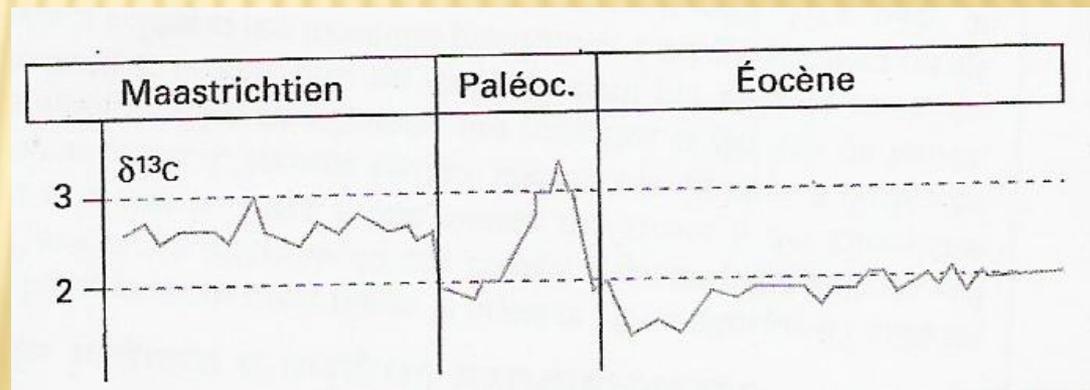
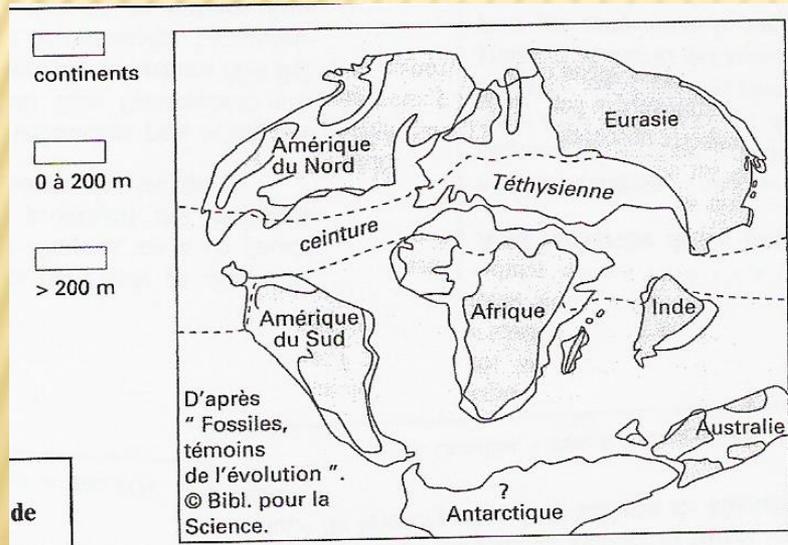
=> disparition des Dinosaures à sang froid, prolifération des Mammifères à sang chaud (thermorégulation...) mais alors les Crocodiliens?

=> nuages d'origine volcanique-> SO_2 -> acide sulfurique dans la stratosphère -> absorption des radiations solaires alors réfléchies dans l'espace.

-Les variations du niveau de la mer:

Très grande régression marine à la fin du Crétacé due à une diminution de l'activité des dorsales (amplitude de la régression = 200 m)

Données du $\delta^{13}\text{C}$: régression marine corrélée à une diminution du $\delta^{13}\text{C}$



Bilan: une des questions fondamentales, une disparition brutale ou graduelle des Dinosaures?

« Les études [...] des **diagrammes d'extinction** des ammonites et des dinosaures sont **compatibles avec une disparition soudaine** à la fin du Crétacé. Compatibilité signifie que, du fait de la **relative rareté des fossiles** de ces animaux, un **lien de cause à effet** entre la catastrophe cosmique et leur disparition n'est peut-être pas démontré, mais que l'existence de ce lien est **possible**, sinon hautement probable.

[...] Il est de première importance d'obtenir des résultats indiscutables sur les diagrammes des extinctions d'espèces de la fin de l'ère secondaire. C'est un travail de longue haleine, qui ne doit pas être limité à l'étude d'un seul continent, mais qui doit **prendre en considération l'ensemble de la planète.** »

Dessin Alain Gassener ©Muséum Genève

R. Rocchia, La Recherche, Juin 1994.



LES DINOSAURES ONT CONNU LA PREMIERE POLLUTION PETROLIERE

ET C'EST PAS
DE MA FAUTE...
MOI JE ROULE BIO

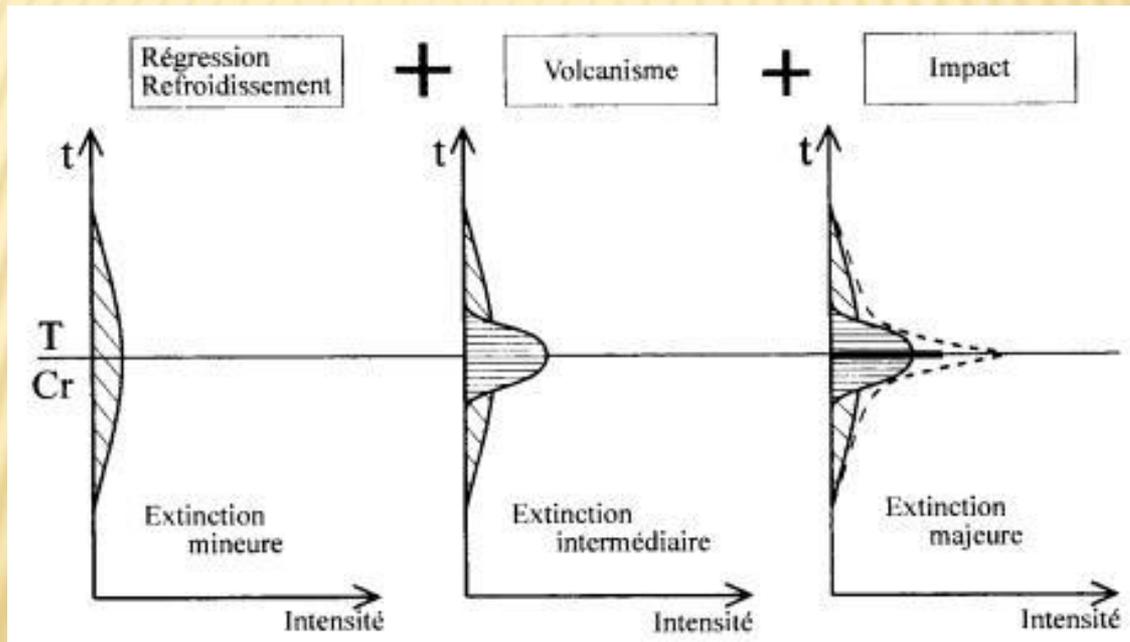


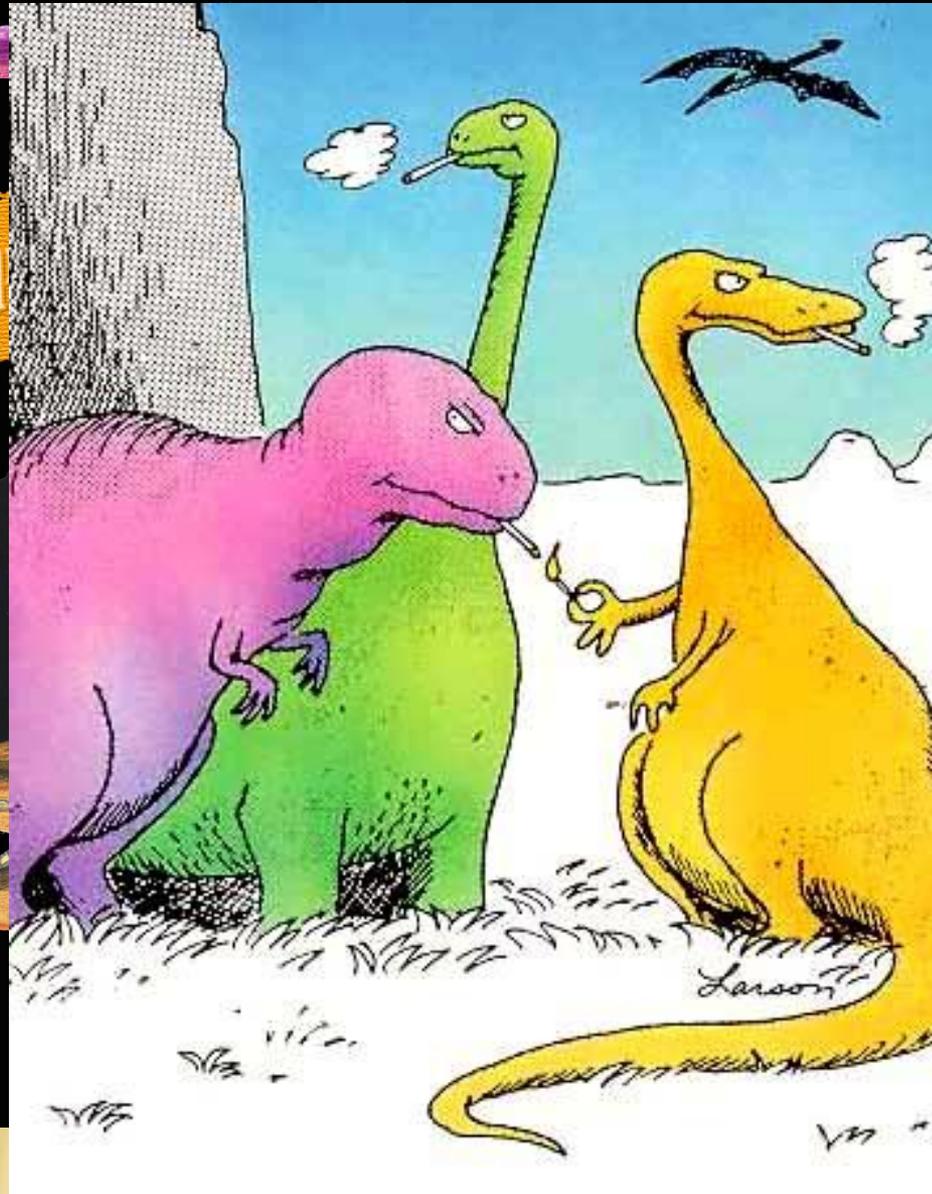
FEY

Conclusion

Une synthèse raisonnable des diverses données accumulées sur les événements exceptionnels de la limite Crétacé–Tertiaire consiste à proposer que la crise biologique majeure serait le résultat de la superposition de plusieurs événements néfastes, contribuant plus ou moins fortement à la disparition de nombre de groupes animaux et végétaux .

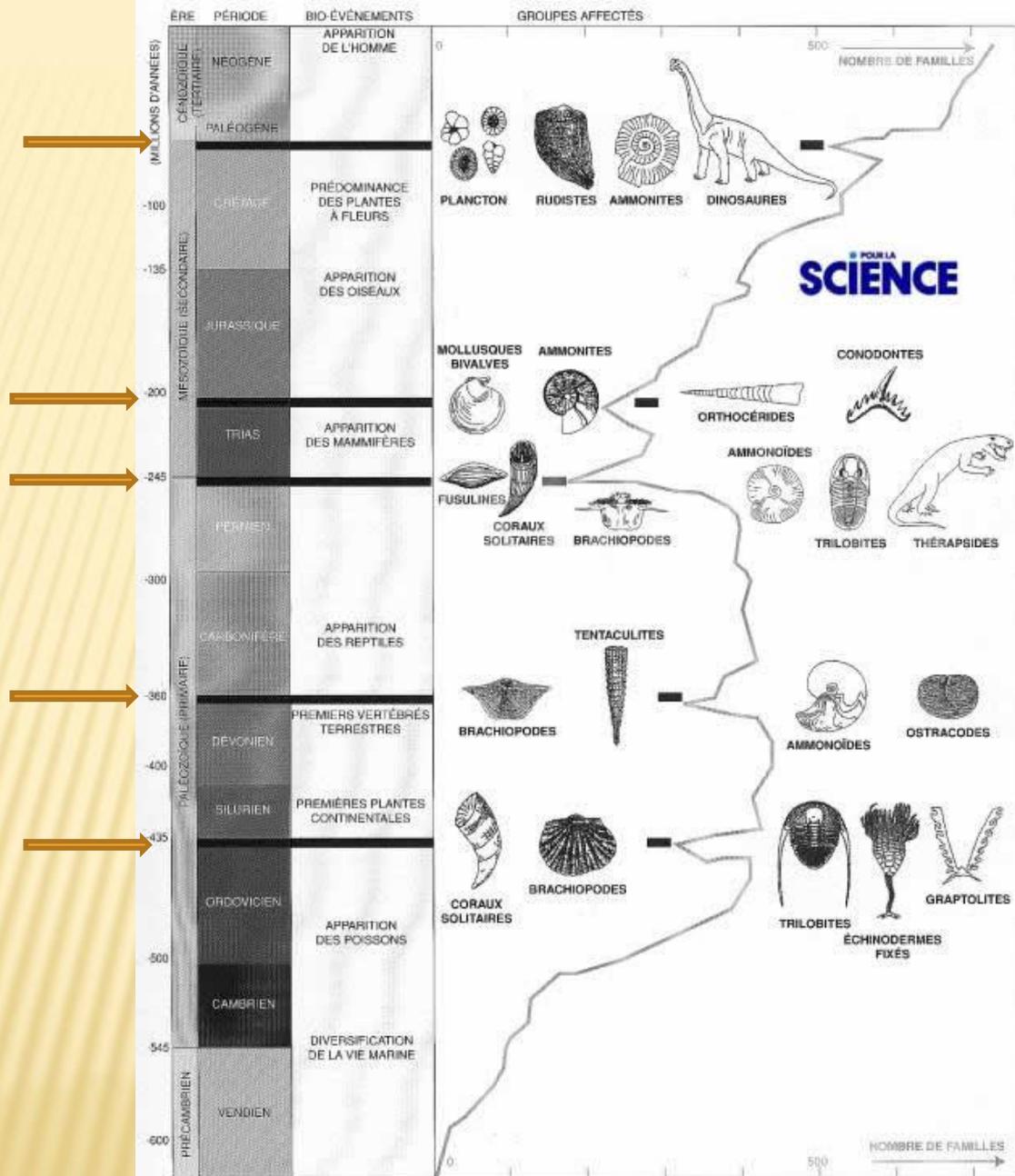
Superposition de plusieurs phénomènes permettant d'expliquer les caractéristiques des extinctions majeures à la limite K-T.





ement

Dessin humoristique de Gary Larson



L'échelle chronostratigraphique: couplage entre évènements biologiques et géologiques au cours du temps...