

Qui a tué les dinosaures ?



La mort est-elle venue du ciel, ou des profondeurs de la Terre?

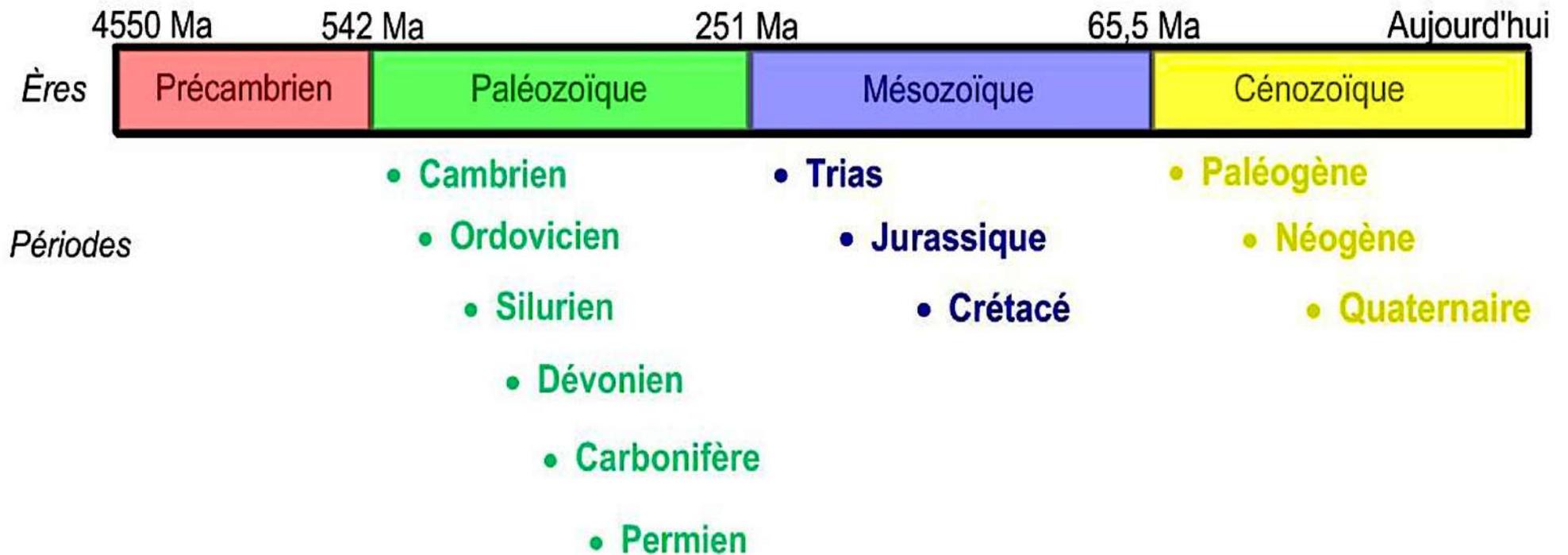
*Par Thierry Juteau -Professeur émérite de l'Université de Brest
Président de la Commission Géologie du CPIE Littoral Basque.*

La grande crise Crétacé-Tertiaire

Avec les dinosaures, plus de 70% des espèces marines et terrestres (et sans doute 80% des individus) ont brutalement disparu à la limite Crétacé – Tertiaire (KT en abrégé), il y a 66 Ma.

Cette *extinction en masse* marque la fin de l'ère secondaire.

De nombreuses espèces nouvelles se sont développées au début de l'ère tertiaire: c'est la fin de l'ère des *Reptiles*, et le début de l'ère des *Mammifères*.



Les ères et périodes géologiques

Apparus au début du Trias juste après la crise PT (la plus grande extinction en masse de tous les temps), les dinosaures vont se diversifier très rapidement en occupant toutes les niches écologiques vides.

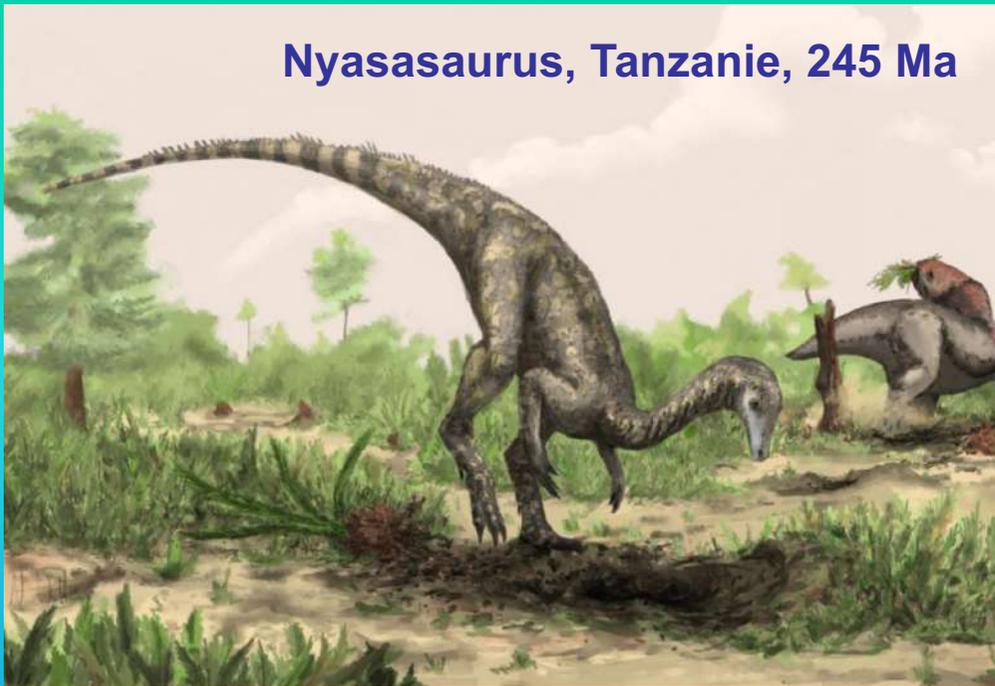
160 Ma plus tard, ils disparaissent brutalement lors de la grande extinction en masse de la crise KT.

La vie n'était pas facile pour les premiers dinosaures !



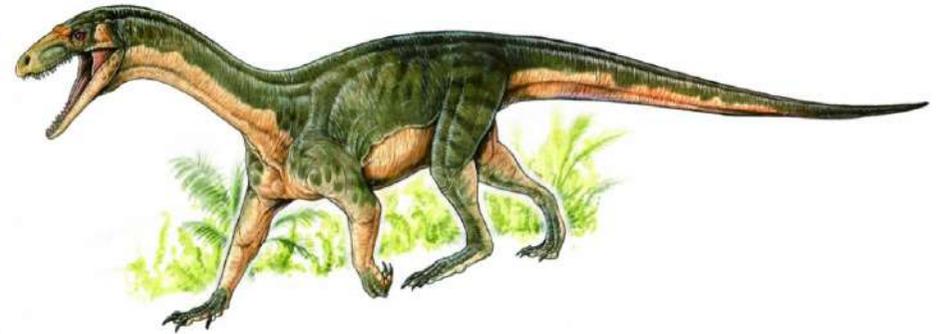
Dromomeron, Trias supérieur (220 Ma), New Mexico (USA).

Nyasaosaurus, Tanzanie, 245 Ma



Les premiers dinosaures du Trias

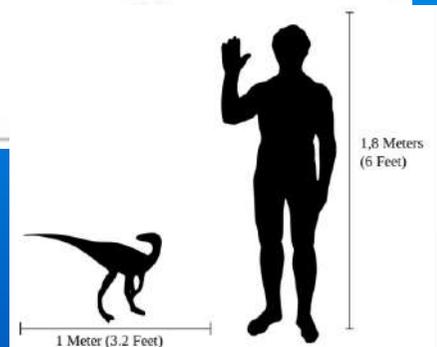
Teleocrater, Tanzanie, 245 Ma



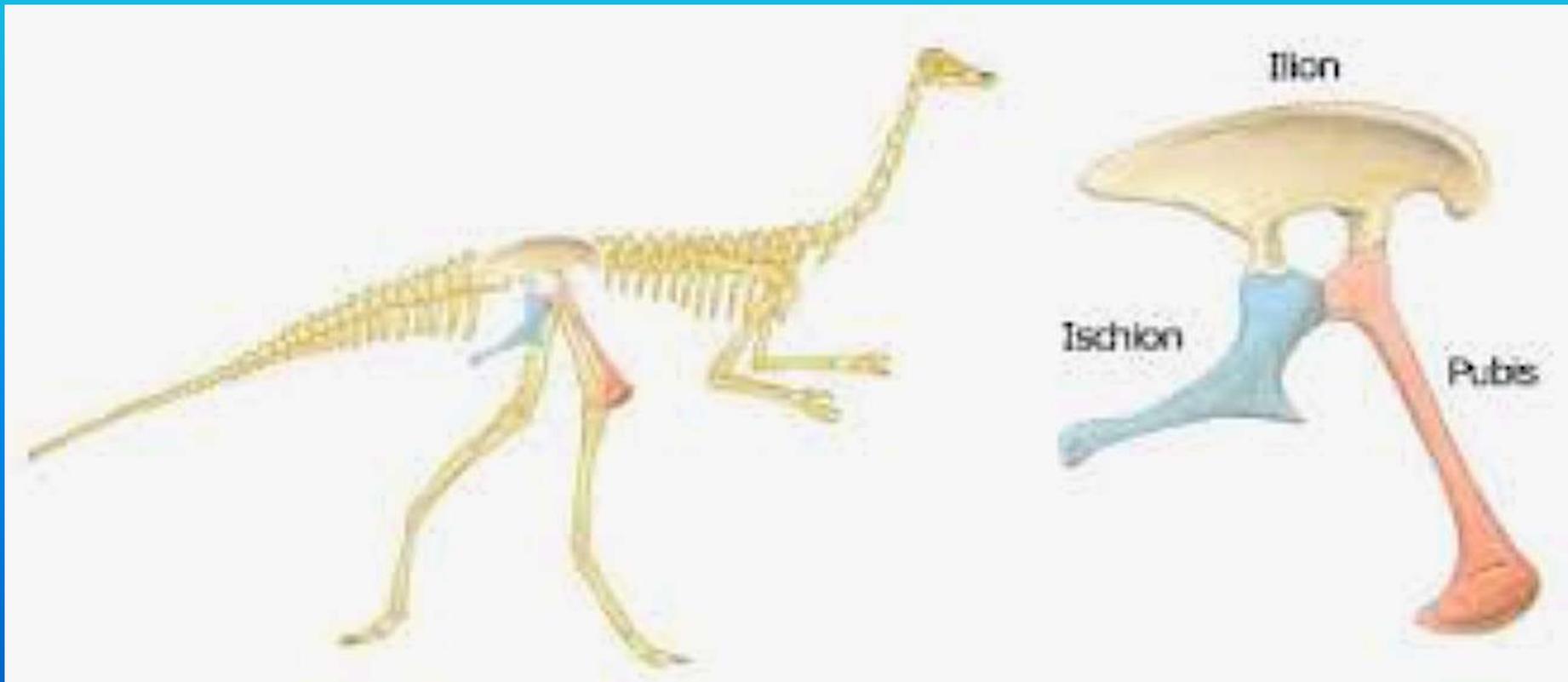
Herrerasaurus, Argentine,
230 Ma



Eoraptor, Argentine,
230 Ma



**Le secret de la suprématie des
dinosaures sur les autres familles
de reptiles : la structure de leur
bassin !**



**Sur tous les continents, les
dinosaures vont pulluler et
régner sans partage pendant 160
Ma !**



Les carnivores



Les herbivores

Dans les mers, les reptiles géants règnent aussi...



Mixosaurus



Mosasaurus



Ophtalmosaurus



Nothosaurus

... ainsi que dans les airs...

Ornithocheirus



Pteranodon



Peteinosaurus



Quetzalcoatlus





Archaeopteryx
(Allemagne, 150 Ma)

**... mais les
dinosaures à
plumes eux aussi
savent voler !**

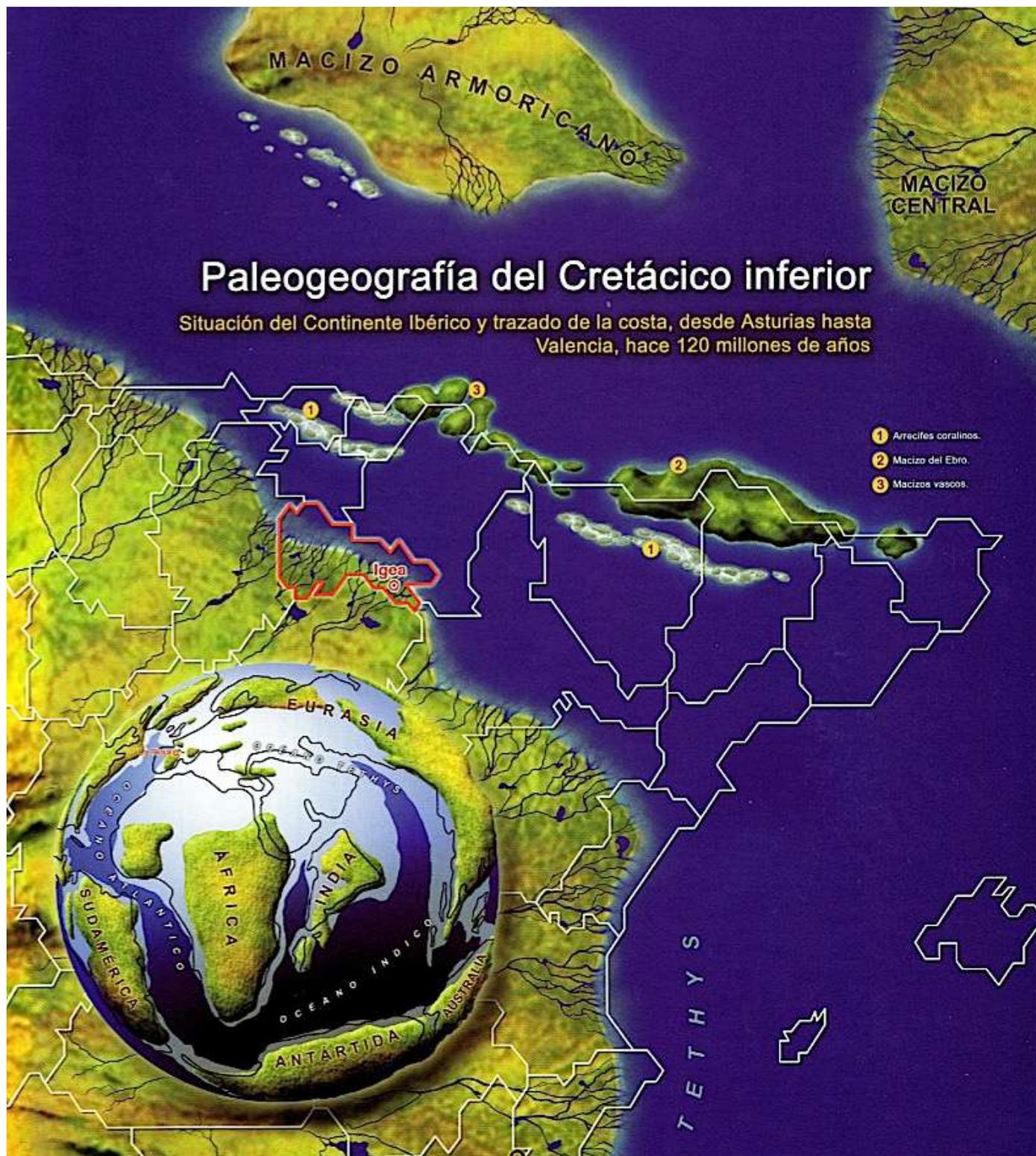


Dinosaure à plumes
"arc en ciel" irisées
(Chine, 160 Ma)

**Ce sont
les
ancêtres
des
oiseaux
actuels.**

La route des dinosaures (province de Rioja)

Des milliers de
dinosaures ont
laissé leurs
empreintes sur
les lagunes
côtières du
Crétacé
ibérique...





La route des dinosaures près de Enciso (La Rioja)



Ici deux pistes de *dinosaures herbivores* se croisent, reconnaissables à leurs pieds massifs et arrondis...



Ici ce sont des pistes de **dinosaures carnivores**, avec leurs griffes à trois doigts...

**80.000 pistes recensées... Les dinosaures pullulent
sur ces lagunes ibériques...**



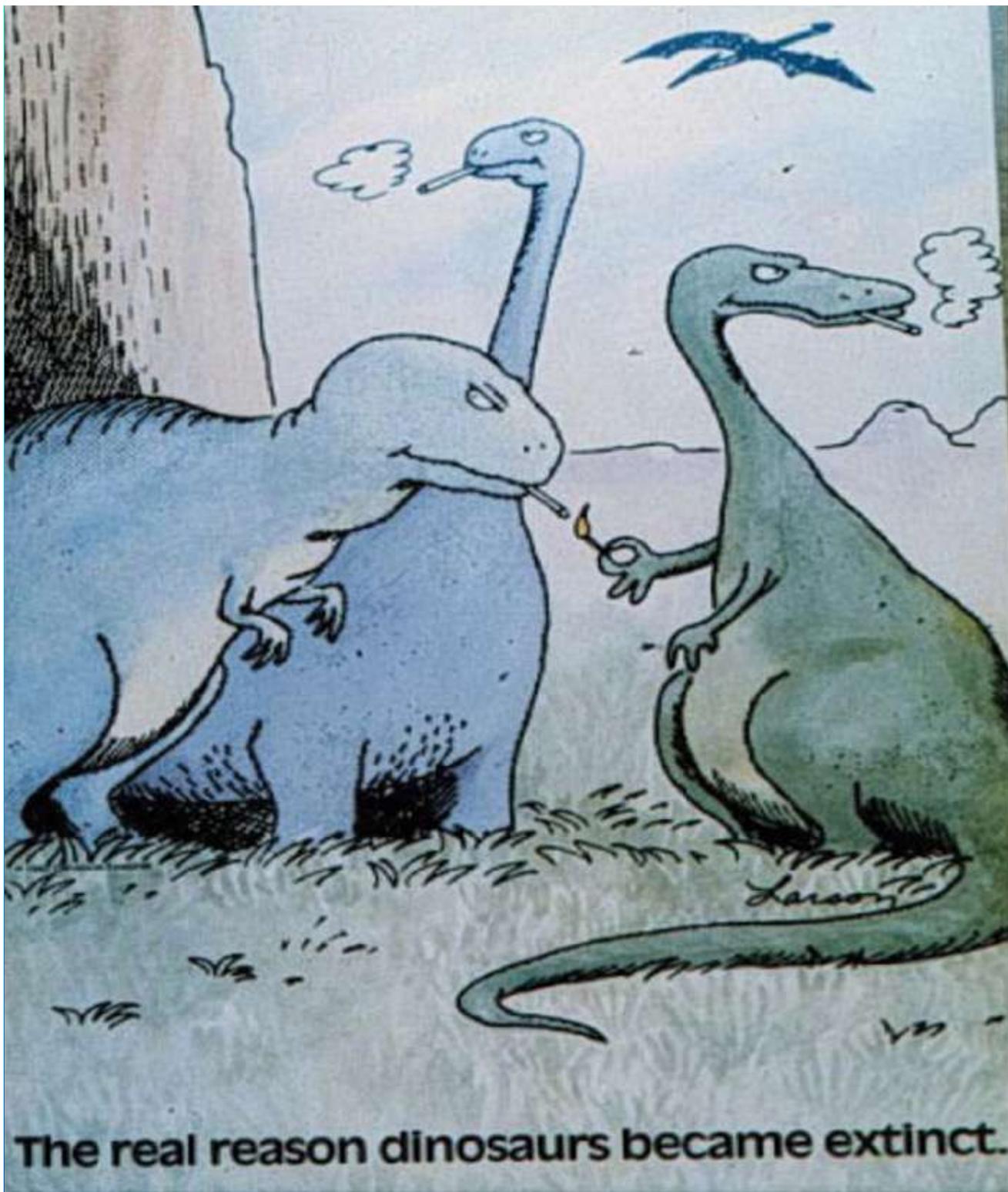
**Sur chaque site du circuit, des reproductions des
dinosaures du lieu, grandeur nature...**

**Et pourtant : dans le monde entier,
aucun dinosaure non aviaire, aucun
reptile géant n'a survécu au passage
Crétacé-Tertiaire.**



POURQUOI ?





The real reason dinosaurs became extinct.

Pendant un
siècle plus
de cent
hypotheses
ou théories
plus ou
moins
farfelues ont
été
proposées...

Le catalogue des causes perdues !

1. Causes internes

- Sénilité, dégénérescence, stérilité.
- Le gigantisme.
- Hormones dérégées.
- Épaisseur variable des coquilles d'oeufs.
- Testicules surchauffées jusqu'à l'impuissance !
- Névroses et suicides collectifs.
- Ils sont devenus stupides ! (moulages de crânes)

2. Causes externes

- Ils n'ont pas pu entrer dans l'arche de Noé !
- Facteurs biotiques : épidémies, intoxications alimentaires (plantes à fleurs).
- Compétition avec les Mammifères.
- Variations climatiques : trop chaud, trop froid, inondations, sécheresses, variations du niveau de la mer.
- Éruptions volcaniques.
- Explosion d'une supernova (1971).
- Chutes de météorites (dès 1956).

En 1979, c'est l'impasse !

Constatation de Dale Russell (1979), dans son article
"The Enigma of the Extinction of the Dinosaures":

Plus d'une centaine de théories ont été émises :
aucune n'est convaincante, toutes sont réfutables.

Toutes sont basées sur la certitude que la Terre a
toujours fonctionné comme elle le fait aujourd'hui :
c'est la théorie de l'*uniformitarisme*.

**Aucune ne mène à des prédictions
vérifiables !**

Et si c'était l'explosion d'une supernova ?

Dale Russell et Walter Tucker (1971) :
*"Supernovae and the extinction of the
dinosaurs"* (revue *Nature*)

Pour la toute première fois, une
catastrophe d'origine cosmique est
invoquée... dans l'indifférence générale.

Du côté marin, que savons-nous aujourd'hui de

la crise K/T ?

Les falaises de la côte basque ont fourni de précieuses données...

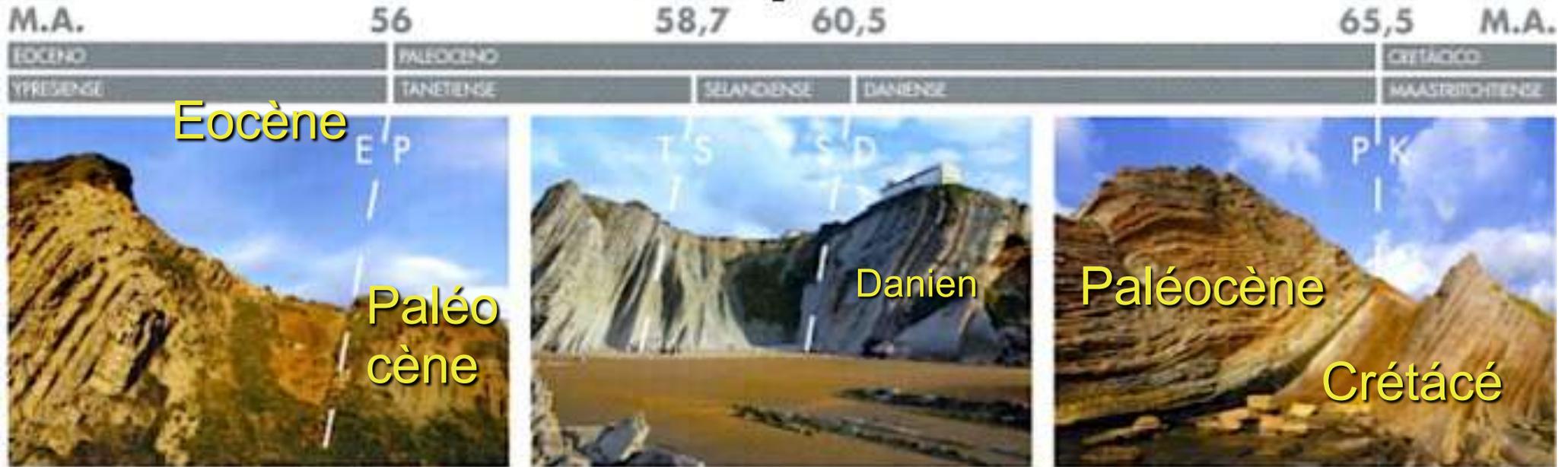
Le Flysch de la Côte basque



De Biarritz à Bilbao, les falaises de la côte basque sont constituées par une seule formation sédimentaire : le **Flysch de la Côte basque**.

Ces sédiments se sont lentement accumulés de façon continue au fond de la mer pendant environ 60 Ma (en gros, de -110 à -50 Ma), et **ont donc enregistré la crise KT.**

ZUMAIA : Autour de la plge d'Izurun, une sédimentation continue pendant plus de 10 millions d'années...





La chapelle San Telmo domine les falaises de flysch datant du début du tertiaire.

Le site de la couche K/T à Zumaia





**Calcaires durs
(Danien)**

**Couche
K/T
(argiles
tendres)**

**Calcaires marneux roses
(Maestrichtien)**

La limite Crétacé-Tertiaire à Zumaia

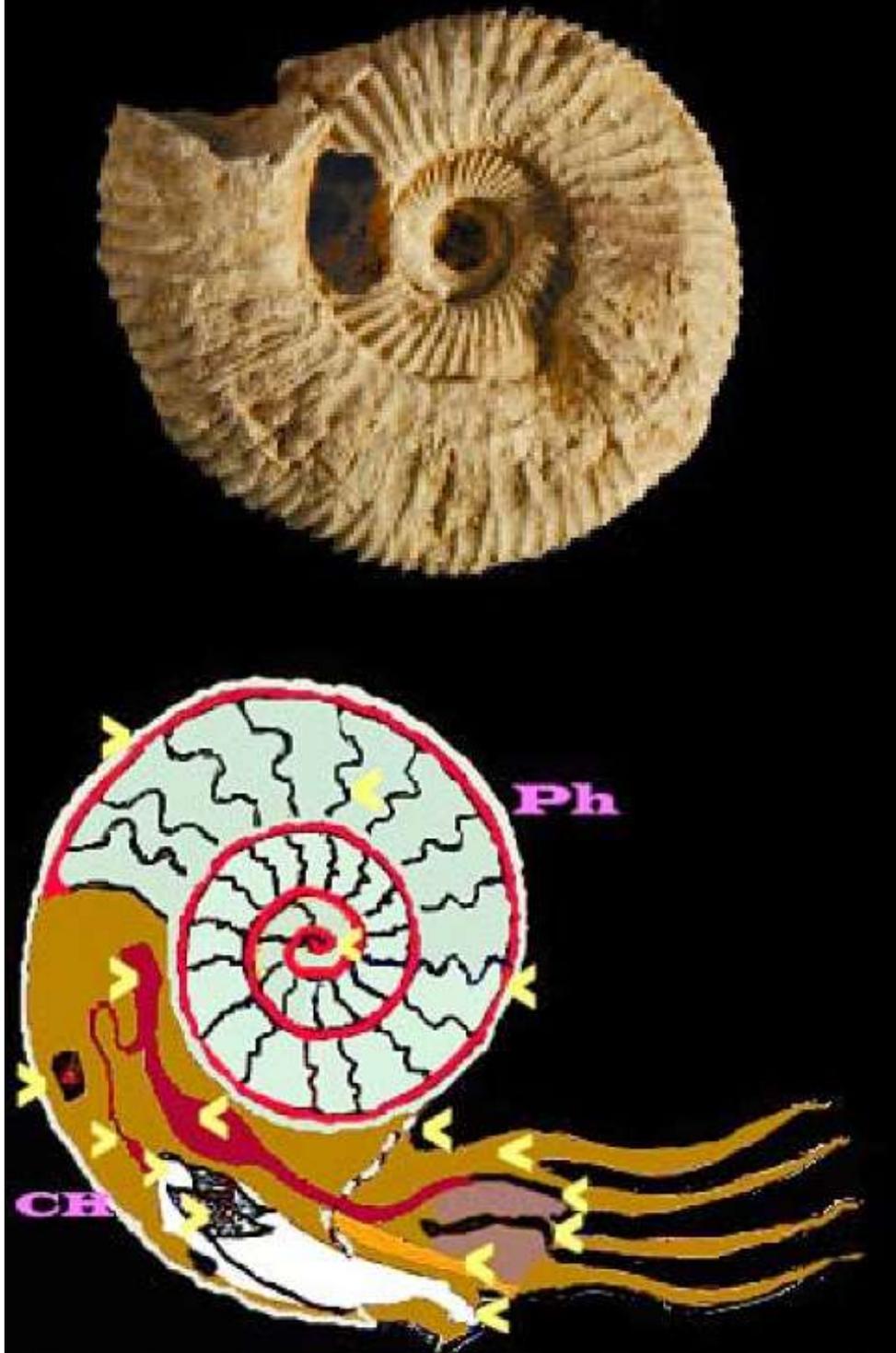


Zoom sur la couche K/T de Zumaia

**Que signifient ces
10 cm d'argiles
tendres,
dépourvues de
fossiles et de
carbonates?**

**Il n'y a pas que les
dinosaures qui
disparaissent à la
limite K/T...**

- Les Ammonites, qui pullulaient dans les océans mésozoïques, disparaissent elles aussi brutalement à la fin du Crétacé.





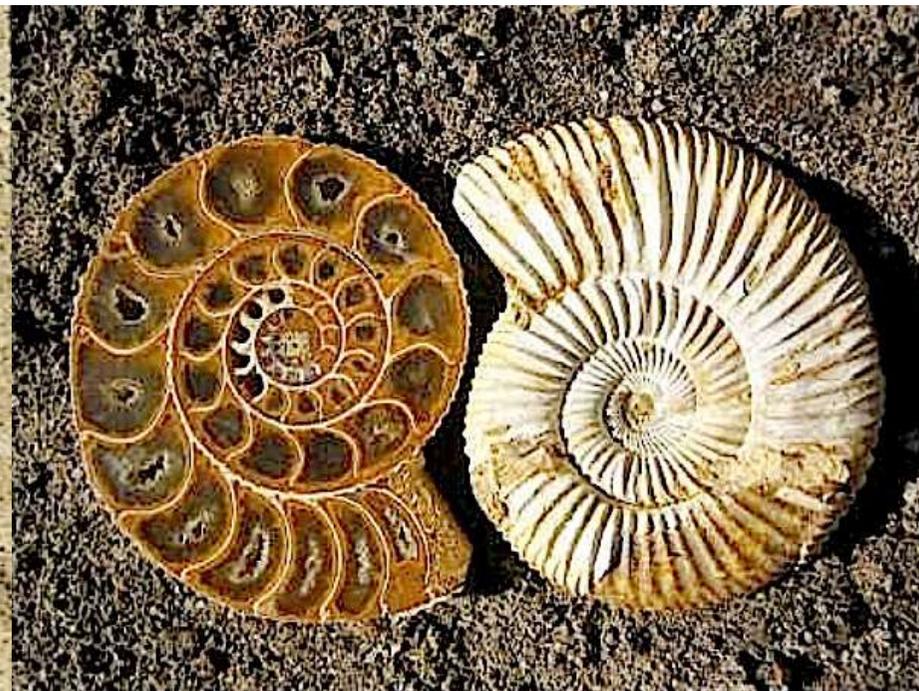
Ammonite



Inocérame



Oursins



La macrofaune du flysch crétaé
(sous la couche K/T)

**Sur la côte basque
française, la couche
K/T apparaît deux
fois, à Hendaye et à
Bidart.**

**Mais les séismes pyrénéens et l'érosion l'ont
presque complètement fait disparaître des
falaises.**

La couche K-T dans la Baie de Loya en 2005...



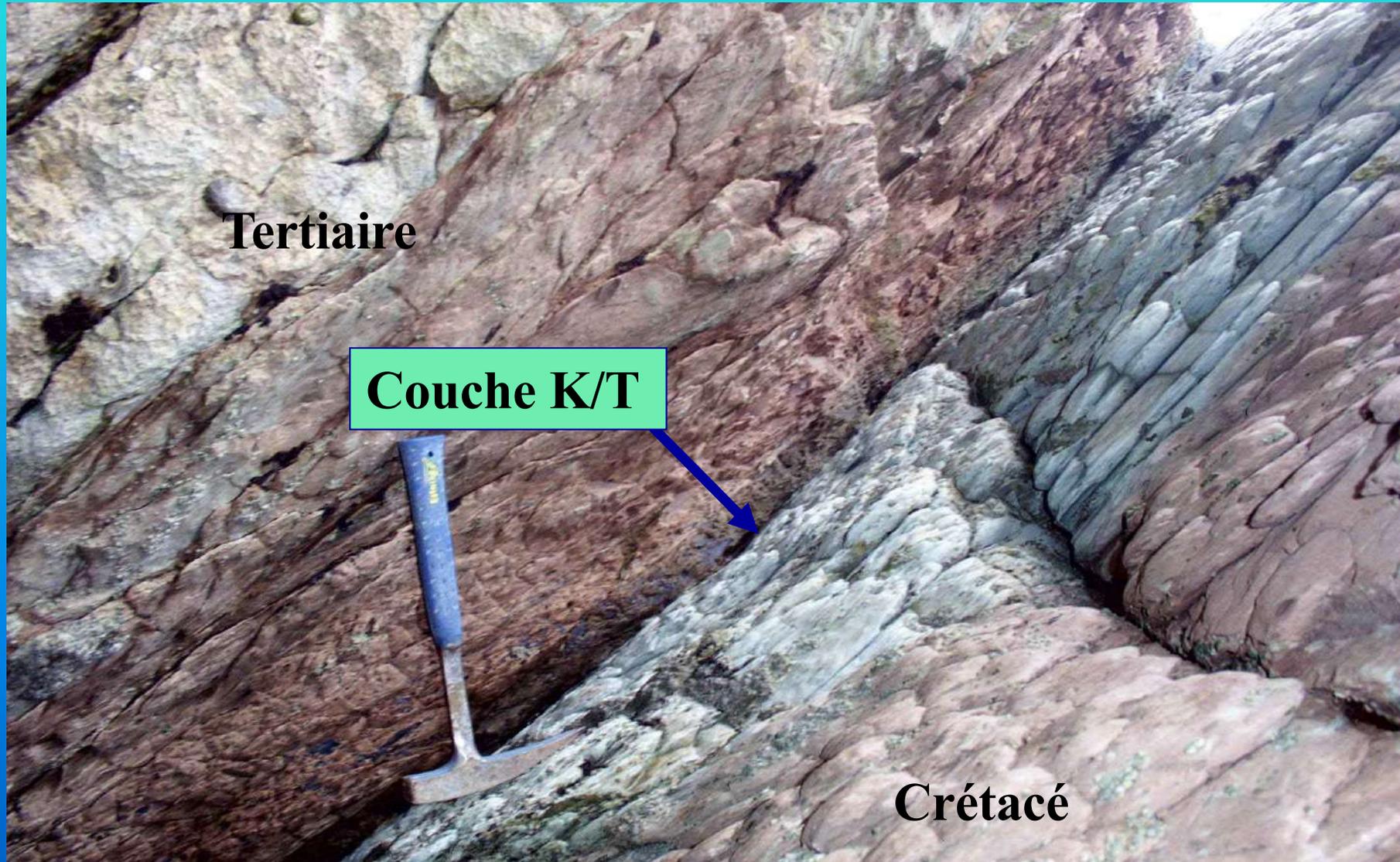
La couche KT dans la baie de Loya, telle qu'on pouvait la voir avant 2005...

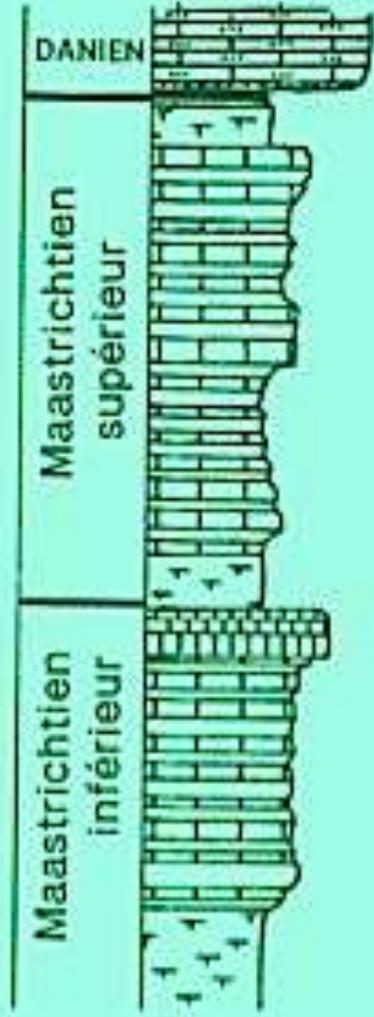




La couche K/T aujourd'hui, dans la baie de Loya, est ensevelie sous un amas d'éboulis...

Zoom sur la limite K/T : une mince couche d'argile de 5 cm d'épaisseur





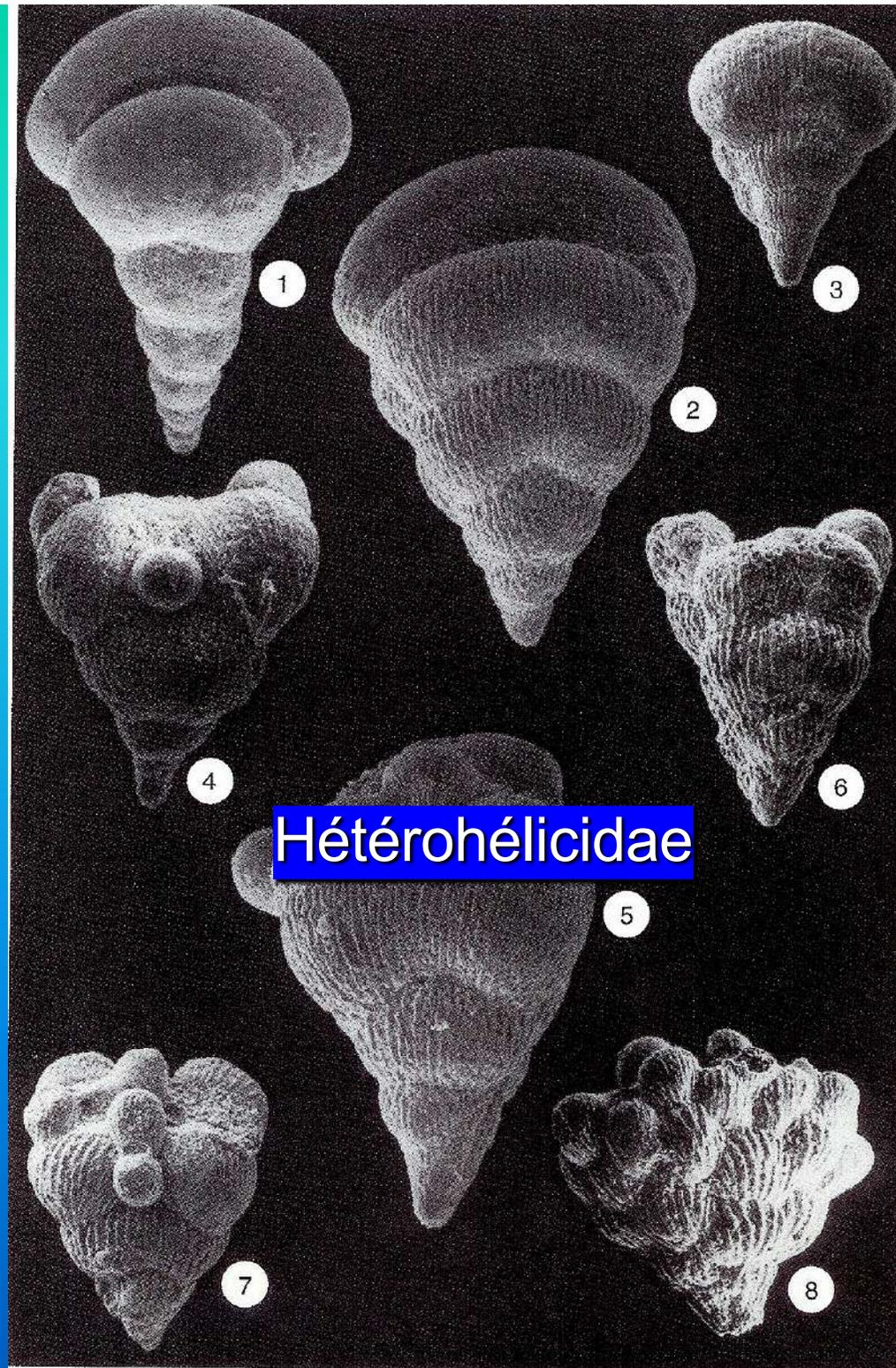
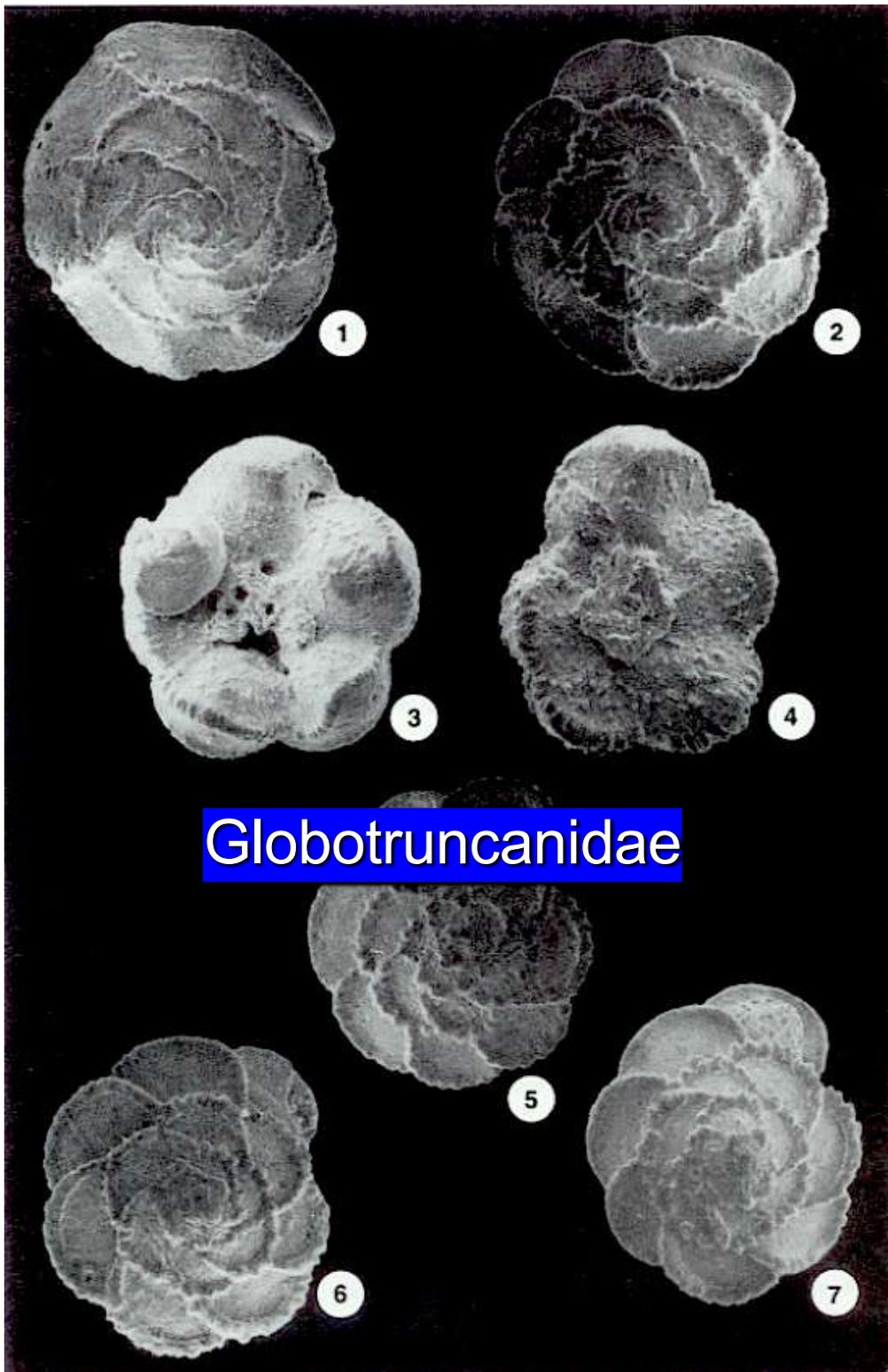
■ présence de l'espèce
 — existence encore statistiquement possible

Dans le flysch de la baie de Loya, 23 espèces d'Ammonites disparaissent brutalement à la limite K/T.

**Et le plancton
microscopique est
complètement renouvelé !**



**La microfaune du flysch crétaé : microfossiles
(Foraminifères) récupérés après un lavage de marnes.**



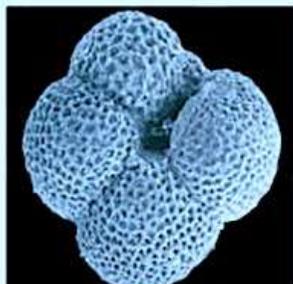
-71,3 Ma **K** -65,5 Ma **T** -61,7 Ma

groupes	genres	Crétacé			Tertiaire		
		Santonien	Campanien	Maestrichtien	Danien	Montien	Thanétien
Hétérohélécidés	Heterohelix						
	Pseudotextularia						
	Racemiguembelina						
Globotruncanidés	Hedbergella						
	Globotruncana						
	Abathomphalus						
Globigérinidés	Globigerina						

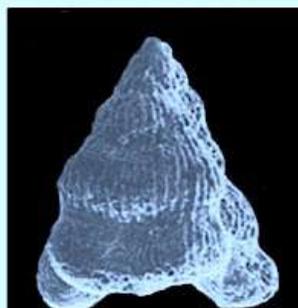
Le plancton fossile dans le flysch de la baie de Loya.



Globotruncana
taille : entre 1mm et 0,25mm –
photo fiche ECE



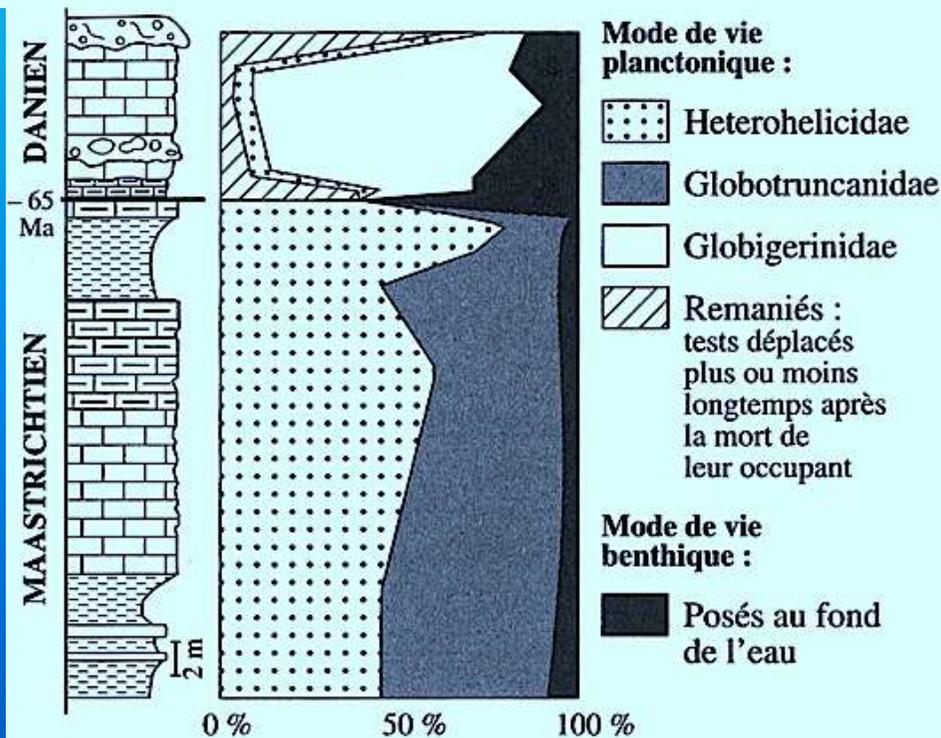
Globigerina
Ø approximatif : 0,25mm
photo fiche ECE



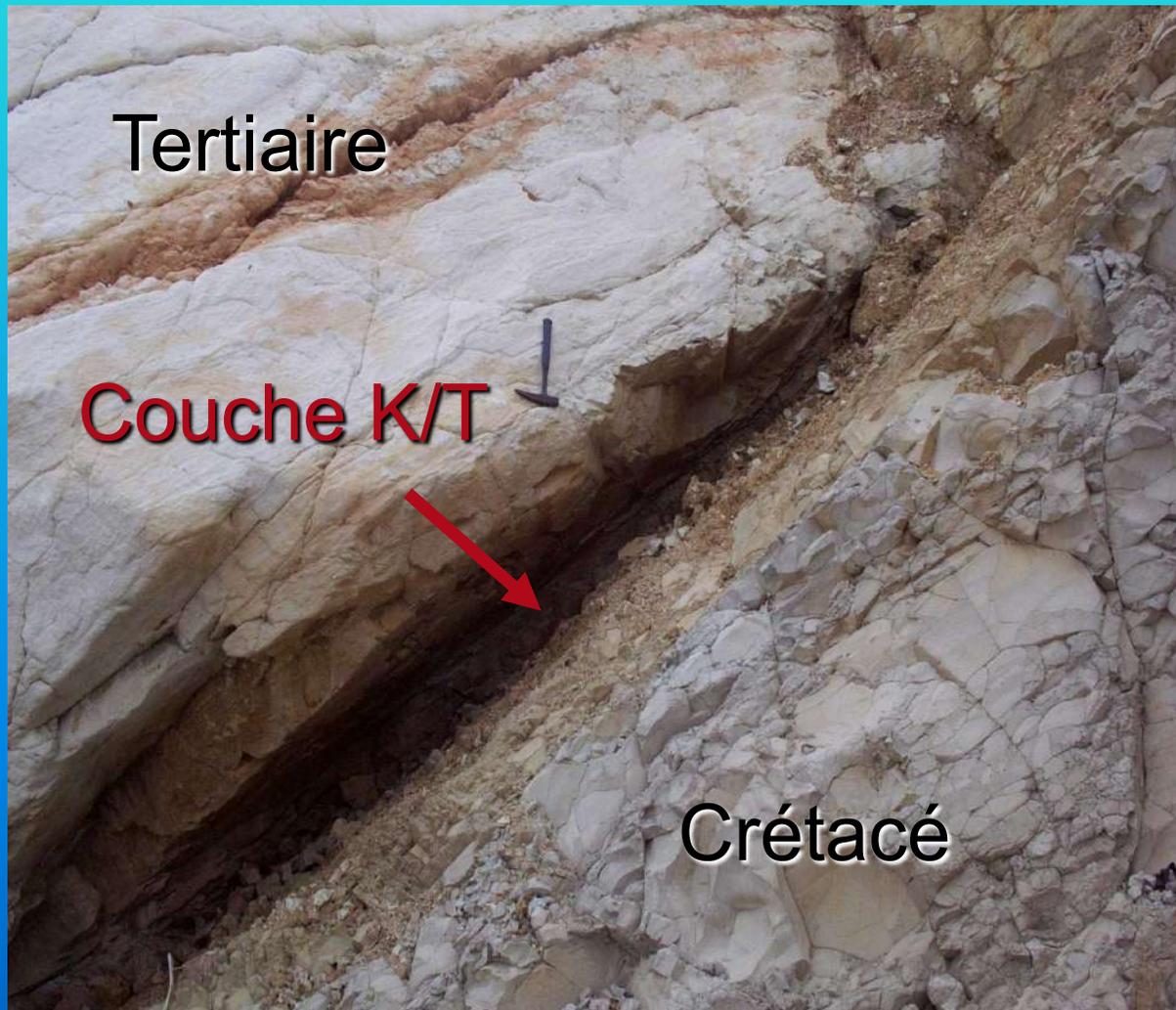
Heterohelix
photo fiche ECE

0,5 mm

Comme à Zumaia, on observe un renouvellement complet de la microfaune au-dessus de la limite K/T.

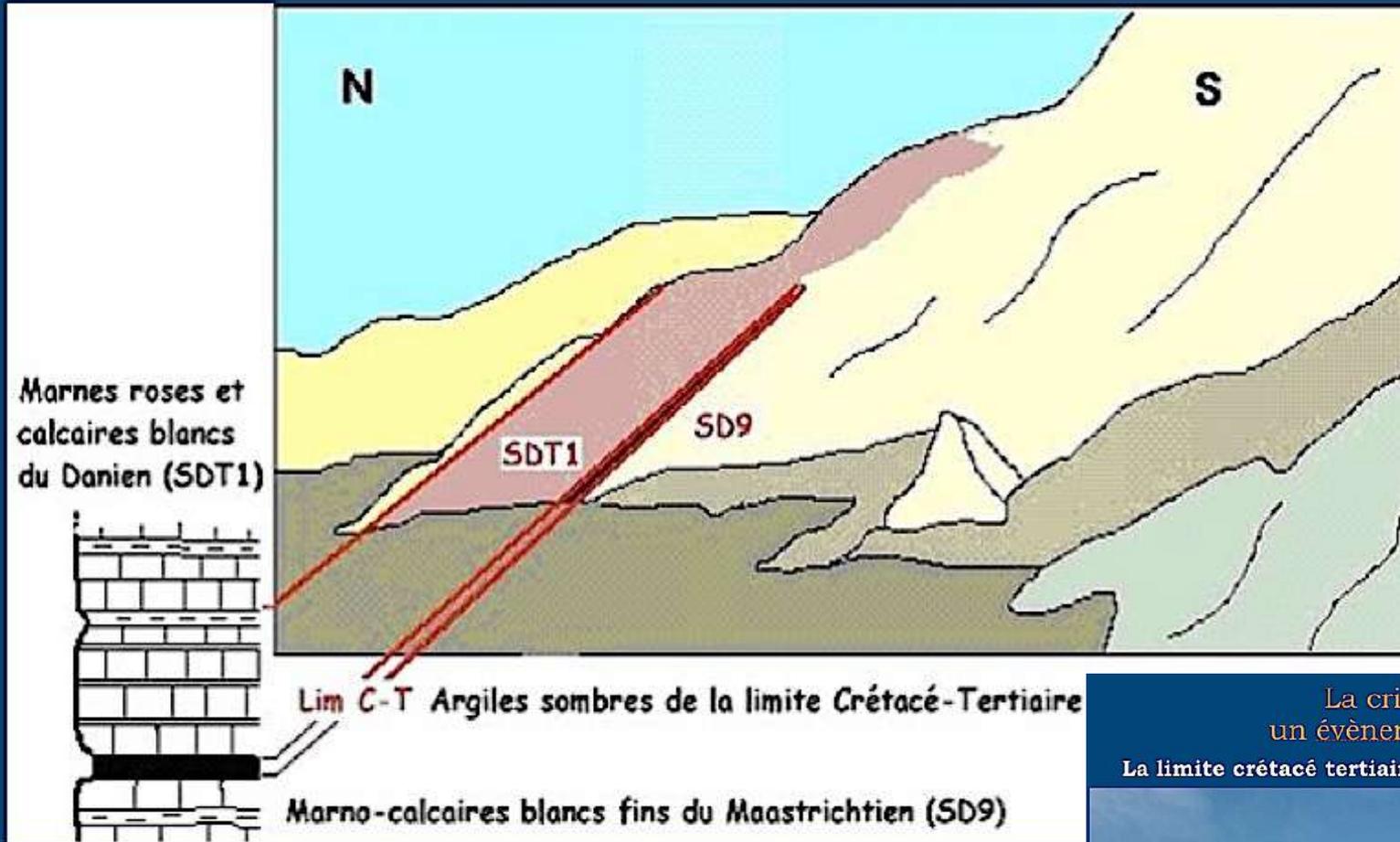


La couche K/T à Bidart...



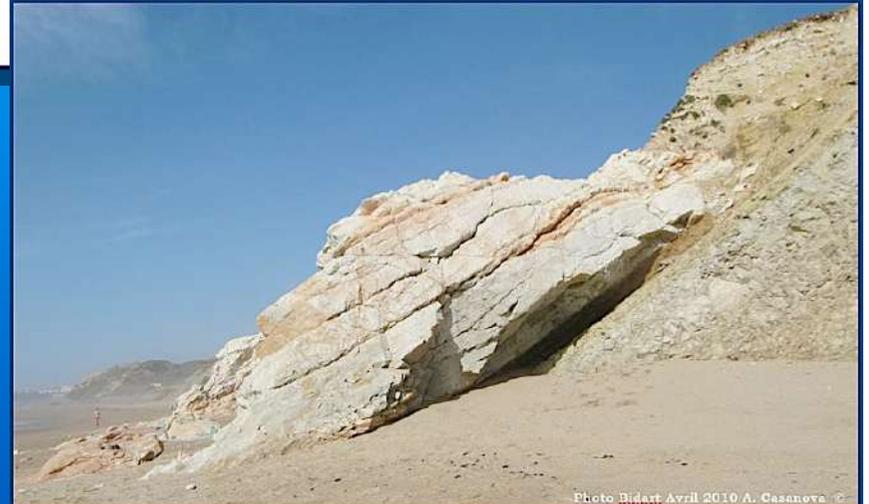
- Plage de Caseville, on trouve la même couche d'argile sombre à la limite Crétacé - Tertiaire

Coupe géologique de Bidart



La crise crétacé tertiaire
un évènement biologique majeur
La limite crétacé tertiaire en domaine marin: le site de Bidart

**La couche KT dans
les falaises de la
plage de Bidart**



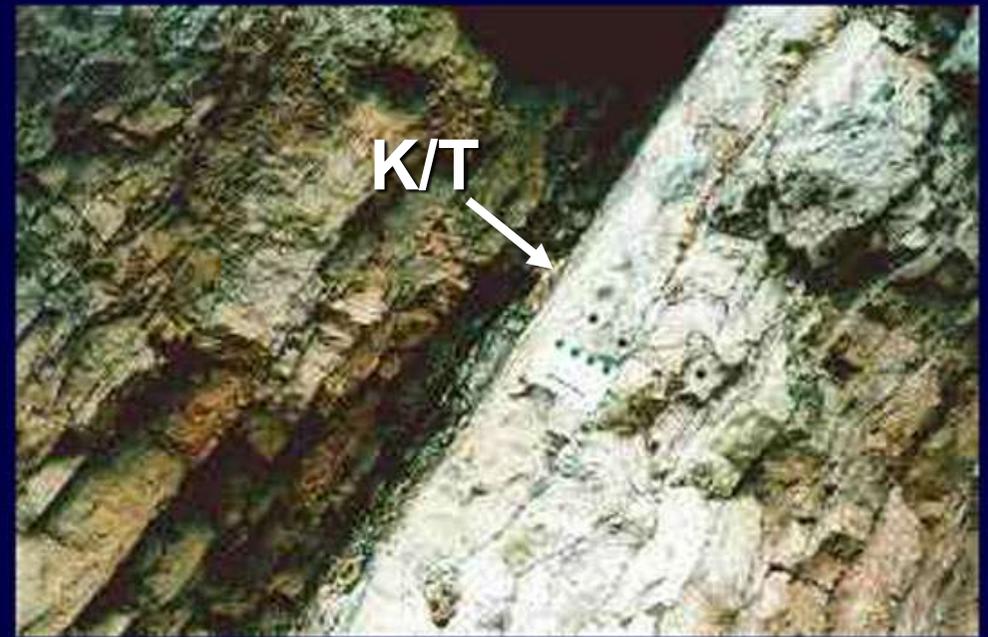
**Mais c'est de l'Italie que
va surgir une donnée
nouvelle sidérante...**

**Histoire d'une découverte
totalement inattendue !**

La ville de Gubbio en Toscane



A view from a hill. Town of Gubbio.



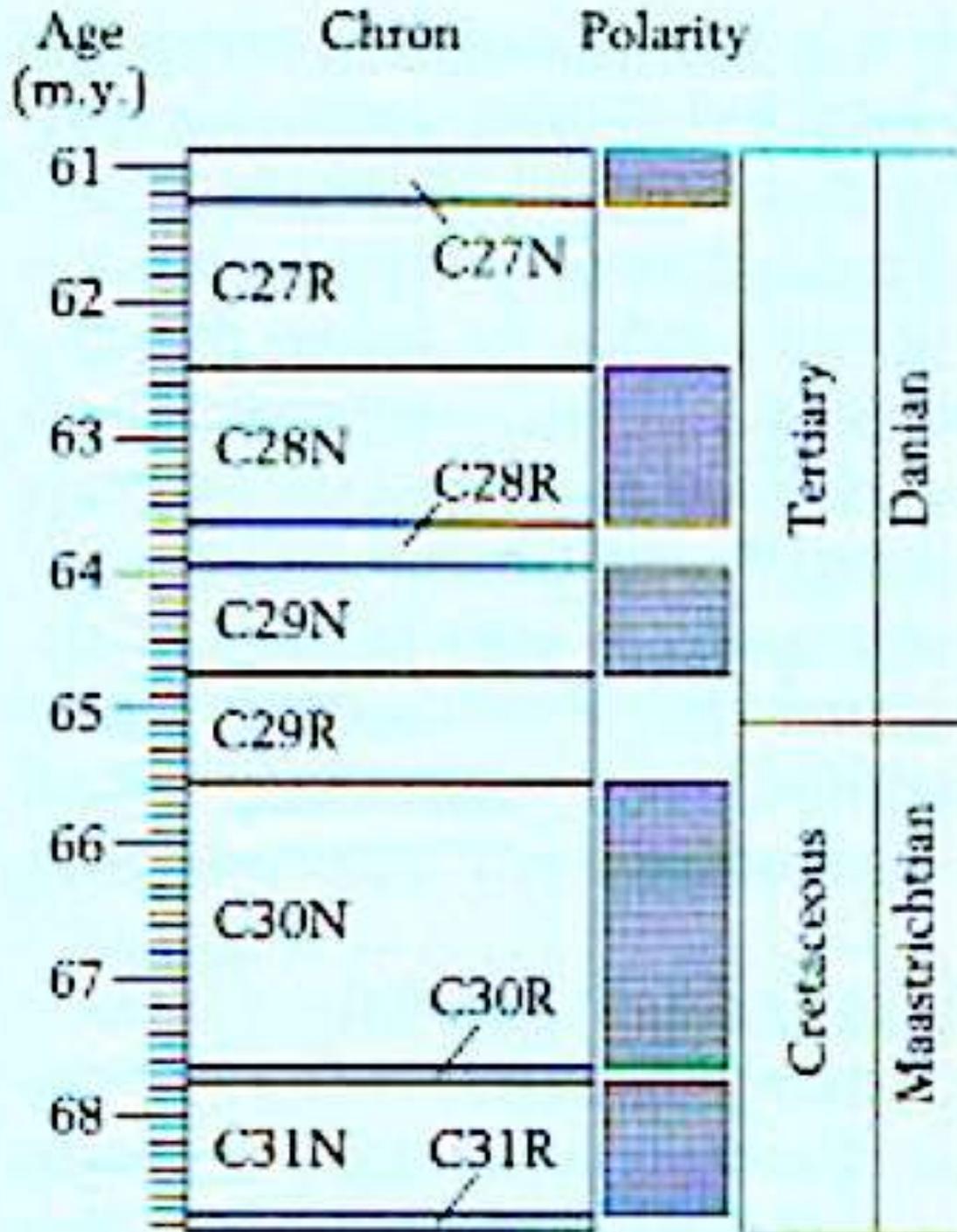
Close-up view of K/T boundary with scale card



Luis Alvarez

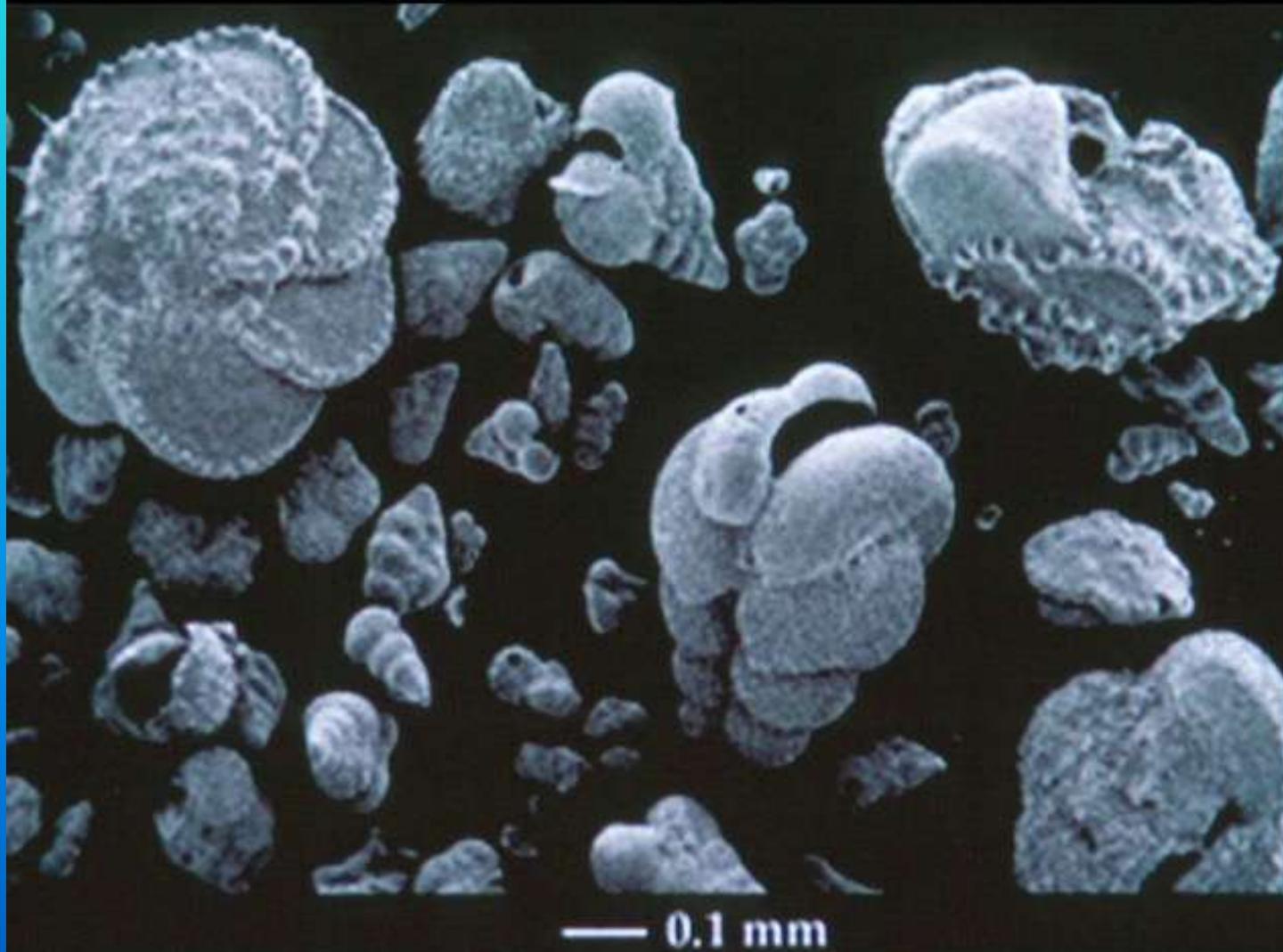
Que fait le jeune géologue américain Walter Alvarez dans les Apennins ?

Il étudie les inversions du champ magnétique terrestre enregistrées dans les sédiments roses, riches en fer, du Crétacé supérieur des Apennins, les célèbres "scaglia rossa".

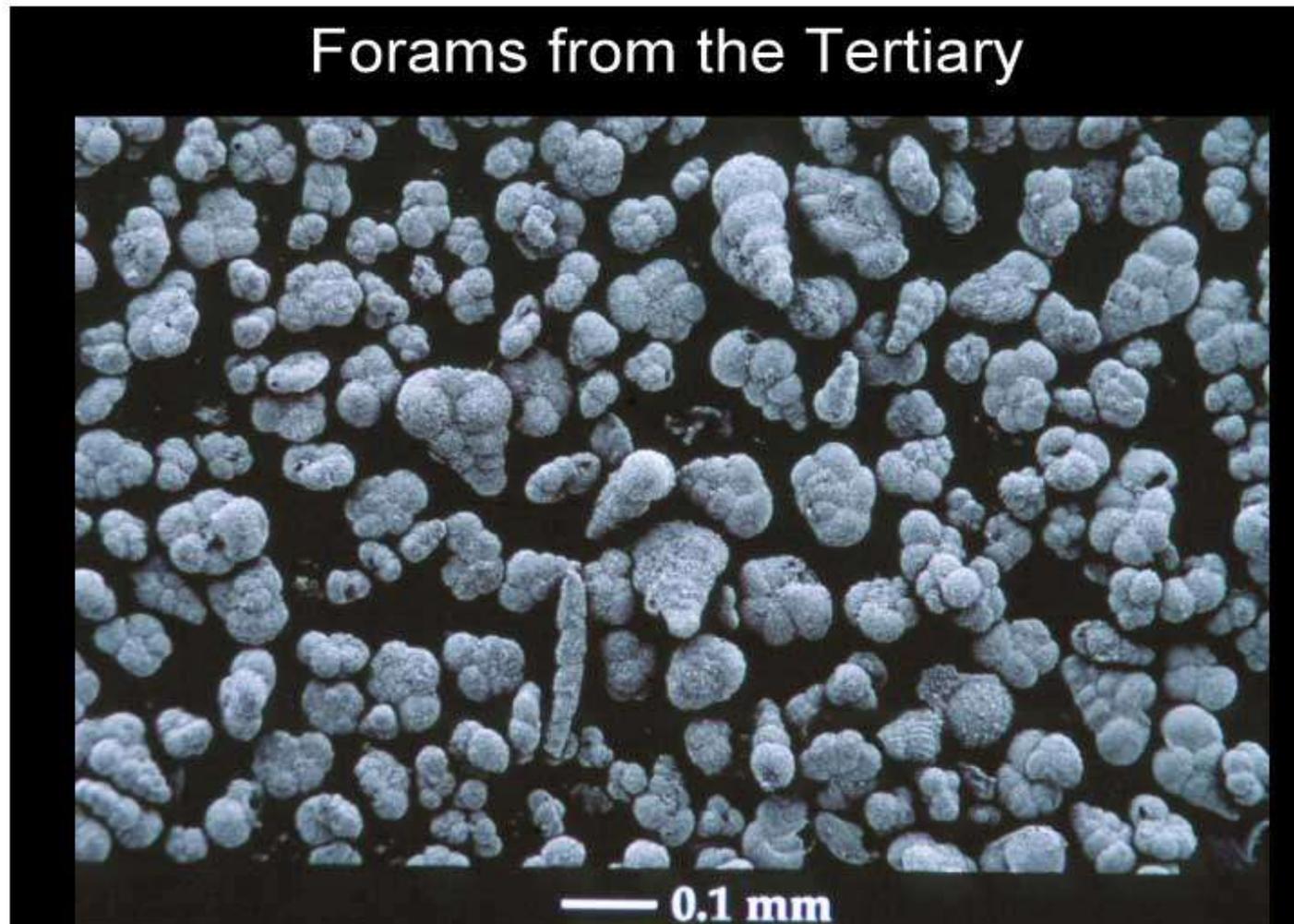


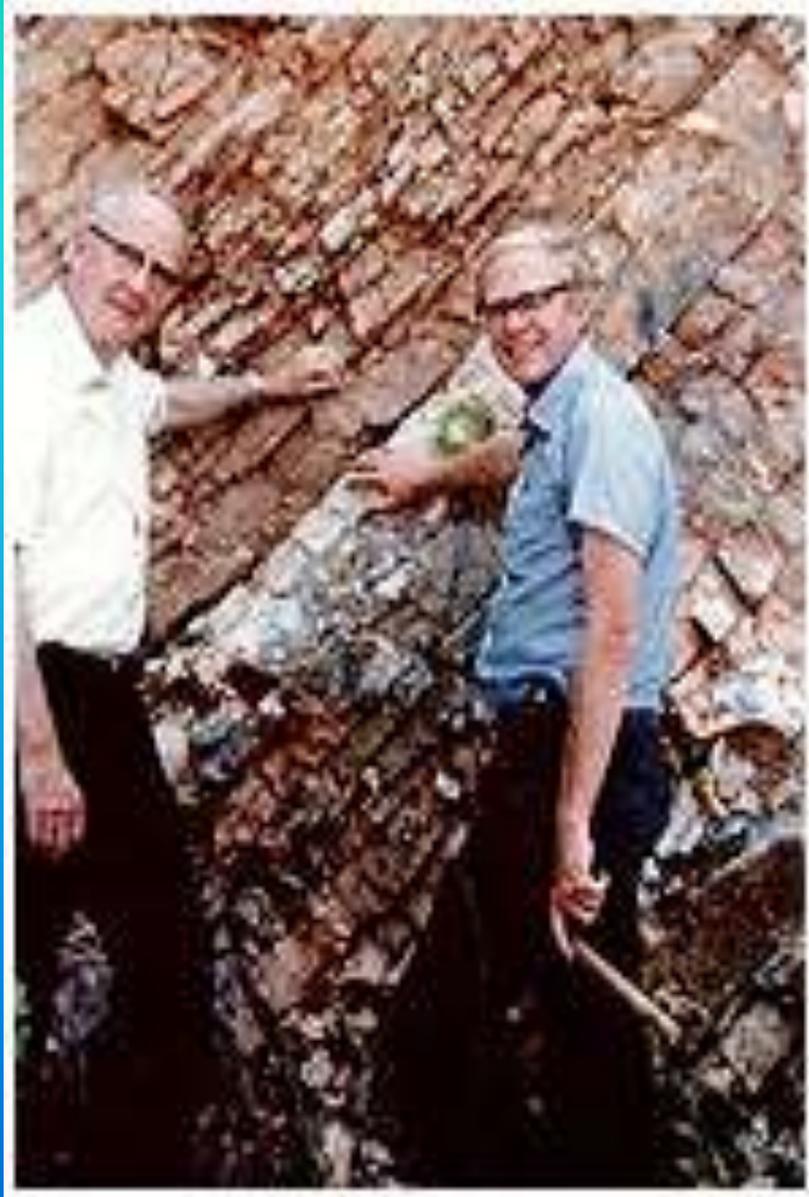
Sous la couche K/T de Gubbio : un plancton riche et diversifié...

Forams from the Cretaceous



**Juste au-dessus de la limite K/T:
un plancton pauvre en espèces, et
rachitique ...**





C'est en 1980 que le prix Nobel de physique Luis Alvarez et son fils Walter Alvarez, géologue, publient la première **anomalie d'iridium** dans la couche K-T à Gubbio, dans les Apennins en Italie.

C'est quoi l'iridium?

1																	2
H																	He
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
11	12											13	14	15	16	17	18
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110								
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun								

Iridium

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Legend

Li Solid	Cs Liquid	Ar Gas	Nb Synthetic
Alkali metals	Alkali earth metals	Transition metals	Rare earth metals
Other metals	Noble gases	Halogens	Other nonmetals

- C'est un métal, l'élément n°77.
- Il appartient à la famille des **platinoides**.
- Il est quasi inexistant dans l'écorce terrestre.
- Mais sa présence est significative dans les météorites.

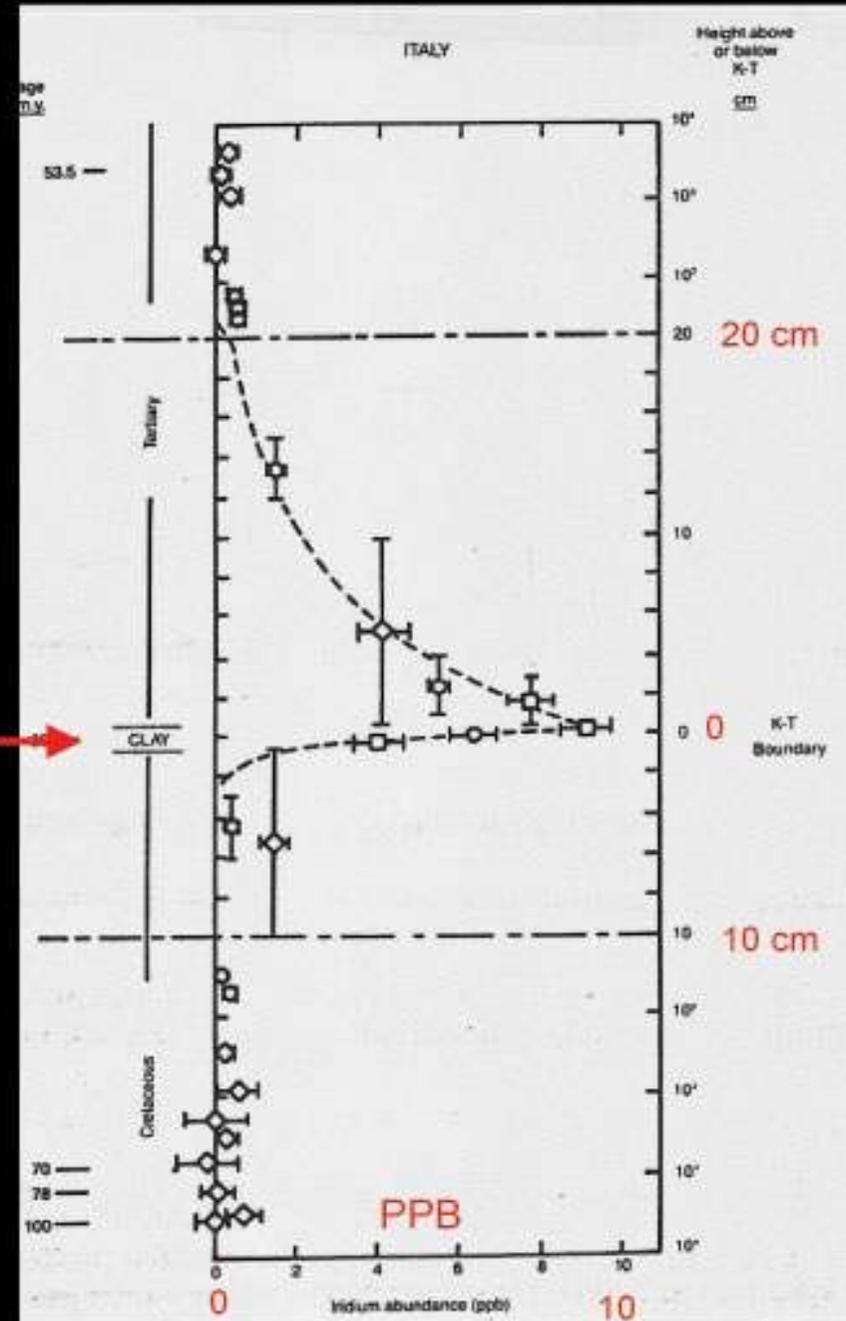
Le physicien Luis Alvarez propose à son fils Walter de doser l'iridium dans la couche K/T de Gubbio afin d'évaluer le temps qu'elle a mis à se déposer.

L'idée géniale est de se servir du taux moyen d'iridium apporté aux océans par la pluie continue de micrométéorites !

Iridium anomaly
in the K/T rocks
at Gubbio, Italy,
in parts per
billion (PPB).

K/T
boundary

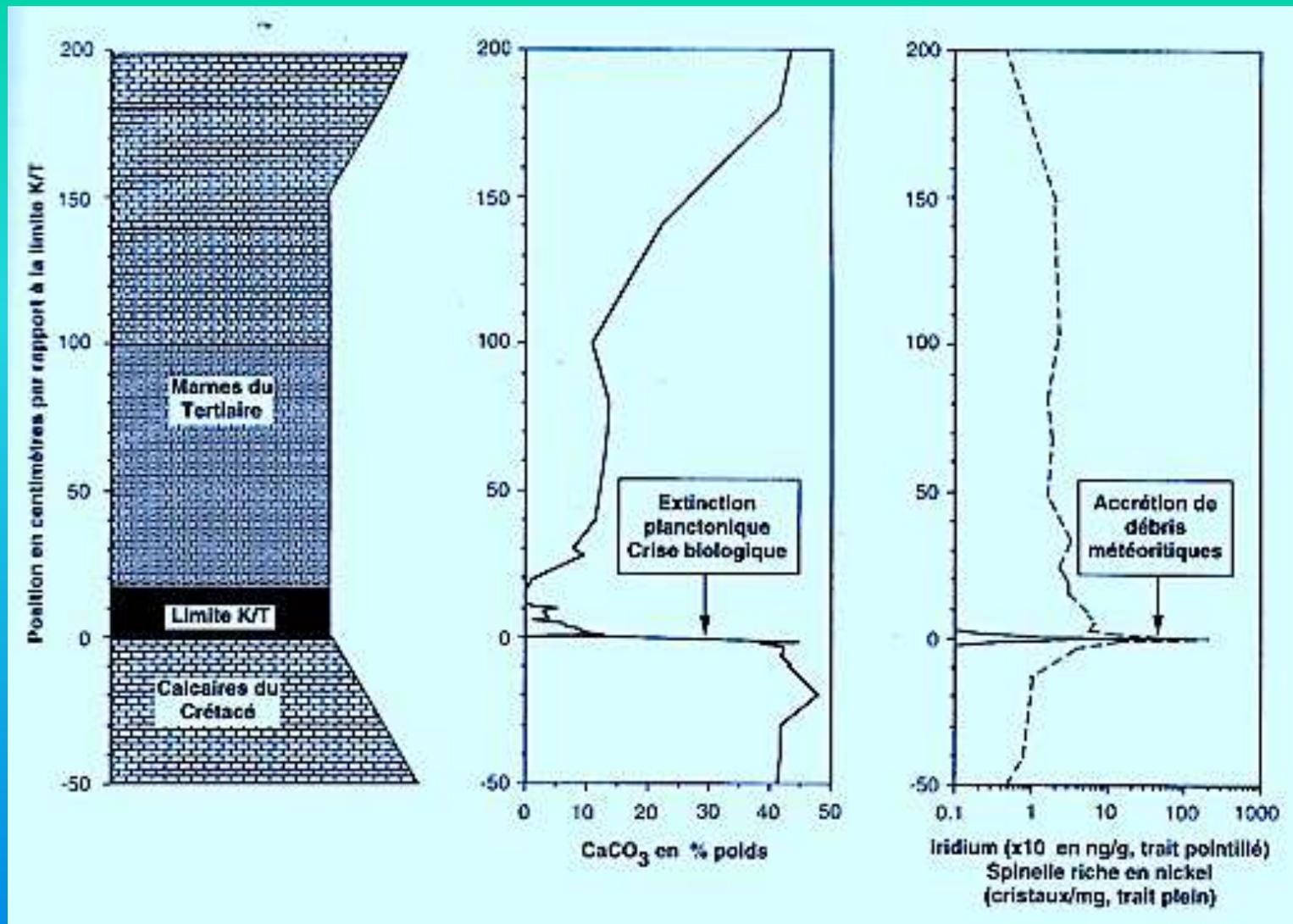
Le pic d'iridium dans
la couche K/T à
Gubbio



Premier coup de tonnerre!

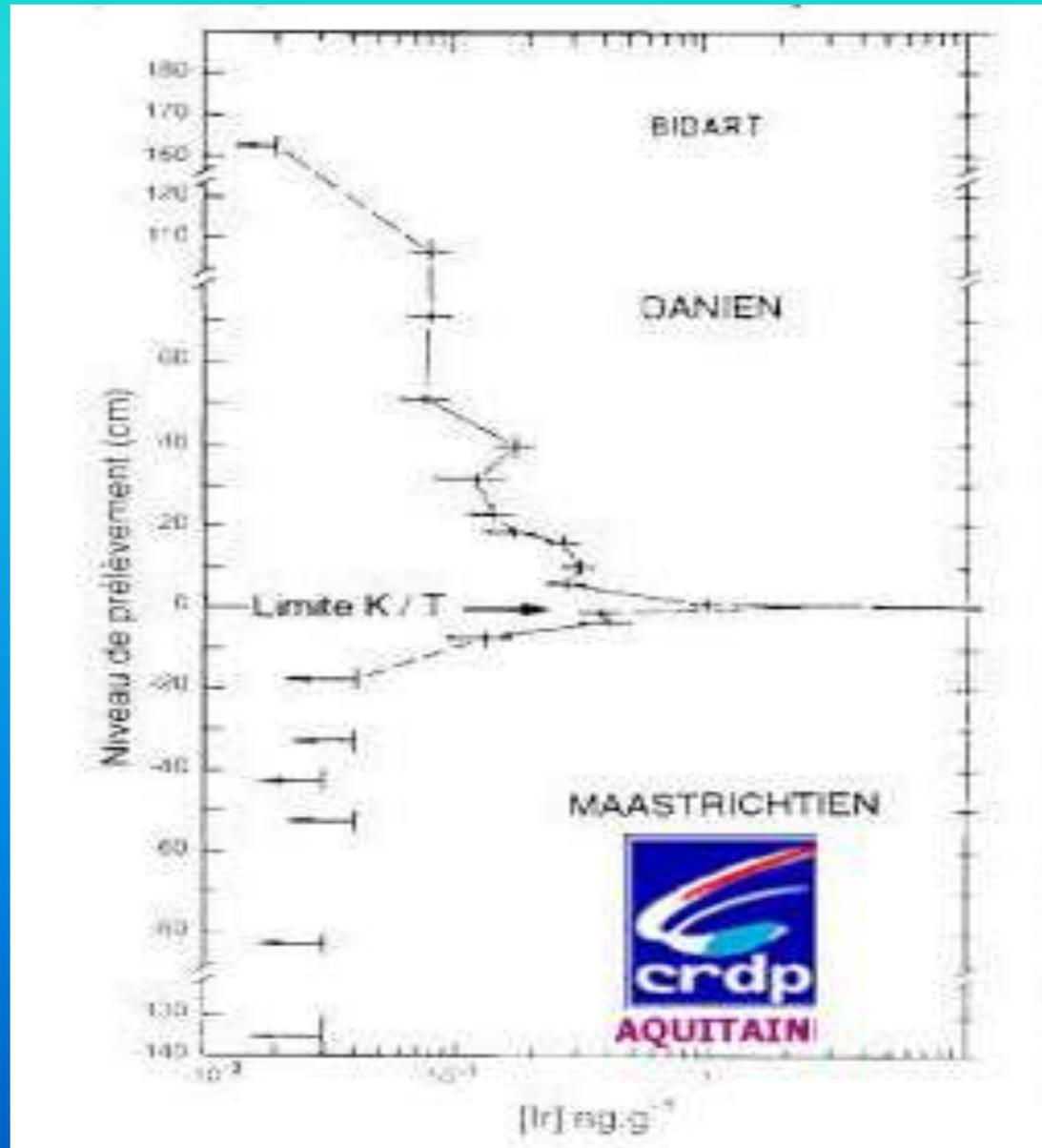
L.W: Alvarez, W.Alvarez, F. Asaro y H.V. Michel : « *Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction* », *Science*, 208 (1980), pp. 1.095-1.108.

La même année, J. Smit y J. Hertogen publient des données identiques sur la couche K/T de Caravaca (Espagne) dans la revue *Nature*, et R. Ganapathy sur la couche K/T de Stevns Klint (Danemark) dans la revue *Science*.



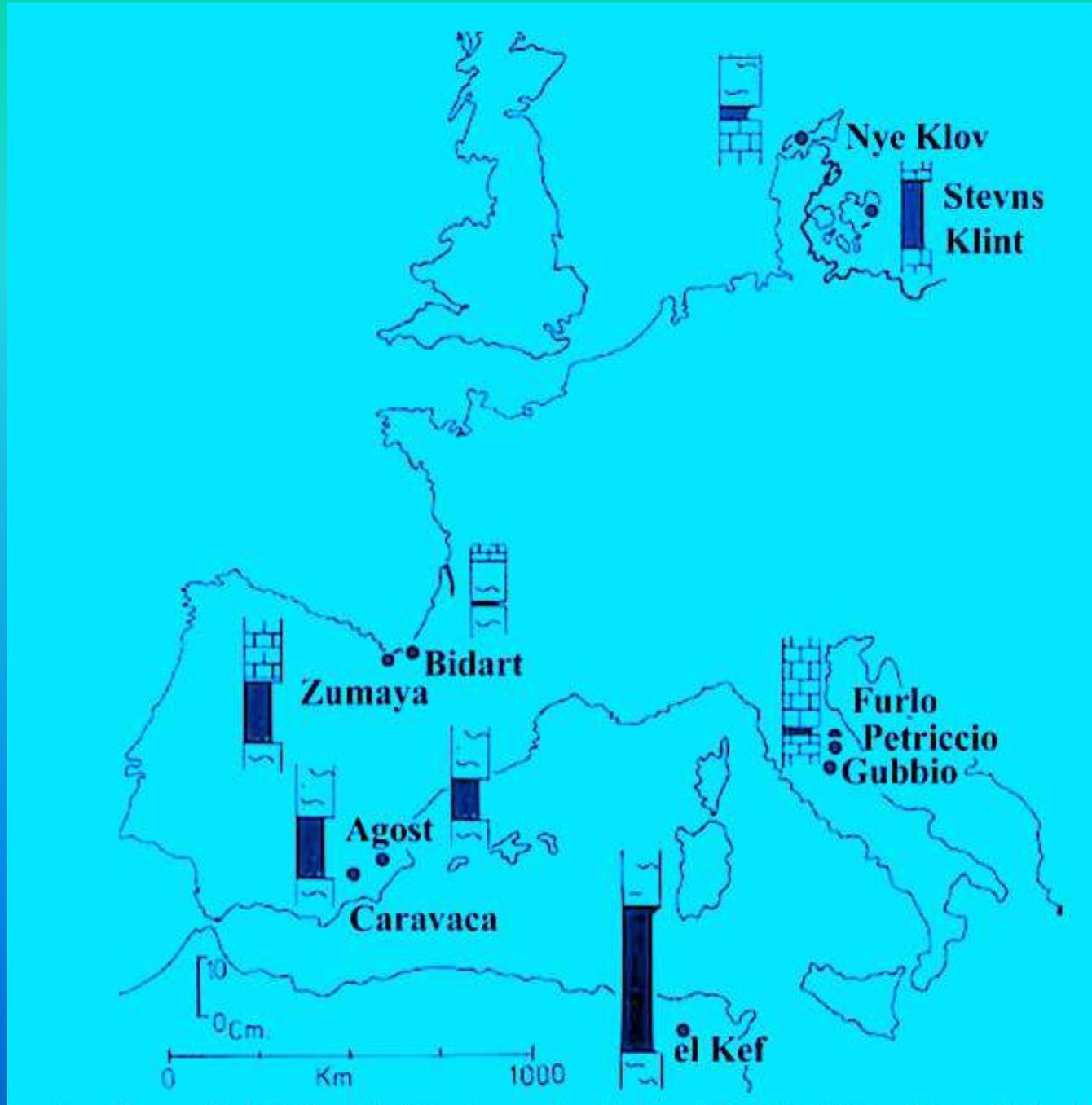
Un peu plus tard, la belle coupe géologique de El Kef en Tunisie montre la même anomalie en iridium ...

Le pic d'iridium et métaux rares de la couche K/T à Bidart



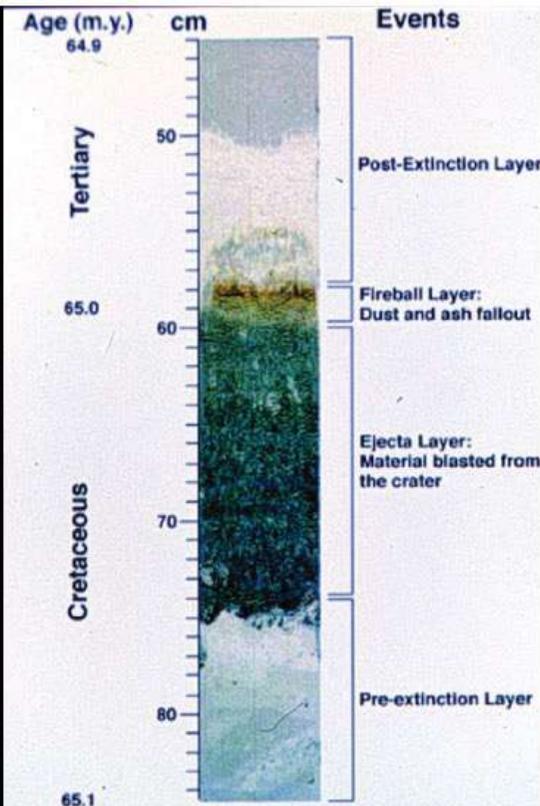
- A Bidart aussi, la mince couche d'argile analysée en 1982 par les géochimistes du CEA contient entre 100 et 1.000 fois plus d'iridium que les couches calcaires qui l'encadrent...

**Quelques
affleurements
célèbres de la
couche K-T,
en Europe et
en Tunisie :
elle montre
partout le
même pic
d'iridium...**

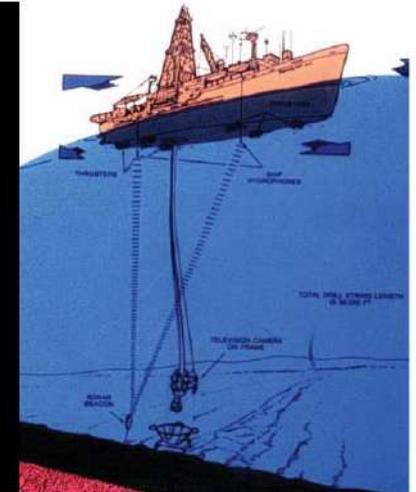


La couche K/T a été rencontrée dans de nombreux sondages profonds au fond des océans (programmes DSDP et ODP)...

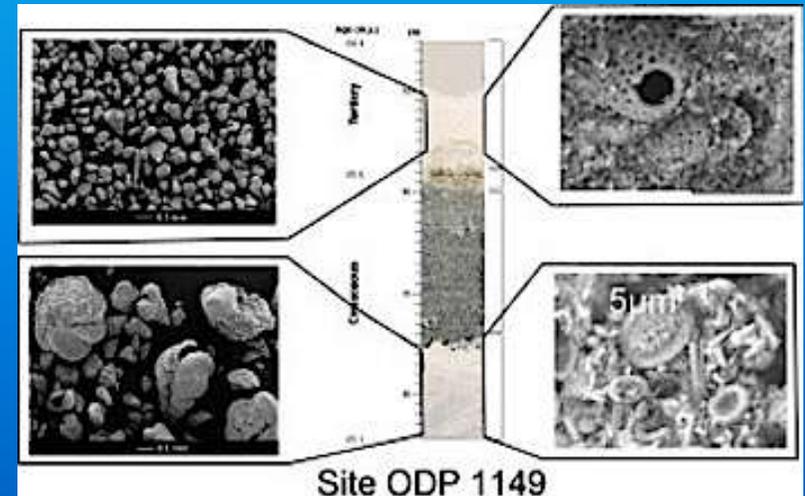
Section of core with K/T boundary interval.



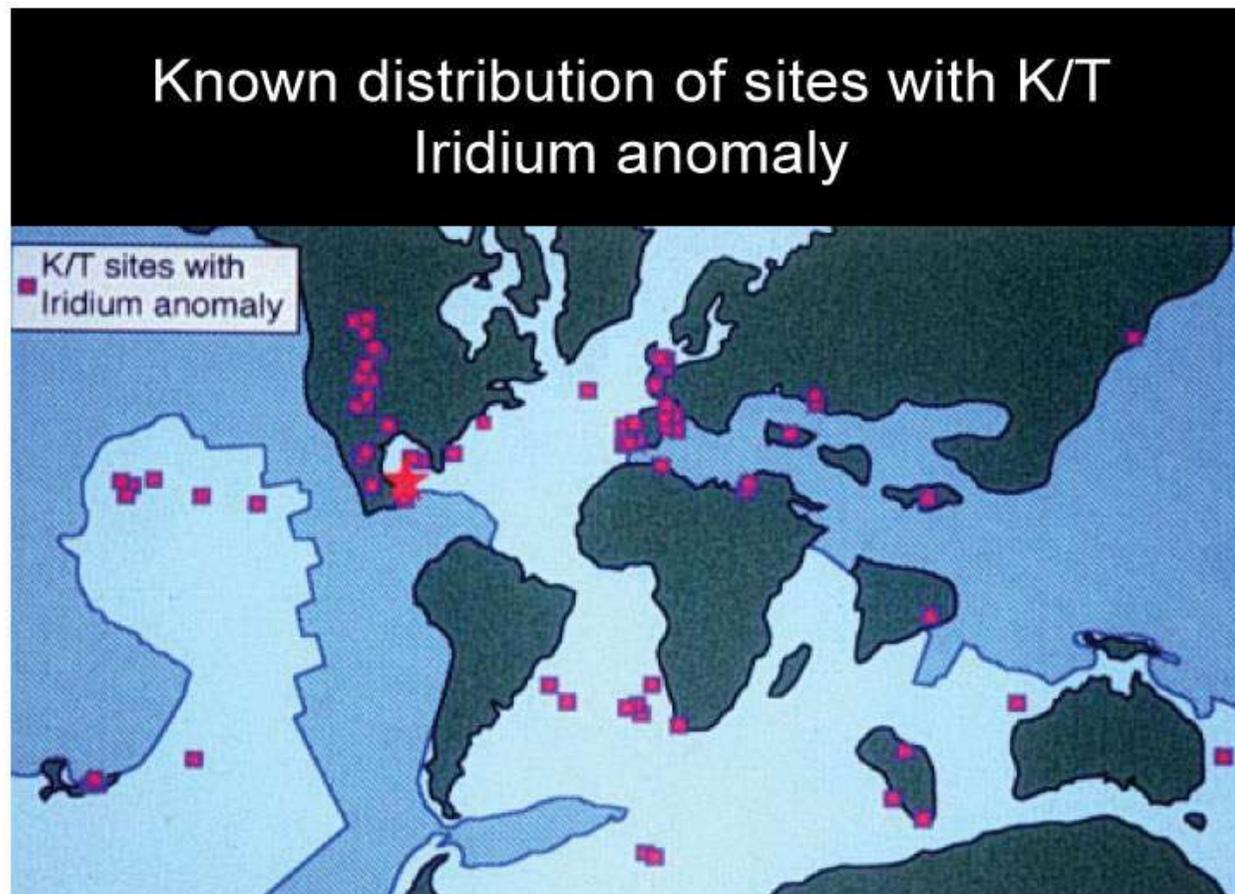
The drilling ship can send a drill string to the ocean floor and recover core.



... avec les mêmes caractéristiques.



En résumé, il apparaît bientôt que la couche K/T est mondiale, et un rapide calcul indique qu'elle contiendrait environ 500.000 tonnes d'iridium !



- Il s'agit donc d'un événement planétaire, et non d'un événement local.
- Le calcul est simple : seule une météorite de plusieurs centaines de milliards de tonnes, et d'environ 10 km de diamètre, pourrait contenir cette quantité d'iridium.



**Les Alvarez
affirment
qu'une
météorite
géante ...**

**... a mis fin au
règne des
dinosaures ...**

**Mais où est la
preuve ?**



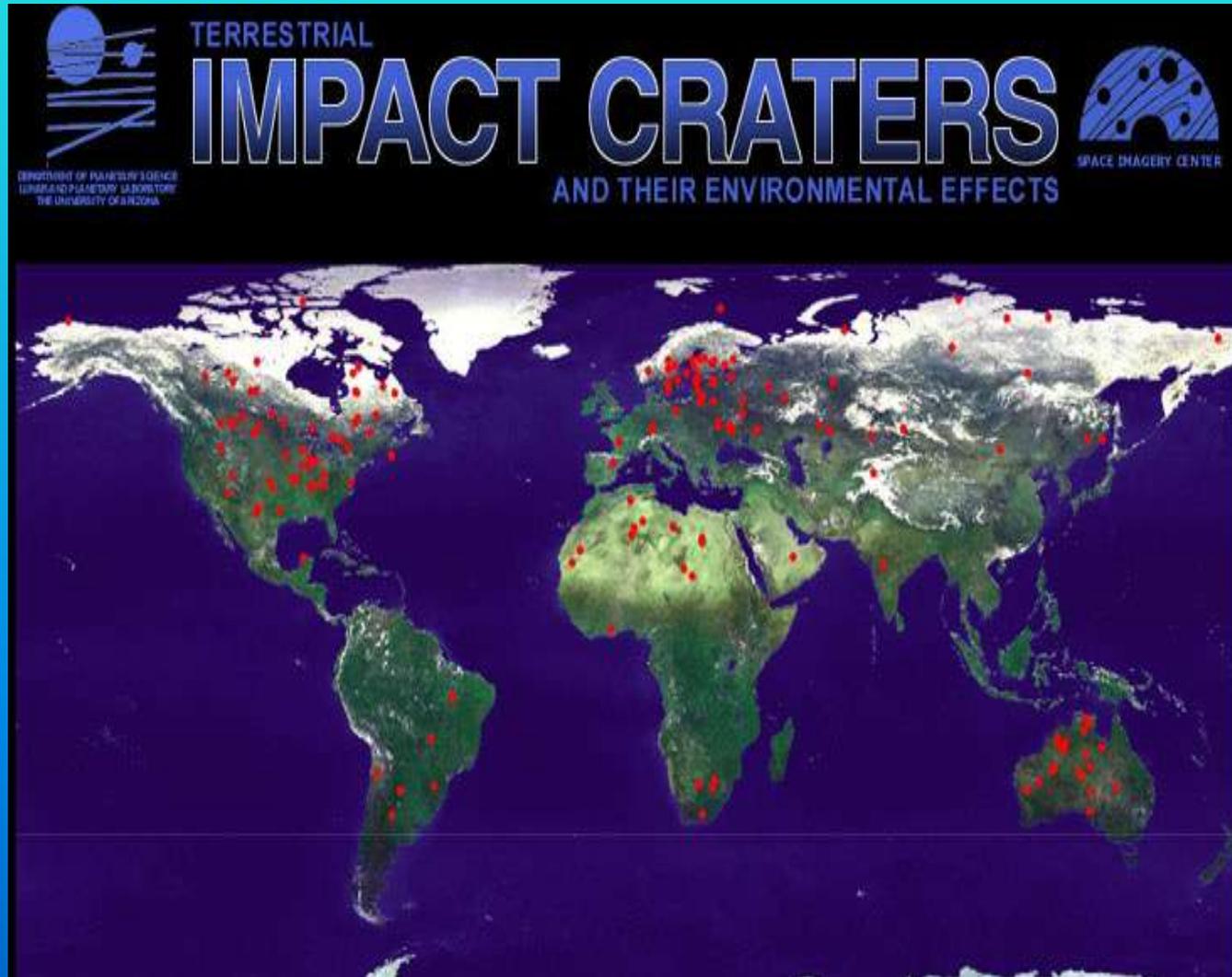
L'hypothèse cosmique :

La découverte du cratère d'impact de Chicxulub



- Où est le cratère d'impact responsable de la couche K/T ?
- Une enquête fabuleuse qui a duré dix ans, de 1980 à 1990, sous les sarcasmes des sceptiques !

Carte mondiale des cratères d'impact reconnus



- Il y a 150 cratères d'impact reconnus sur notre planète.
- Mais aucun ne satisfait les deux conditions requises (âge et diamètre)

Le célèbre cratère Baringer, ou Meteor Crater (Arizona)

What happens when an irresistible force meets an immovable object?



Meteor Crater!

- Son diamètre: 1,2 km.
- Son âge: 30.000 ans

Le cratère d'impact de Manicouagan (Canada)



Landsat 7 Image, bands 452 provided by Ronald W. Hayes, USGS.

- Son diamètre est de 100 km.
- Son âge: 200 Ma

Les plus gros cratères d'impact de la planète Terre

Les plus gros cratères d'impact

Ordre	Cratère	Pays	Diamètre	Âge (millions/années)
1	Vredefort	Afrique du Sud	300	2023 ± 4
2	Sudbury	Ontario, Canada	250	1850 ± 3
3	Chicxulub	Yucatan, Mexico	170	64.98 ± 0.05
4	Manicouagan	Québec, Canada	100	214 ± 1
5	Popigai	Russie	100	35.7 ± 0.2
6	Chesapeake Bay	Virginie, U.S.A.	90	35.5 ± 0.3
7	Acraman	Australie du Sud, Australie	90	~ 590
8	Puchezh-Katunki	Russie	80	167 ± 3
9	Morokweng	Afrique du Sud	70	145.0 ± 0.8
10	Kara	Russie	65	70.3 ± 2.2
11	Beaverhead	Montana, U.S.A.	60	~ 600
12	Tookoonooka	Queensland, Australie	55	128 ± 5
13	Charlevoix	Québec, Canada	54	342 ± 15
38	Rochechouart	France	23	214 ± 8

Source : [Earth impact database](#)

Les quartz choqués

Un grain de quartz « normal », limpide et sans plans cristallographiques visibles, vu sous le microscope bajo microscopio (lumière polarisée).

Dans la couche K/T, les preuves de l'impact s'accumulent...

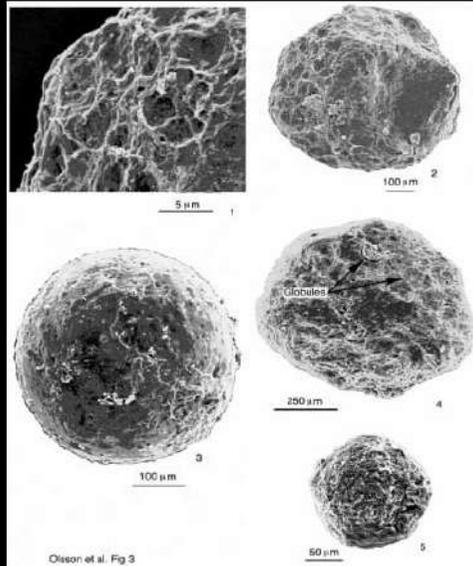
Un grain de quartz « choqué » de la couche K-T, montrant un dense réseau de déformations laminaires multiples, que seules des surpressions gigantesques peuvent créer.

Les « tectites », gouttes de roches fondues sous l'impact.

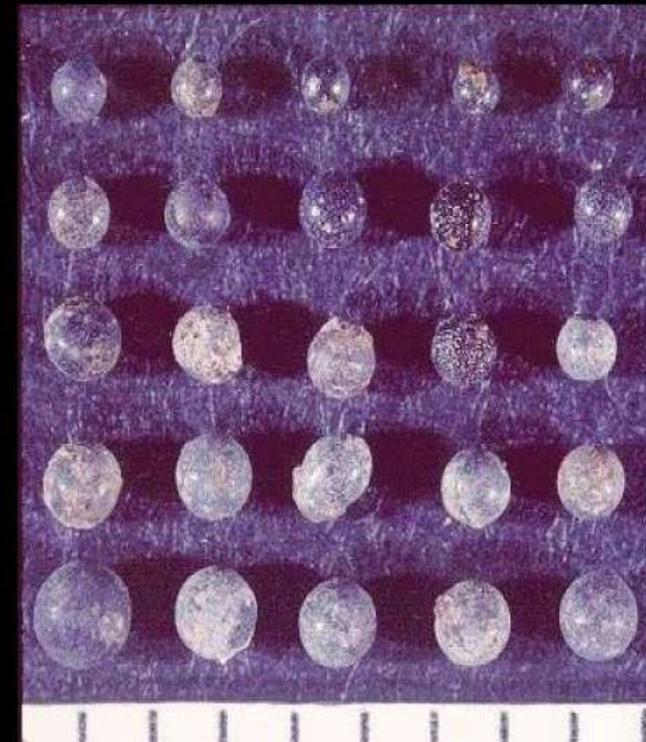


Tectites de la couche K/T

Tektites from the K/T boundary in New Jersey



Tektites from the asteroid impact



Enlargement of a tektite from the Atlantic sea floor

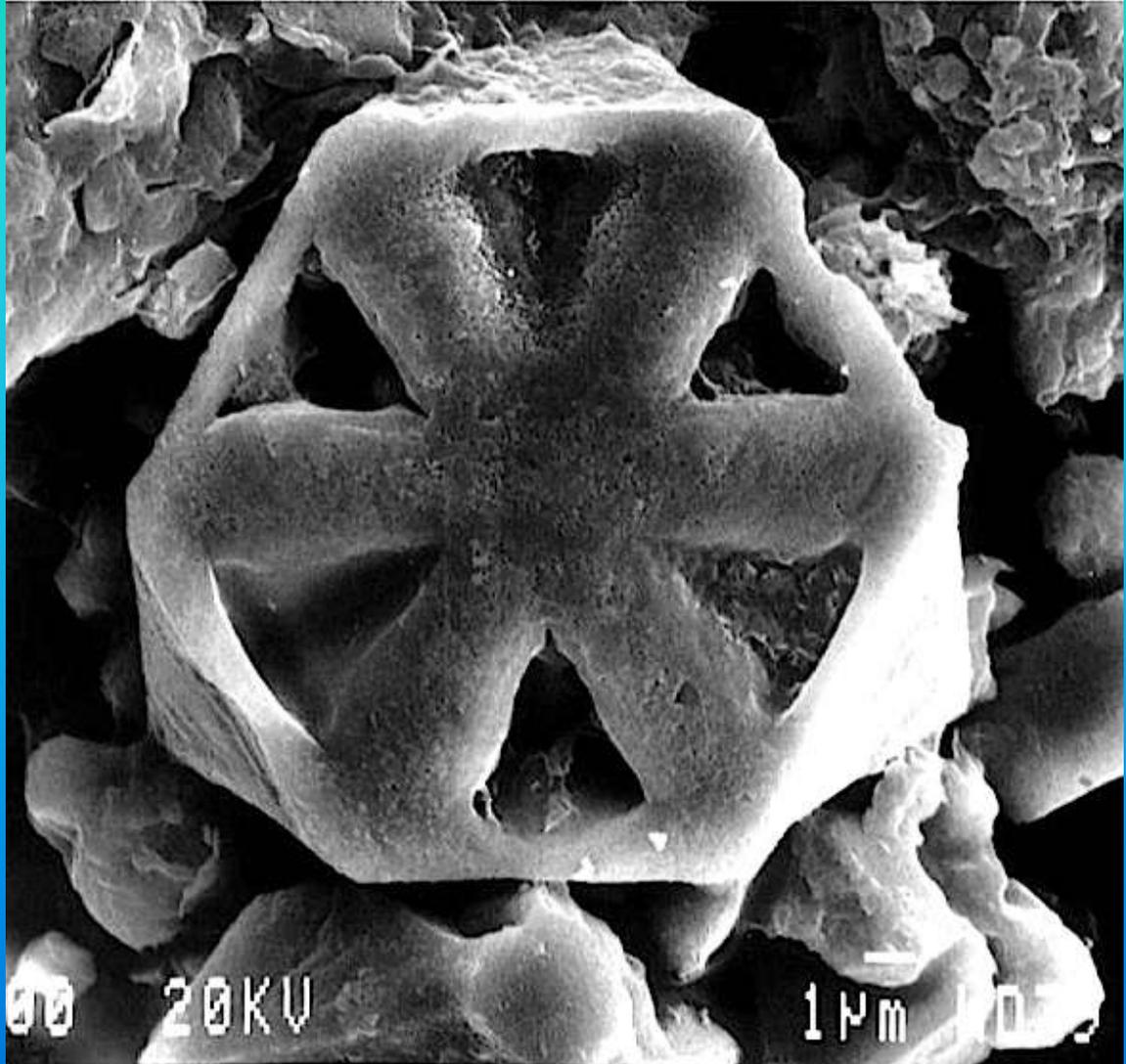


La taille des tectites diminue en s'éloignant du golfe du Mexique ...

Map showing distribution of tektites by size. Tektites are largest near Yucatan.

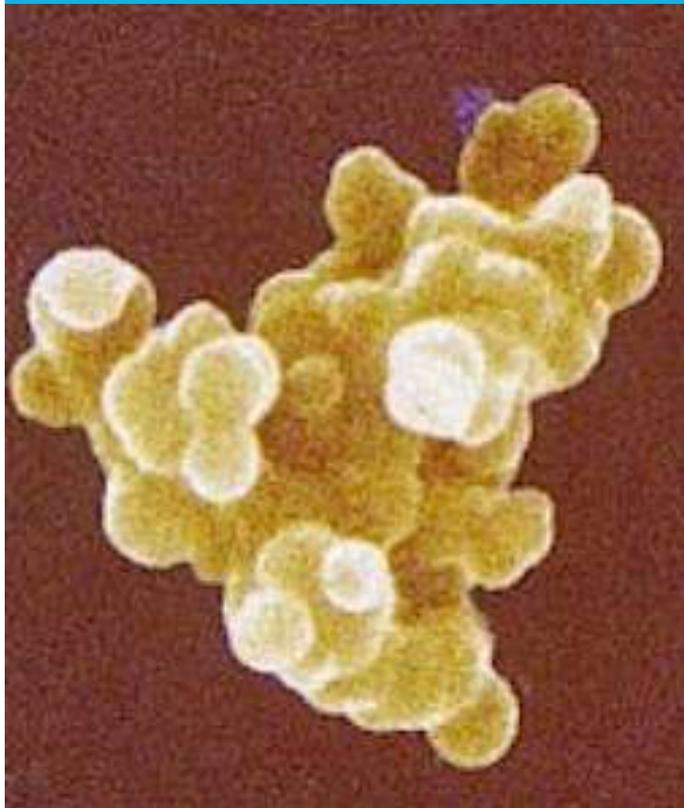


Les magnétites nickélicifères

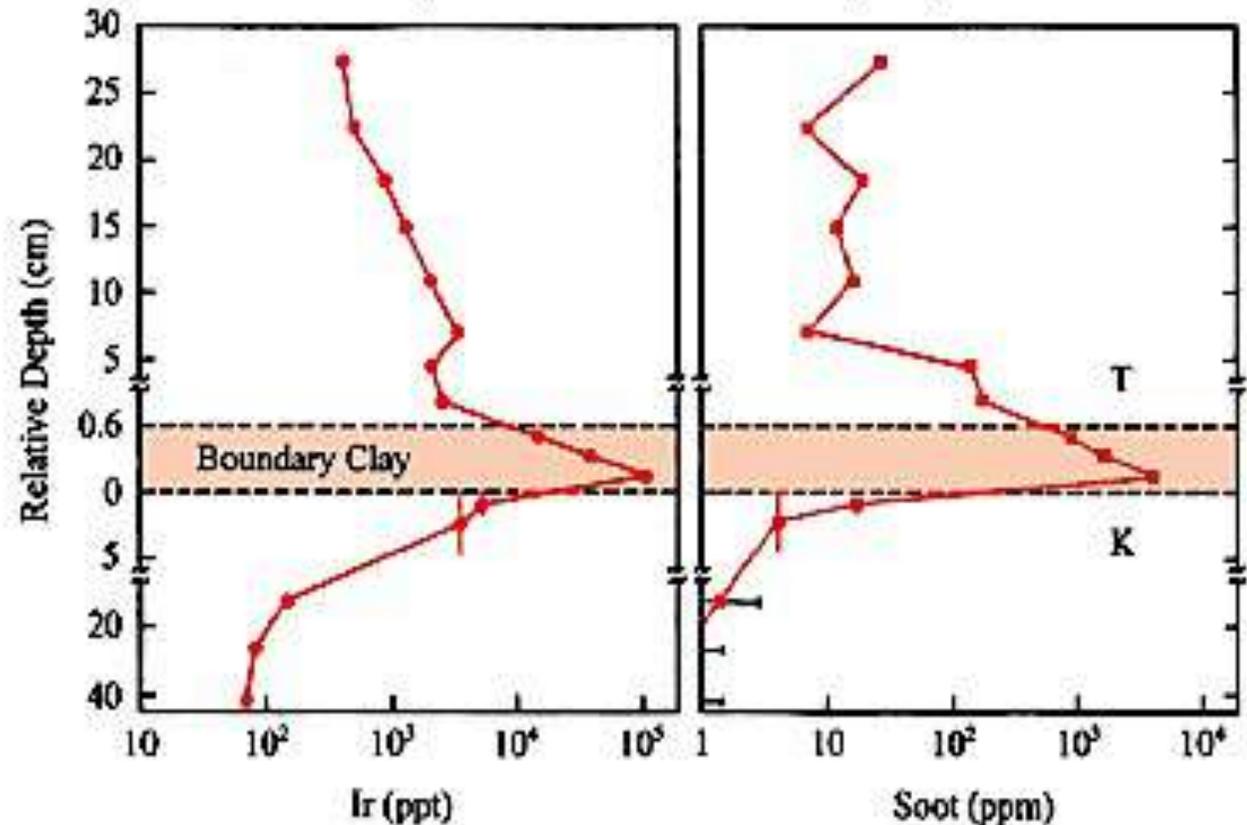


Elles apparaissent typiquement dans la croûte fondue des météorites.

**La couche K-T
contient
d'innombrables
particules de
suie...**



Woodside Creek, New Zealand
(Modified after Wolbach *et al.*, 1990)



Ces particules de carbone résultent de la combustion des forêts implantées sur les continents... Immenses brasiers allumés par les retombées en masse des particules projetées dans l'atmosphère.



**La dernière
pièce du
puzzle !**

**Évidences d'un
tsunami
gigantesque autour
du golfe du Mexique**



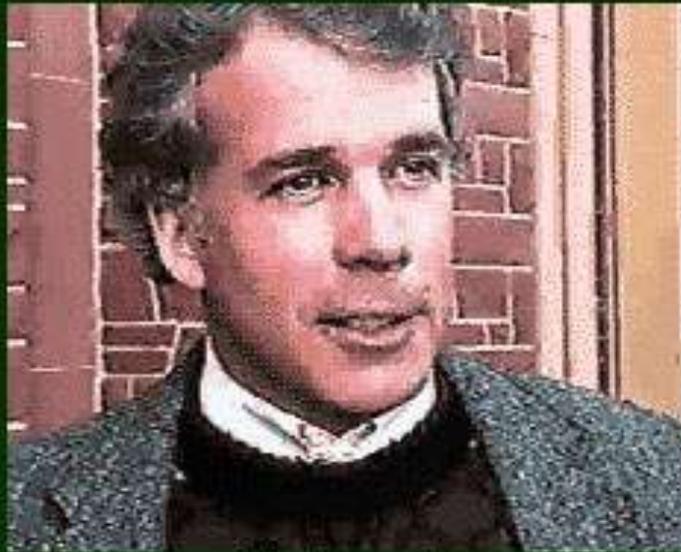
El Peñon, NE México

Deuxième coup de tonnerre : Chicxulub, le cratère de la mort !

A.R. Hildebrand et al. : « Chicxulub crater : a possible Cretaceous/Tertiary boundary impact crater on the Yucatan Peninsula, Mexico », *Geology* (1991).

Voici l'homme qui a découvert le cratère d'impact de Chicxulub !

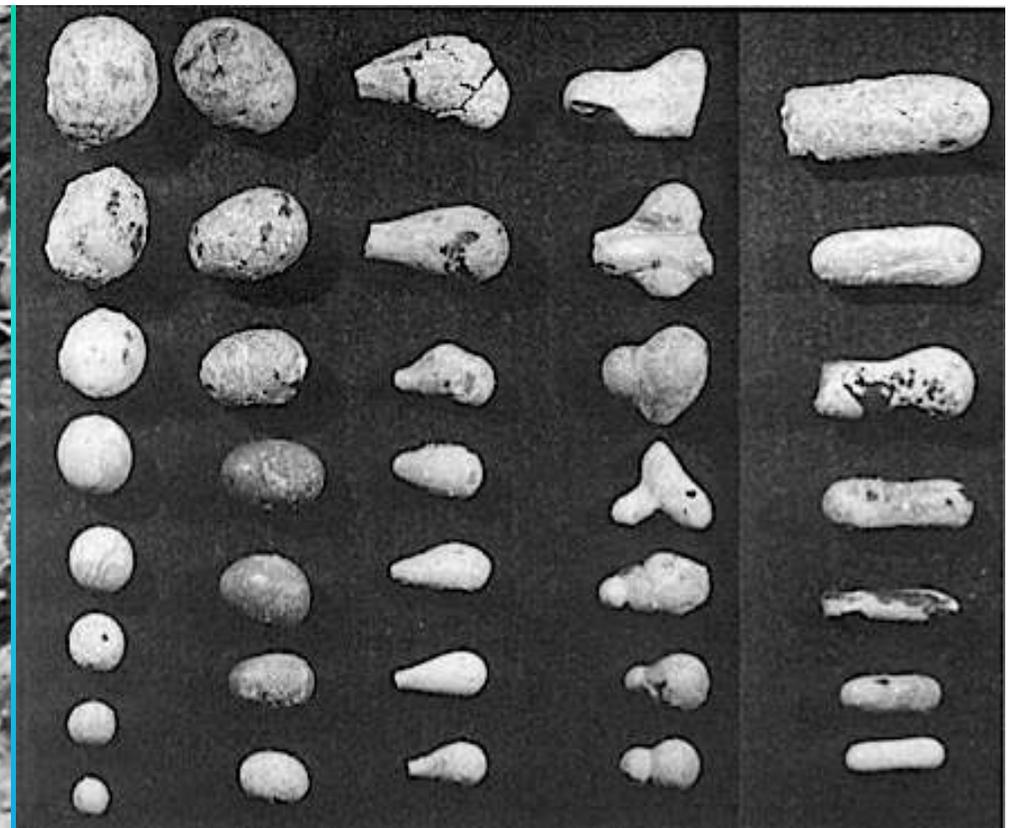
Alan R. Hildebrand



Christopher Mackay photo

A fairly extensive summary of Alan's work on the Chicxulub crater can be found at the [MIAC web site](#).

A Fredericton, New Brunswick, native with a B.Sc. in geology from the University of New Brunswick, worked for a number of years in mineral exploration before returning to university to complete a Ph.D. in planetary sciences from University of Arizona. He now lives in Ottawa and works as a Research Scientist in the Geological Survey of Canada, where most of his work centres on studies of impact craters and meteorite falls.



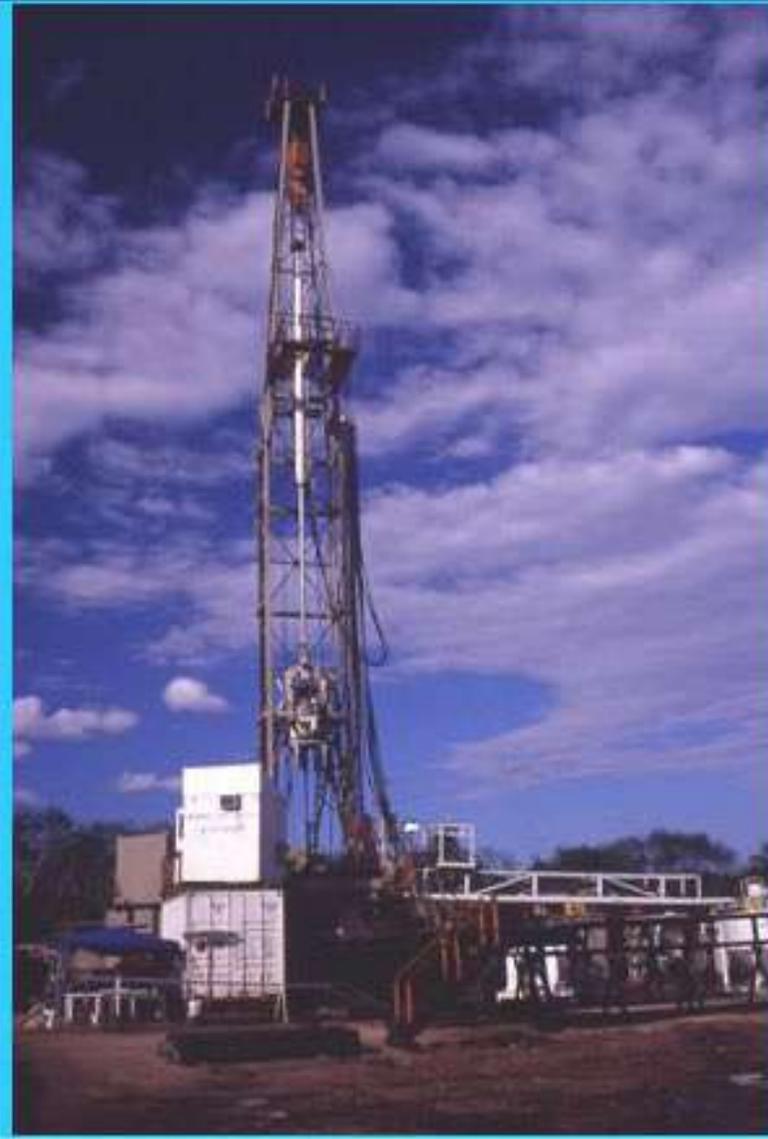
**Alan Hildebrand et
les tectites de
Haïti, près de la
ville de Beloc.**

Le cratère d'impact de Chicxulub est caché sous 1.000 mètres de sédiments marins tertiaires...



La recherche a duré dix ans!

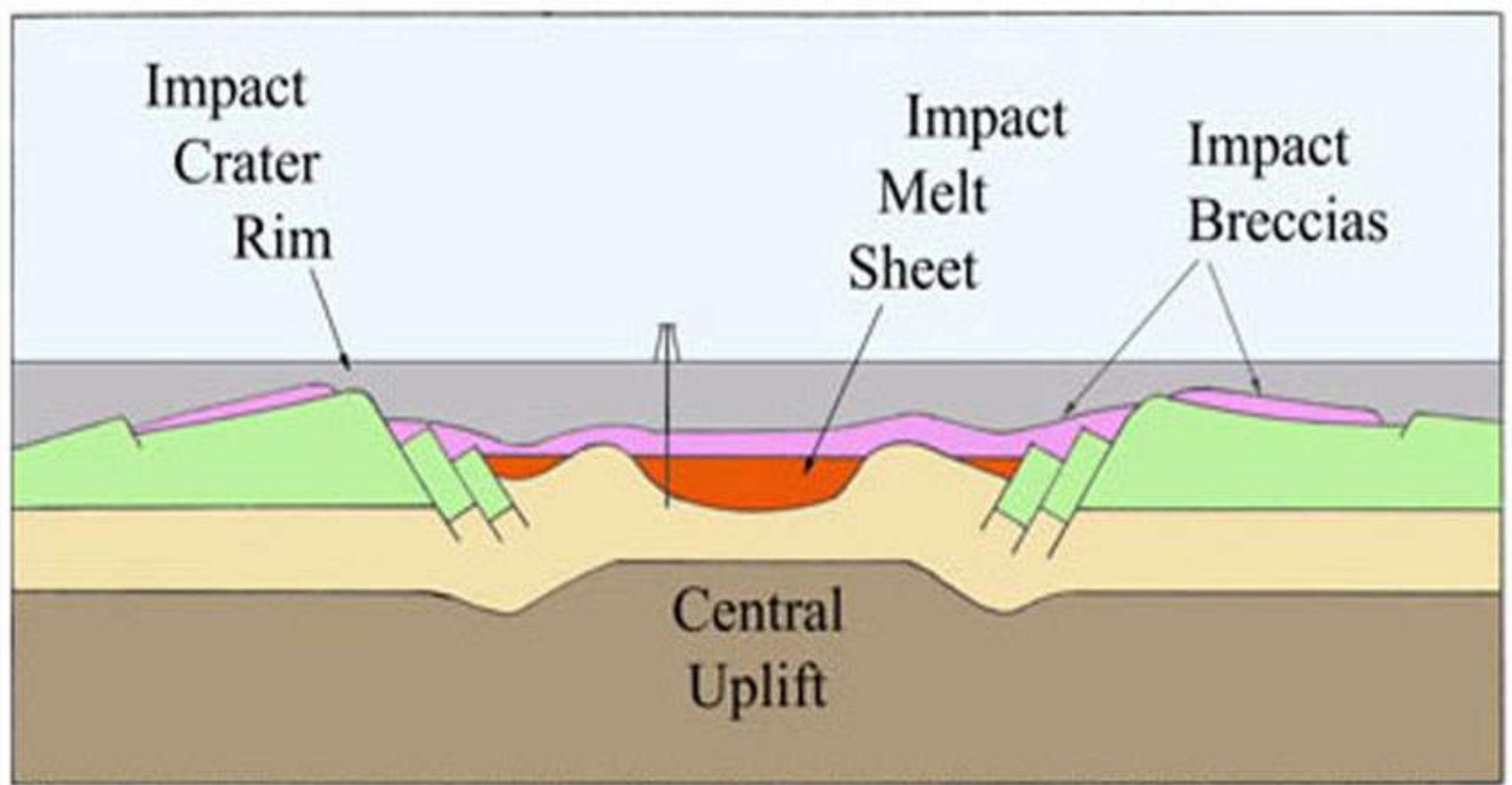
Le sondage de Chicxulub



Une carotte du sondage de Chicxulub



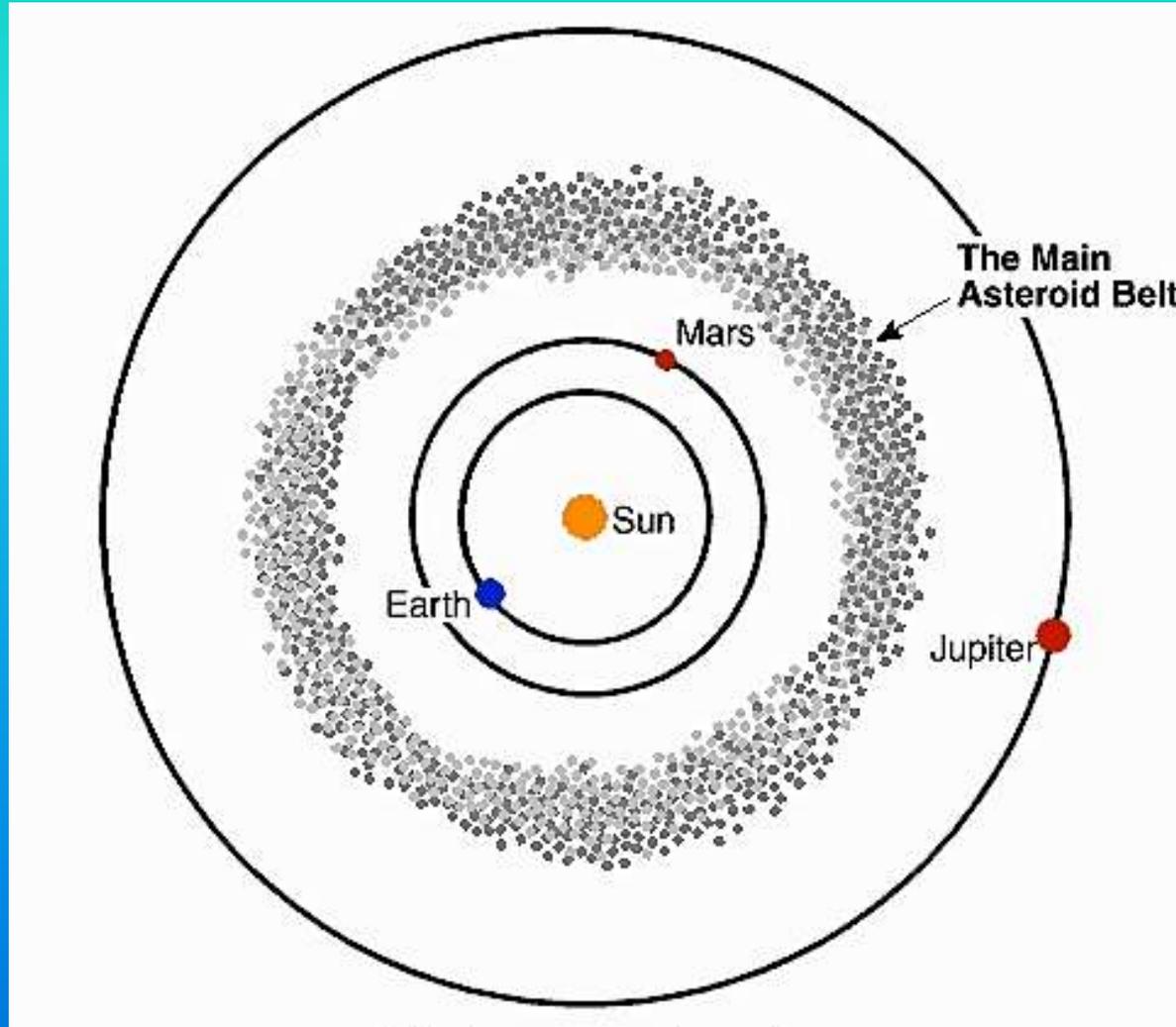
Chicxulub : la coupe géologique



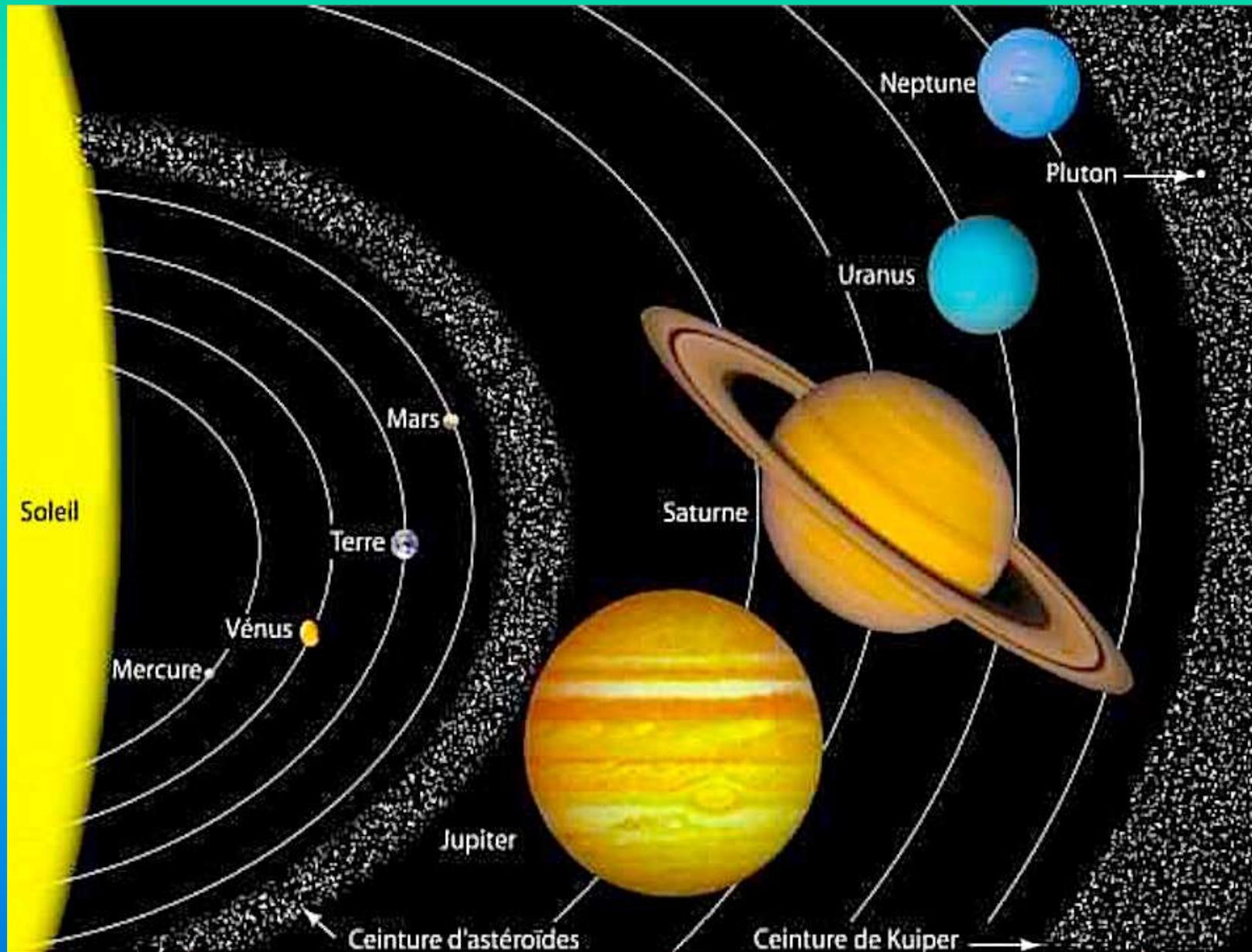
Un test décisif : les datations isotopiques Argon/Argon

- Âge des tectites dans les carottes du sondage C1 à Chicxulub :
 - $64,98 \pm 0,05$ Ma.
- Âge des tectites dans la couche K/T de Haïti : premier test:
 - $65,06 \text{ Ma} \pm 0,18 \text{ Ma}$ (Izett *et al.*, 1992).
 - Le segundo test:
 - $65,01 \text{ Ma} \pm 0,08 \text{ Ma}$ (Zwischer *et al.*, 1992)

D'où provenait la météorite géante de Chicxulub ?



Si c'était un astéroïde, il provenait sans aucun doute de la ceinture d'astéroïdes située entre Mars et Jupiter...



Si c'était une comète, elle provenait de la ceinture de comètes de Kuiper, au-delà de Pluton...



Tyrannosaurus
rex
y el cráter de la muerte

*Walter
Alvarez*

Drakontos

Crítica

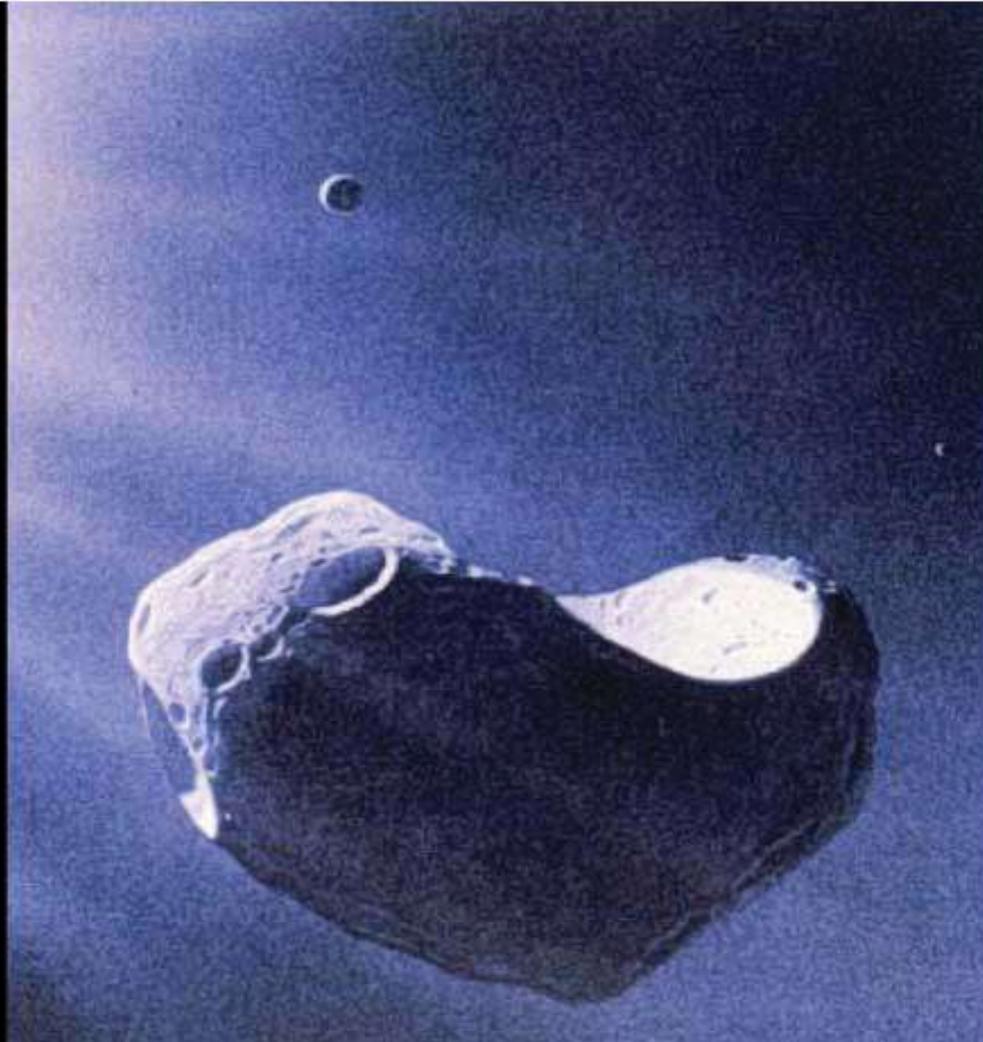


**Scénario
d'une
apocalypse**

**Walter Alvarez nous
le raconte dans son
livre, ici traduit en
espagnol (1998).**

Scénario d'une apocalypse

The 6-mile
diameter
asteroid
heading
towards
Earth, 65 MY
ago



Le bolide entre dans l'atmosphère...



Il s'écrase sur le Yucatan, provoquant un séisme de magnitude 13 sur l'échelle de Richter...



**...déclenchant l'enfer sur toute
l'Amérique centrale.**

Impact on the Yucatan Peninsula!



**L'énergie dégagée:
 $E=1/2mv^2=10^9$ Hiroshimas!**

The power of millions of atomic bombs



Un énorme raz de marée a déferlé sur toutes les côtes de l'Amérique centrale...

Giant tsunami hits the Texas coastline

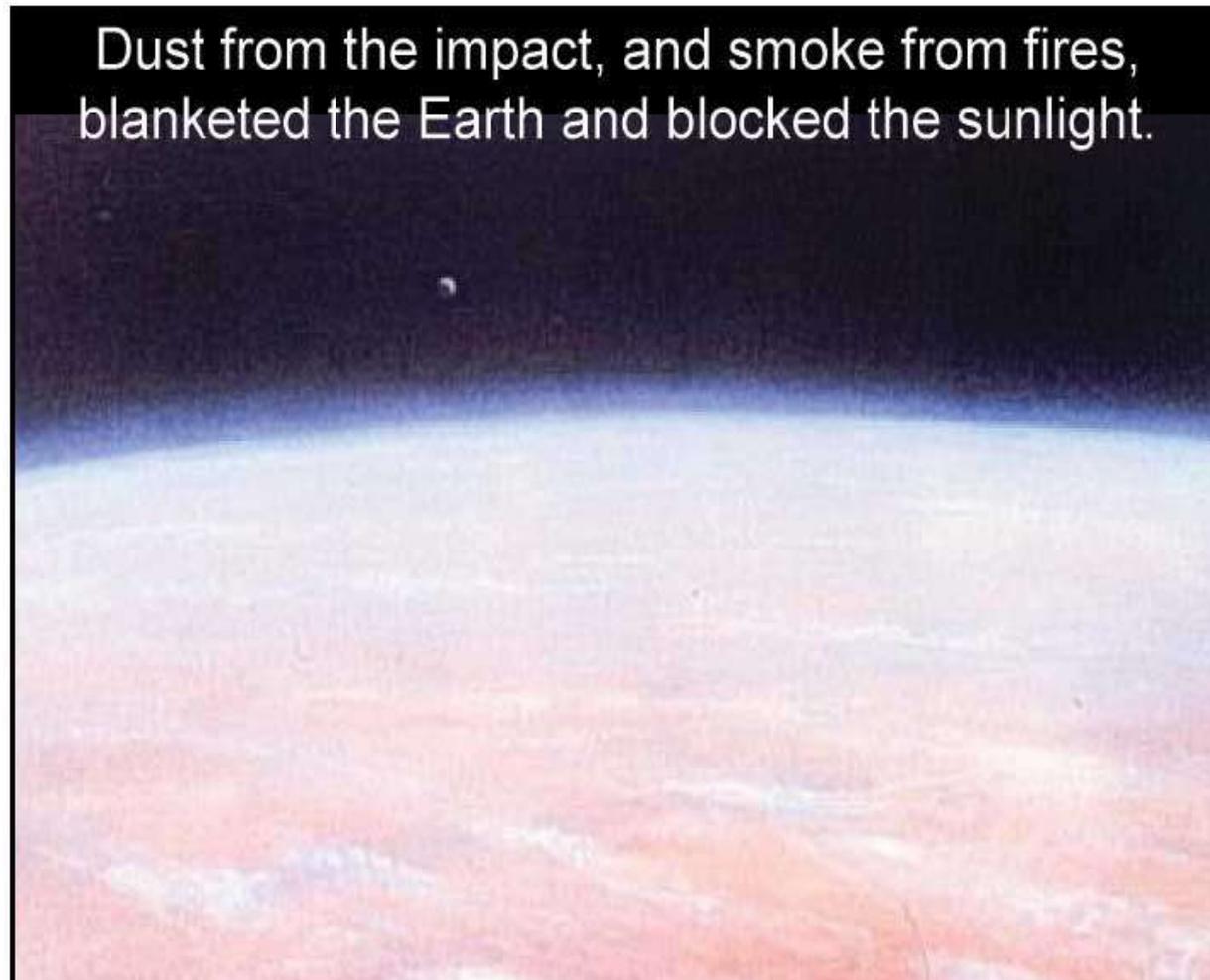


Effet brasero : les retombées des débris chauffés à blanc allument des incendies de forêts gigantesques...

Fiery debris falls back to Earth over large areas starting forest fires



Un rigoureux « hiver nucléaire » s'est établi pendant des décennies...



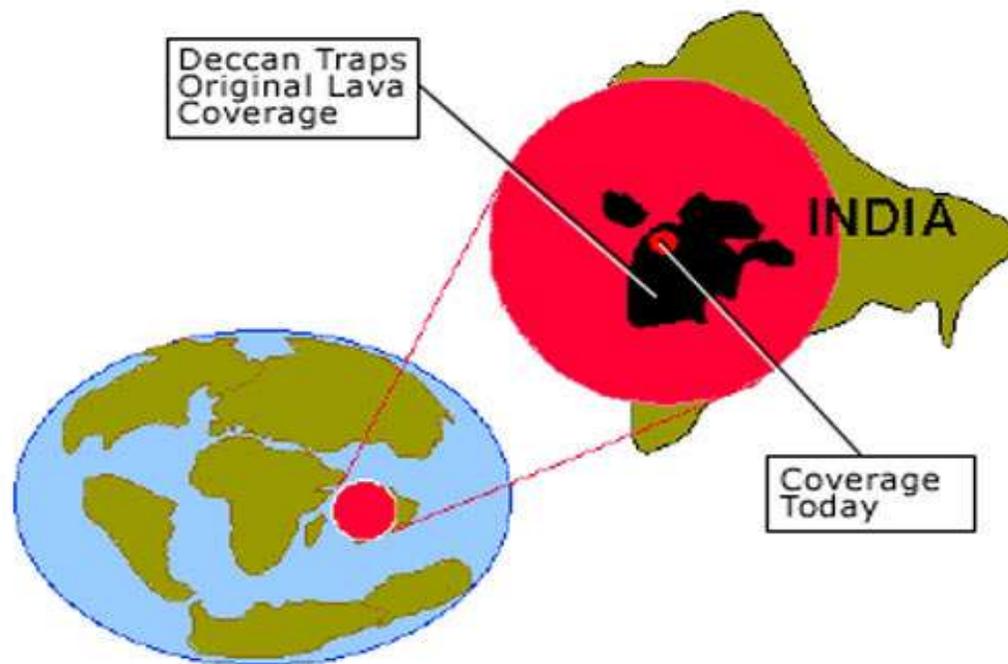
- Les poussières de l'impact et les fumées des incendies enveloppent complètement la Terre...
- En retombant, elles vont former la couche K/T.

Les effets climatologiques de l'impact :

- Effets à court terme: l' "hiver nucléaire". Nuit noire pendant 2 mois. Jours obscurs et températures glaciales pendant un an, sans photosynthèse.
- Effets à long terme: effet de serre (H_2O , CO_2 , HNO_3 , SO_2 ...), pendant 10.000 à 30.000 ans.
- Retombées de substances toxiques:
- Pluies acides de HNO_3 (NO-NO₂)
- Pluies acides de H_2SO_4 (SO_2 du gypse de Chicxulub)
- Métaux toxiques (Ni, Co, Cr...)

L'hypothèse volcanique:

Les traps du Deccan en Inde



[Background](#)

[News Article](#)

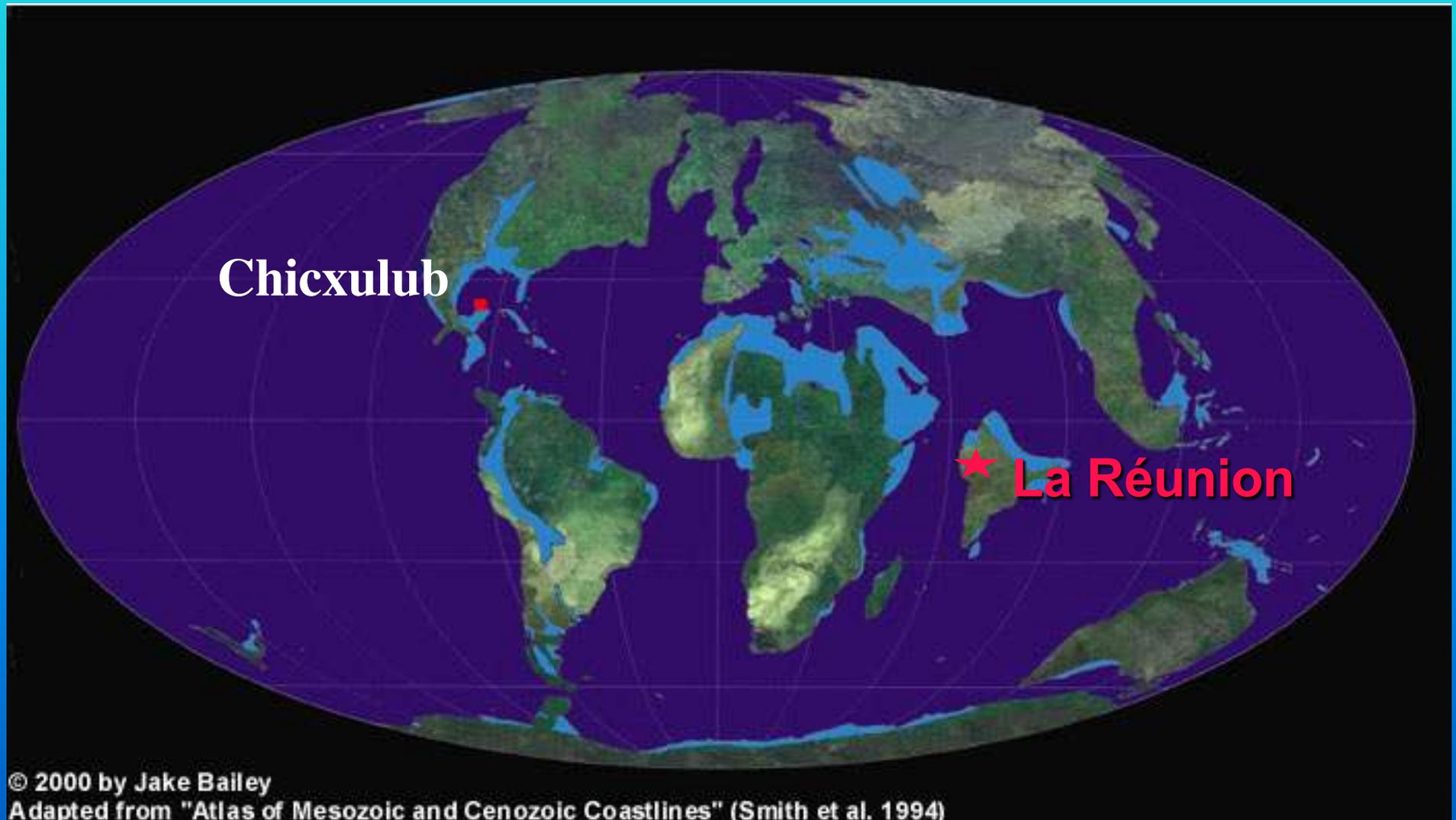
[Flood Basalts](#)

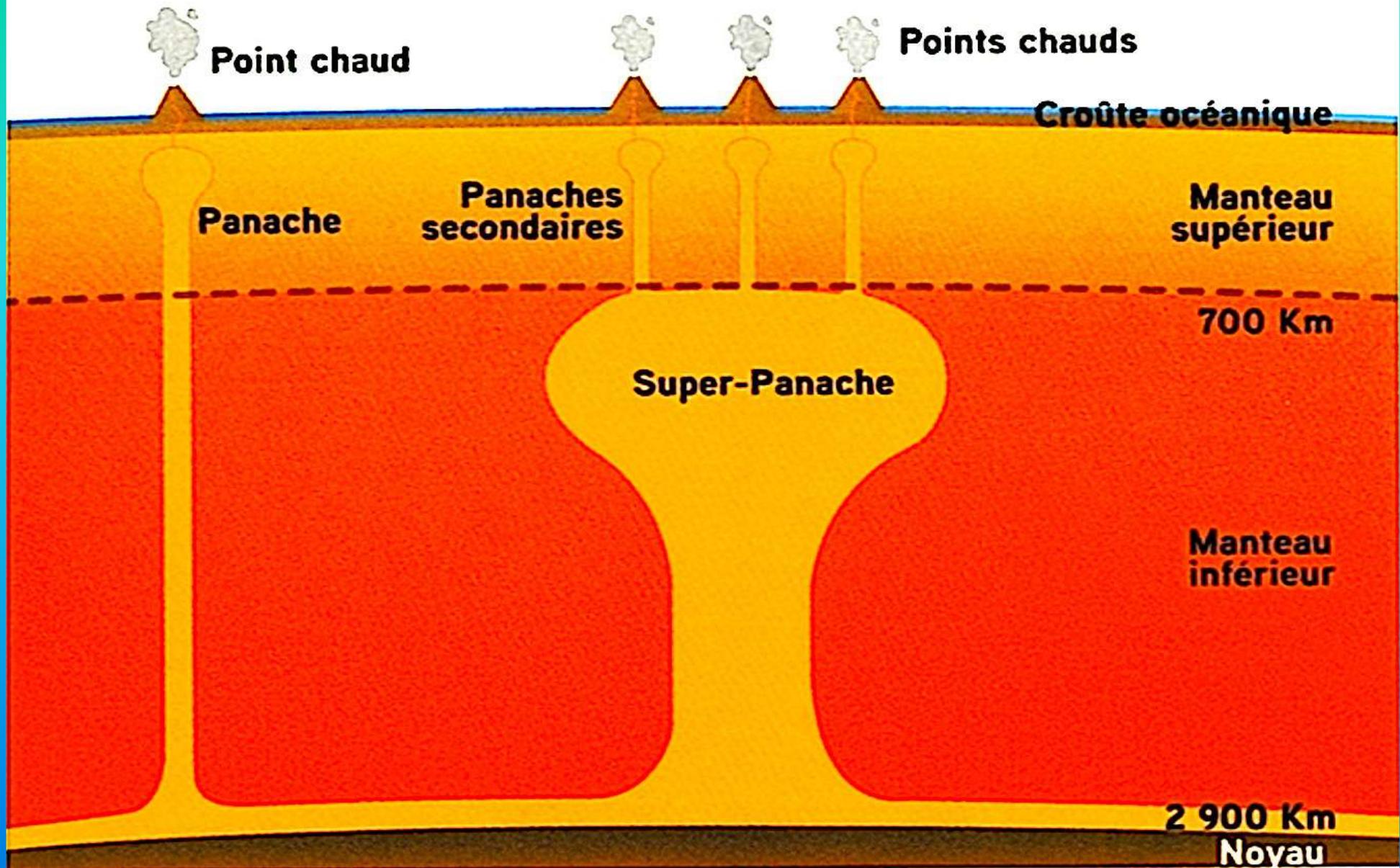
Dewey M. McLean

Past and current geographic distribution of the Deccan Traps.

4. What are the Deccan traps, and what theory do they help support?

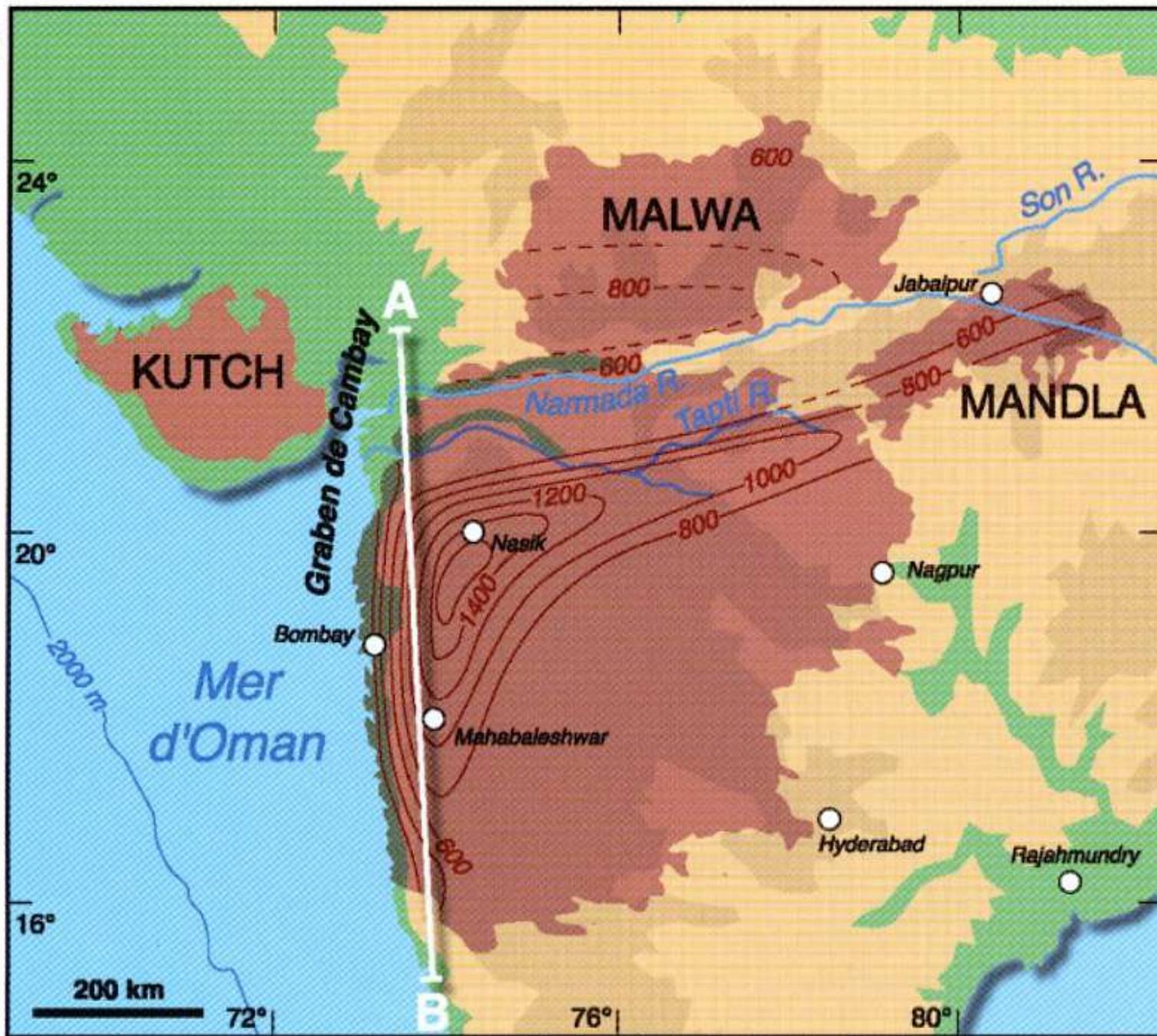
**Au Crétacé supérieur, l'Inde est encore
au milieu de l'océan indien... .. et se
trouve au-dessus du point chaud de La Réunion**





C'est la tête étalée en champignon d'un "super-panache" qui va se vider vers le haut par des milliers de fractures, et couvrir une surface grande comme la France.

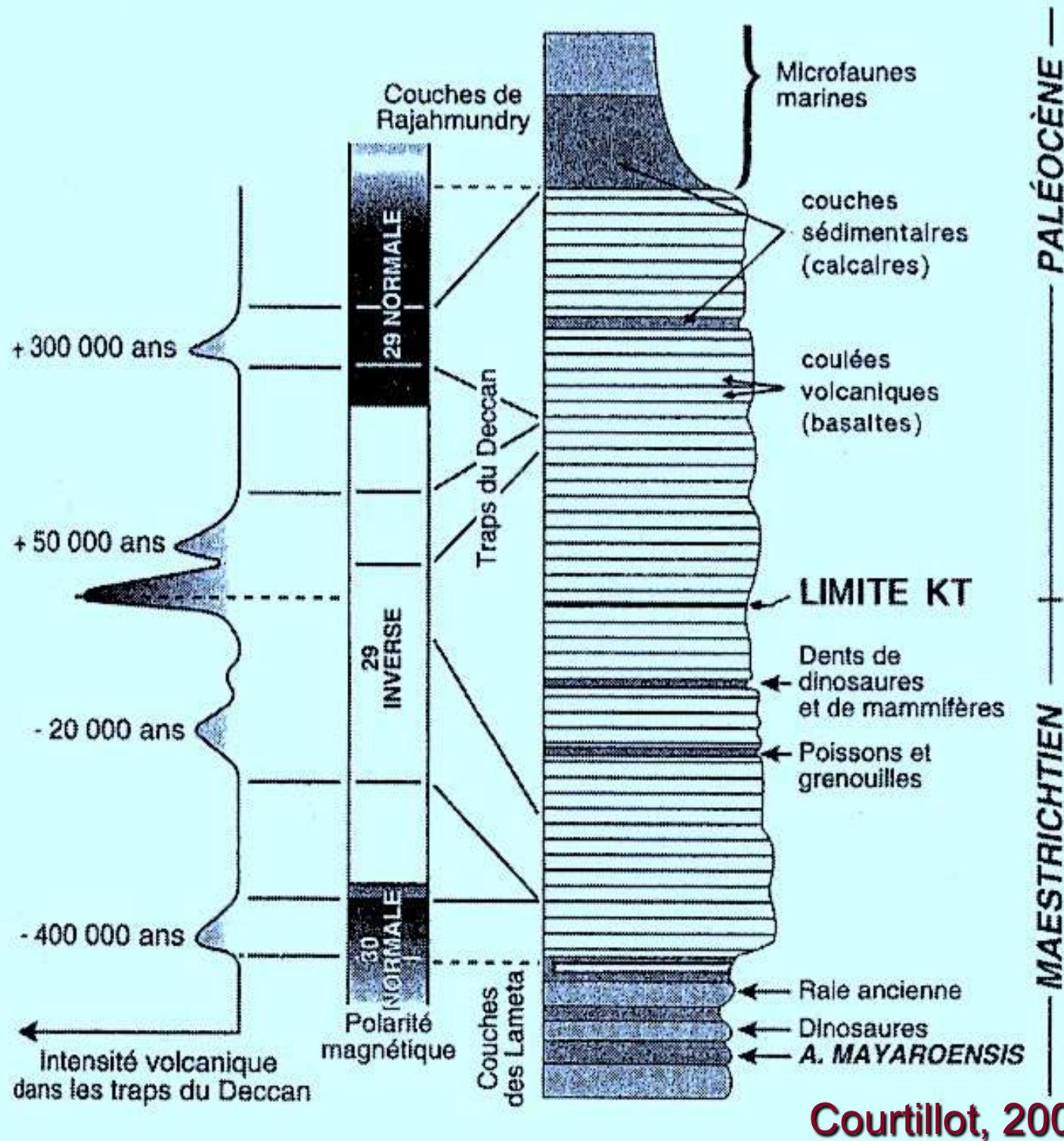
a



Carte des trapps du Deccan en Inde



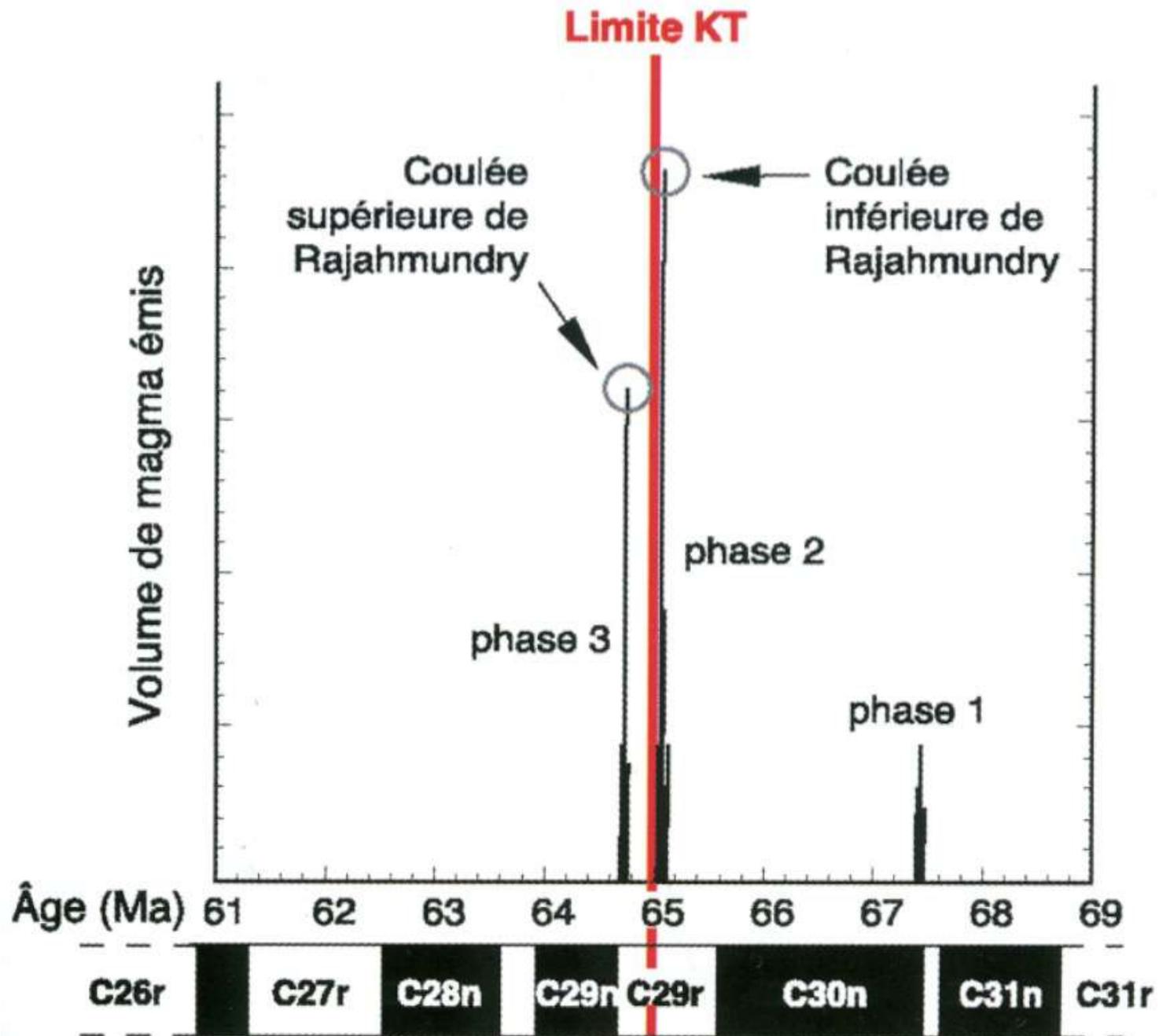
Un paysage typique des trapps du Deccan (NO de l'Inde)...



Courtilot, 2009

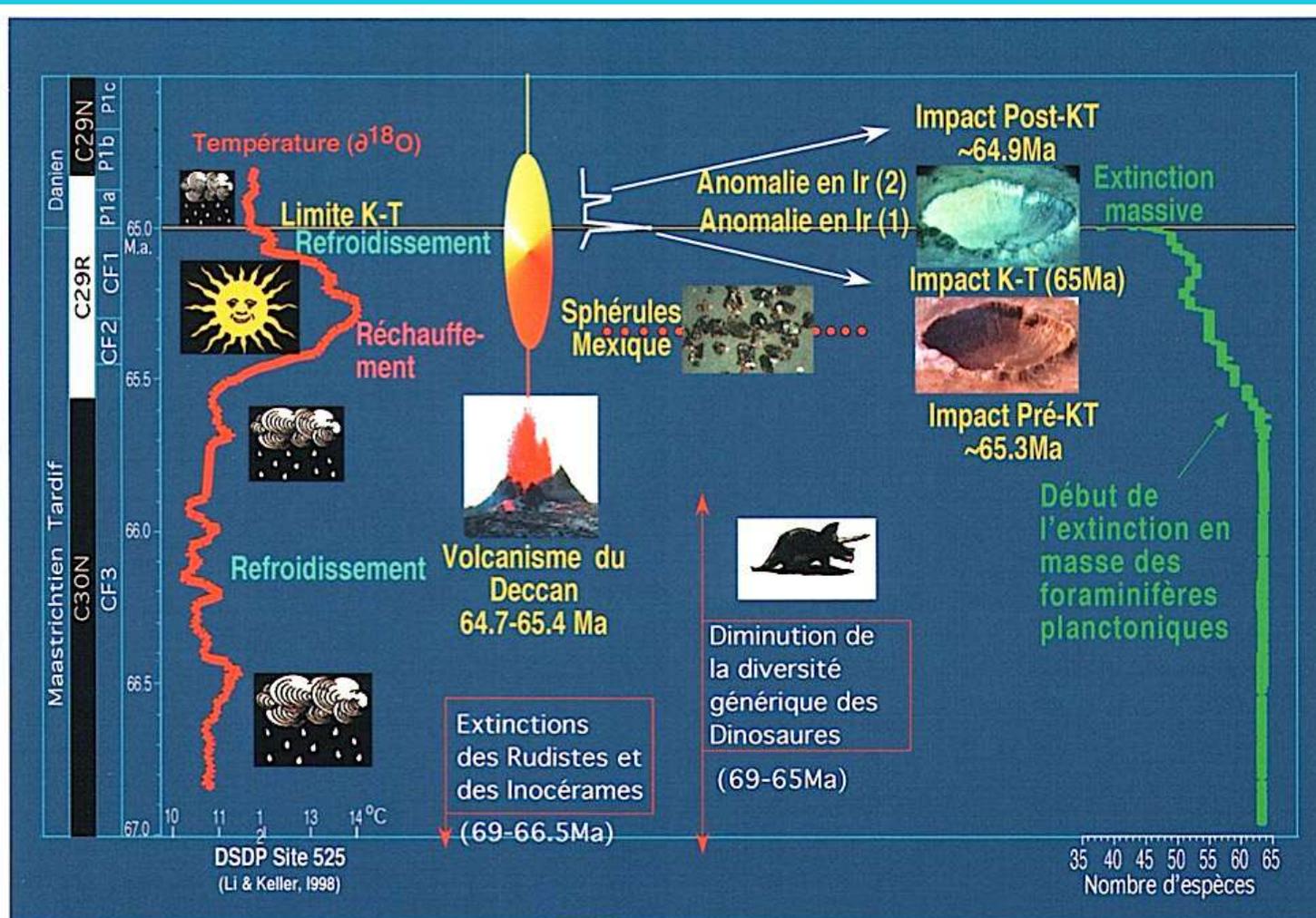
La colonne synthétique des trapps du Deccan

La couche K/T a été découverte au milieu de la pile de basaltes !

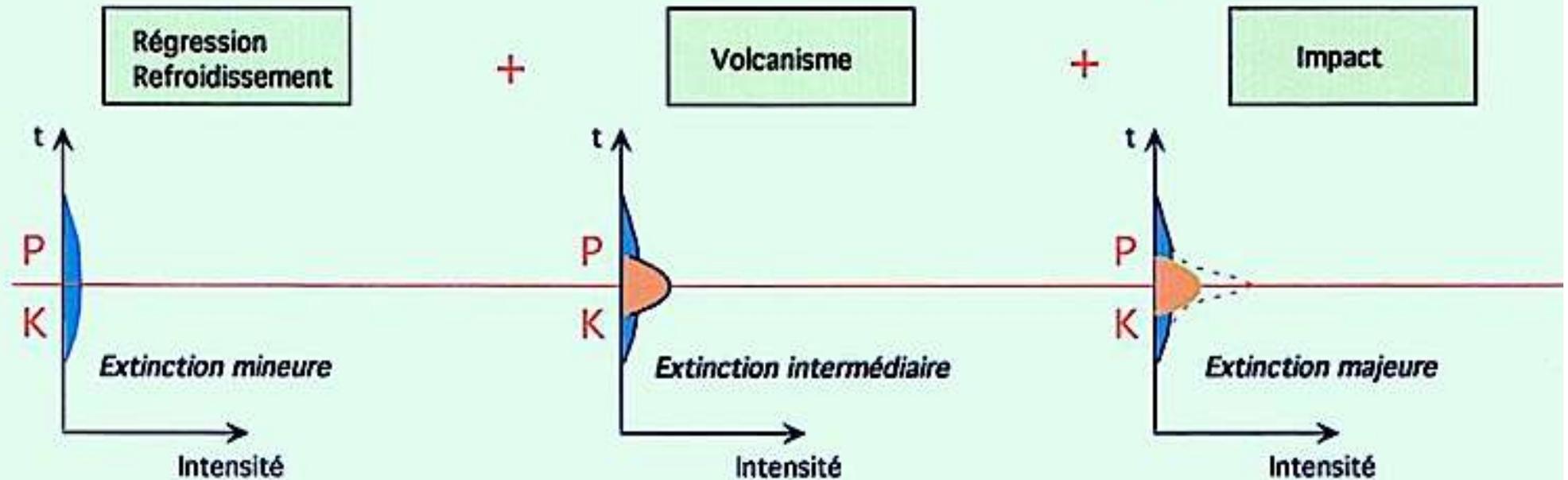


Datation des trois "méga-pulses" des traps du Deccan.

L'hypothèses climatiques

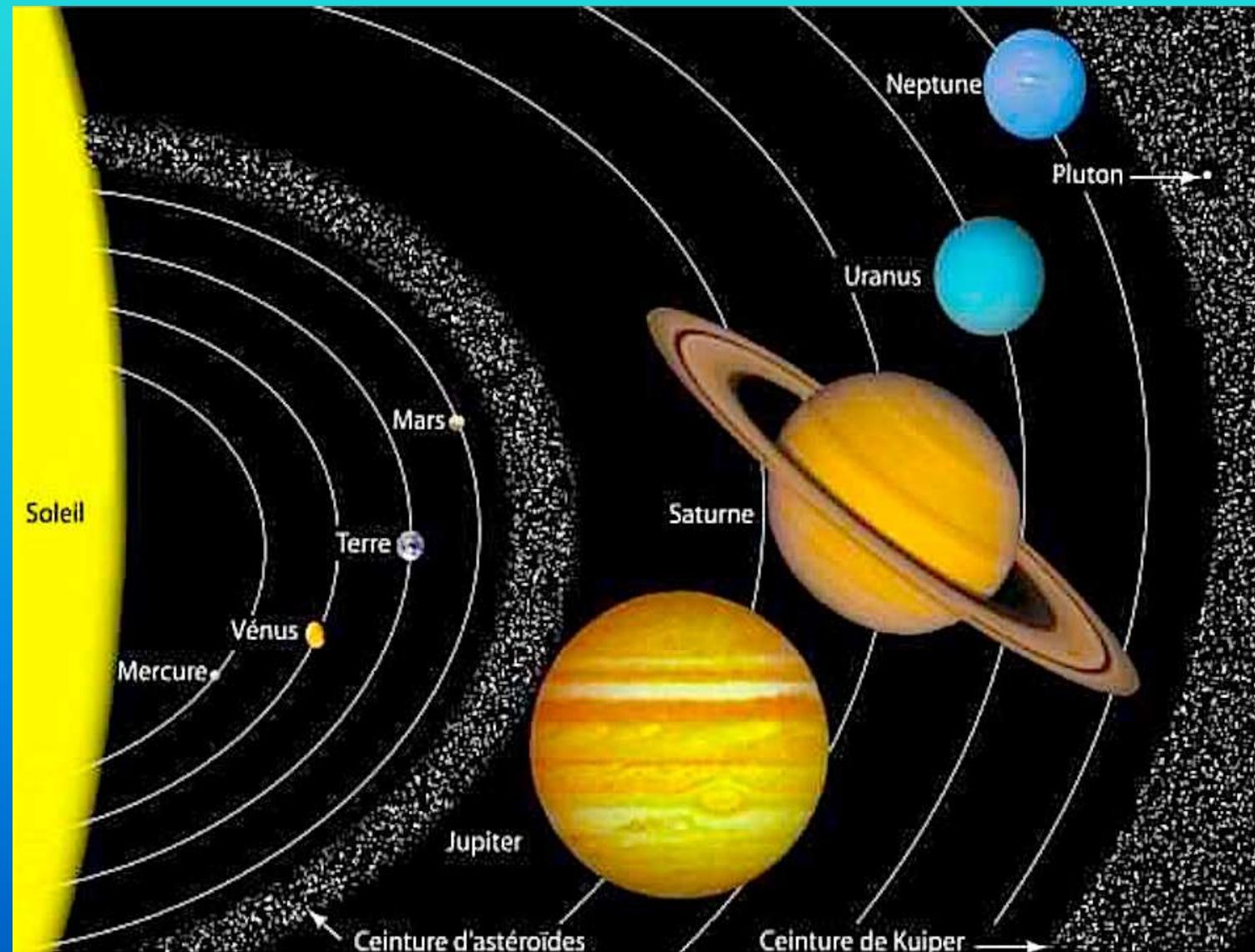


Conclusion N° 1 : La crise K/T est le résultat de causes néfastes multiples...



Des causes de longue durée et graduelles, qui ont duré des millions d'années (régressions du niveau marin, refroidissement global, volcanisme), et des causes brutales et instantanées (un ou plusieurs impacts de météorites...)

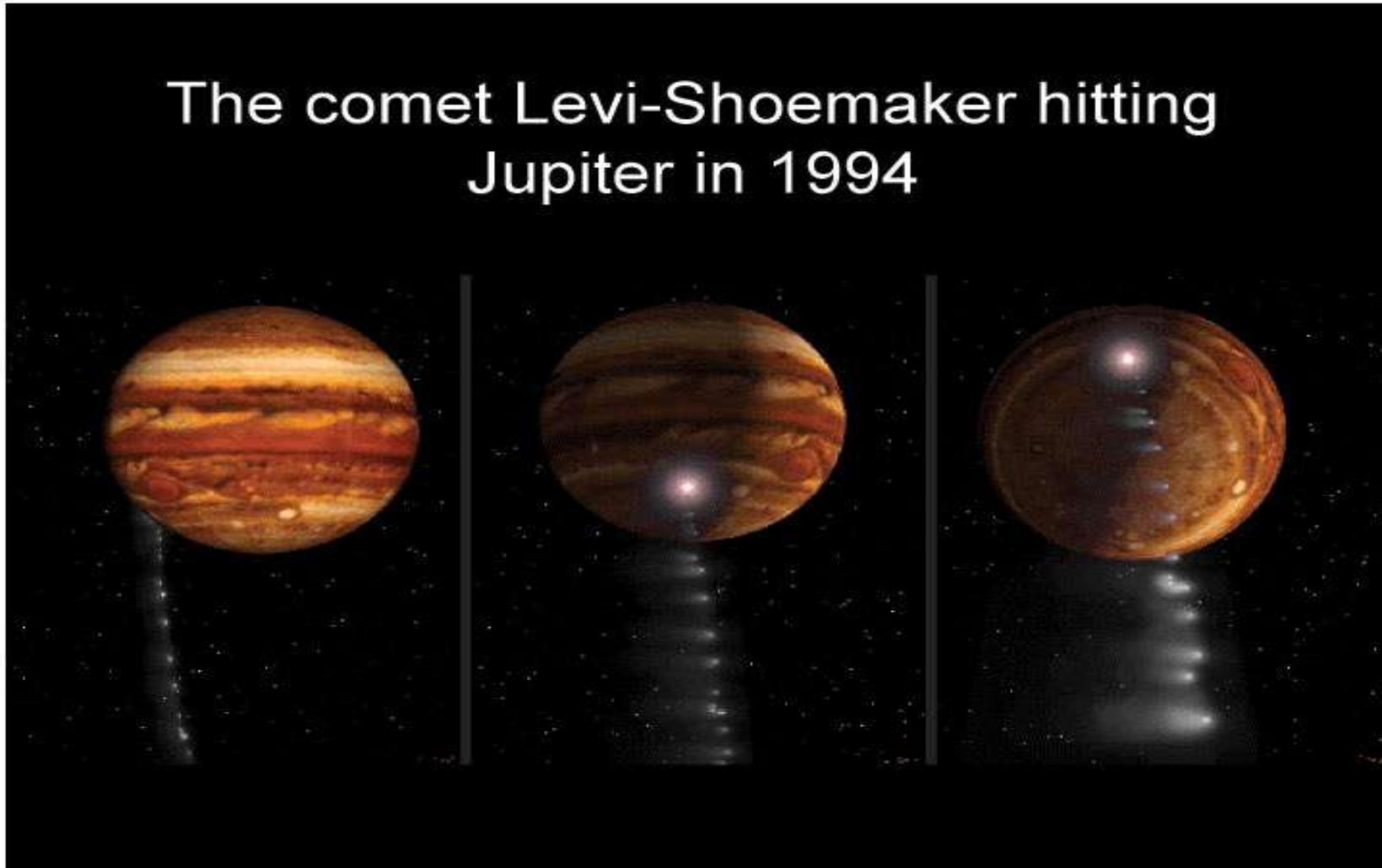
Conclusion n° 2 : la Terre n'est pas seule dans l'espace, elle fait partie du Système solaire...



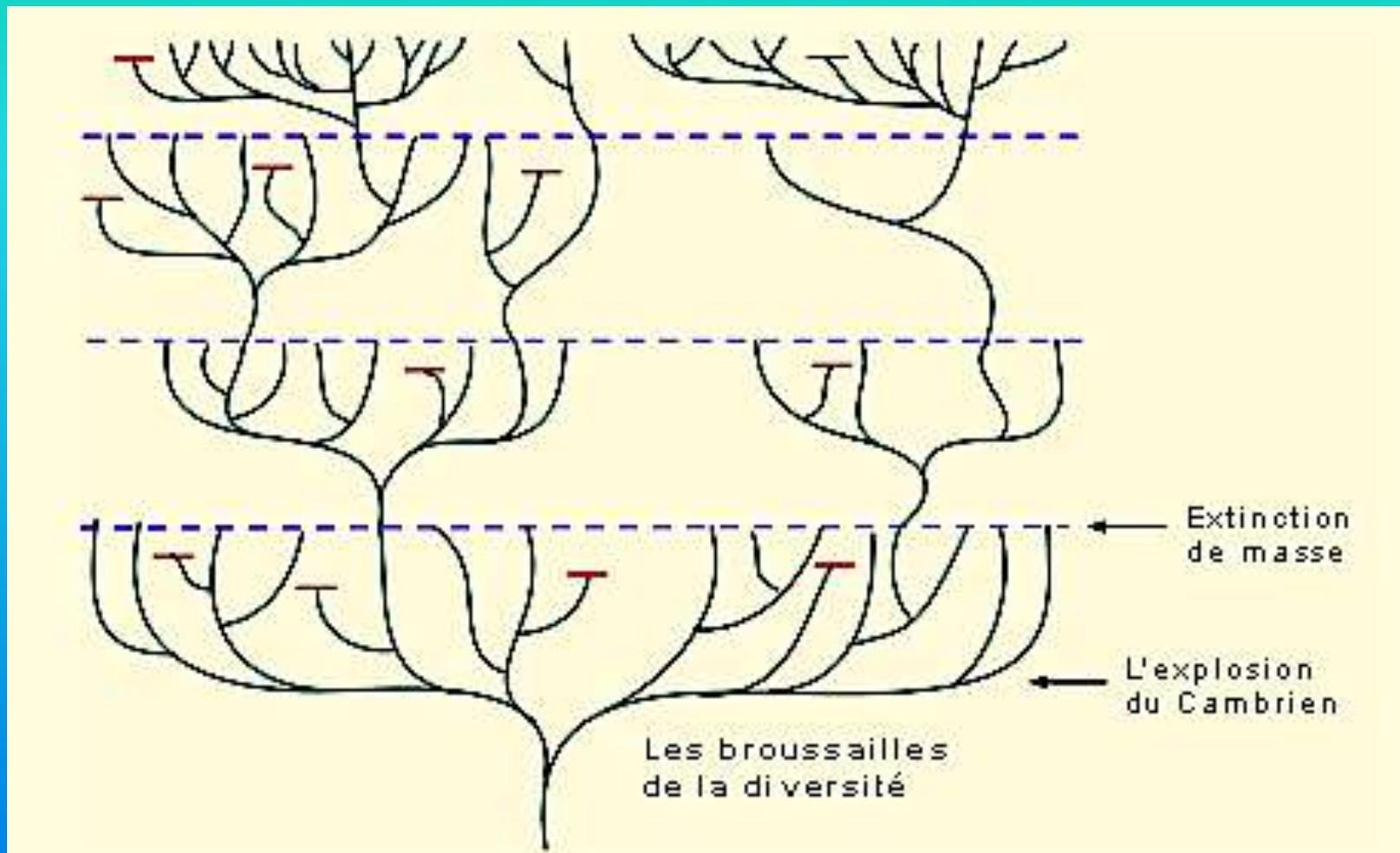
**Est-ce qu'un tel
désastre pourrait
survenir à nouveau
à notre époque ?**

OUI ! En été 1994, le monde entier a assisté en direct à la collision d'une comète avec Jupiter !

The comet Levi-Shoemaker hitting Jupiter in 1994



Conclusion n° 3 : la loterie de l'évolution...



L'évolution de la vie sur notre planète a connu d'énormes coups de ciseaux aléatoires, dûs à d'immenses cataclysmes d'ampleur planétaire.

Conclusion n°4 : la grande chance des Mammifères...

Purgatorius



- Ptilodus



Ptilodus, un mammifère primitif du Paléocène

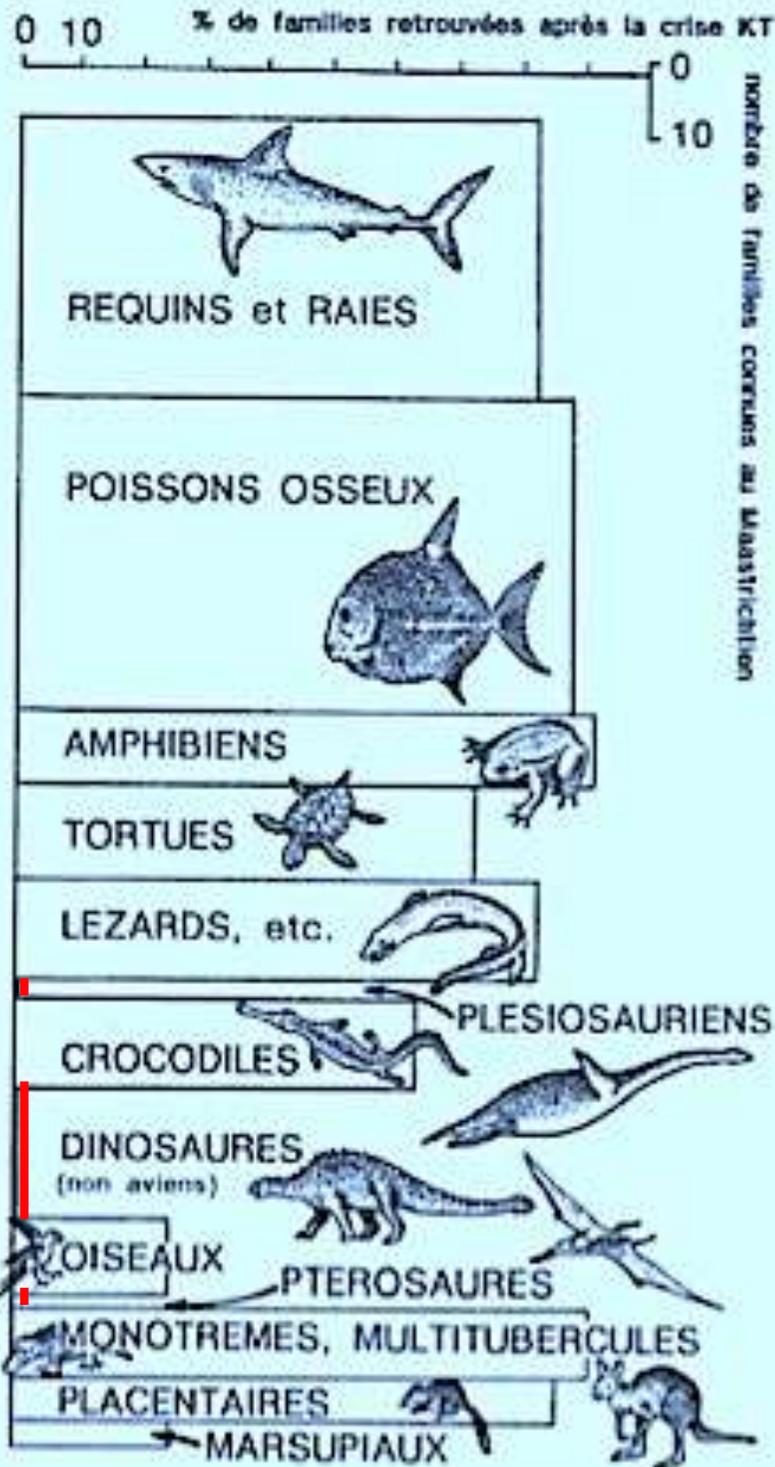
- L'extinction en masse de la crise K/T a favorisé l'émergence, puis la radiation des Mammifères

POISSONS :
près d'une
centaine
de familles
connues
à la fin
de l'ère
secondaire

TOTAL POUR
LES VERTEBRES :
1 famille sur 3
disparaît, avec
1 espèce sur 2



MAMMIFERES :
environ
22 familles



Vertébrés

Ceux qui ont
survécu à la
crise K/T, et
les autres...



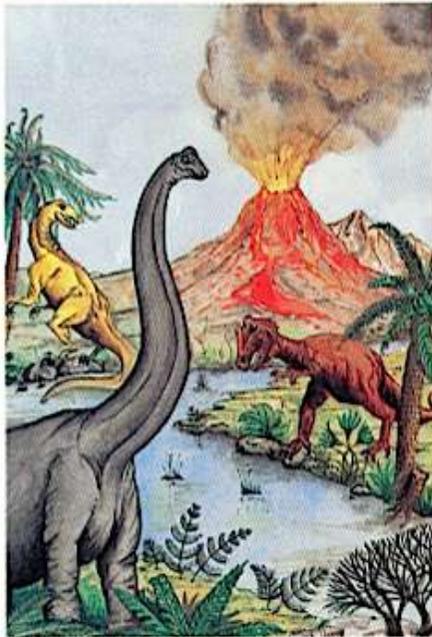
Caihong juji



**Merci pour votre
attention !**

Vincent Courtillot

La Vie en catastrophes



Fayard

les chemins de la science

VINCENT COURTILOT

NOUVEAU VOYAGE AU CENTRE DE LA TERRE



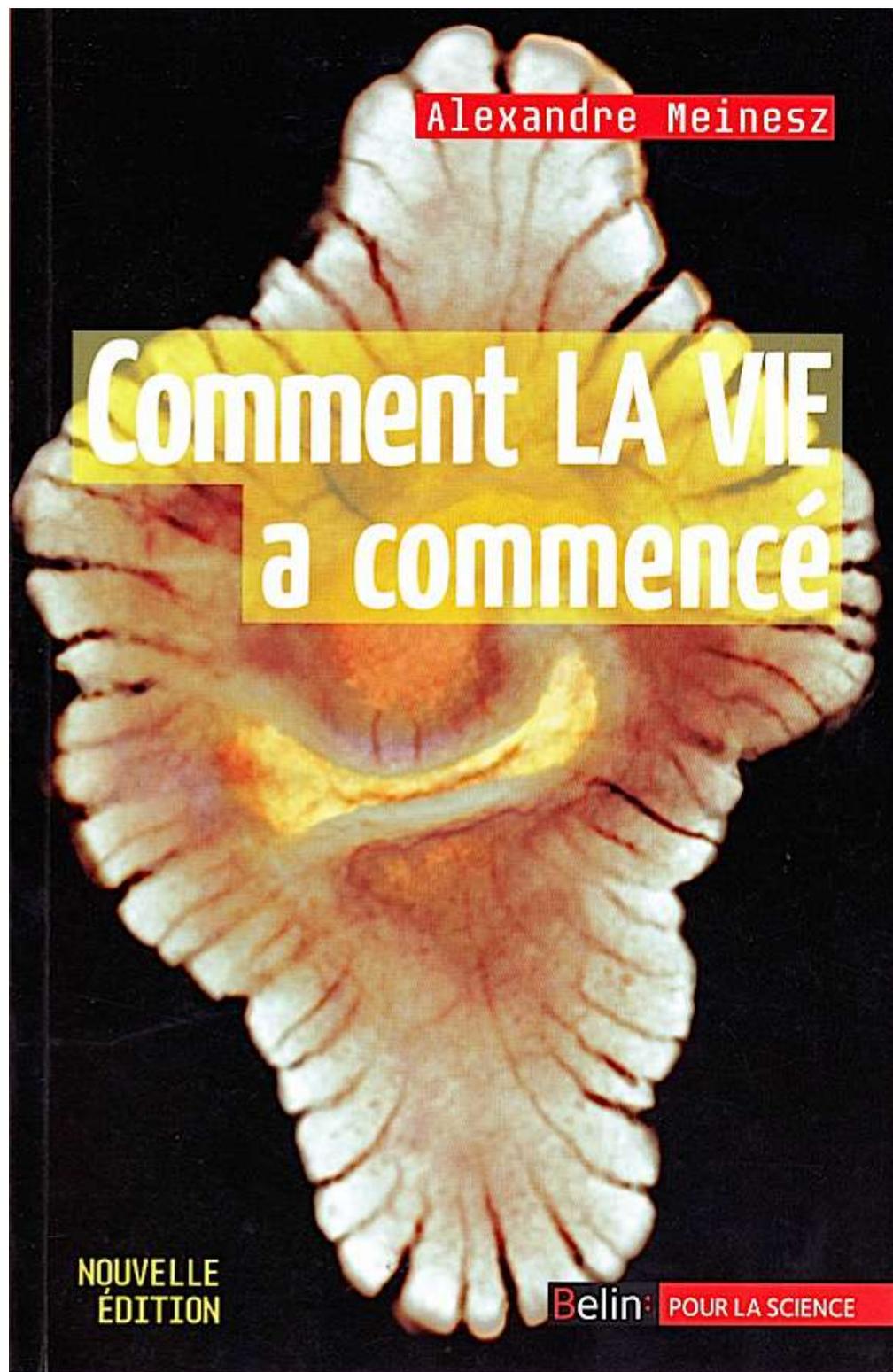
Odile
Jacob
sciences

Stephen Jay Gould

L'Éventail du vivant

LE MYTHE DU PROGRÈS

Seuil

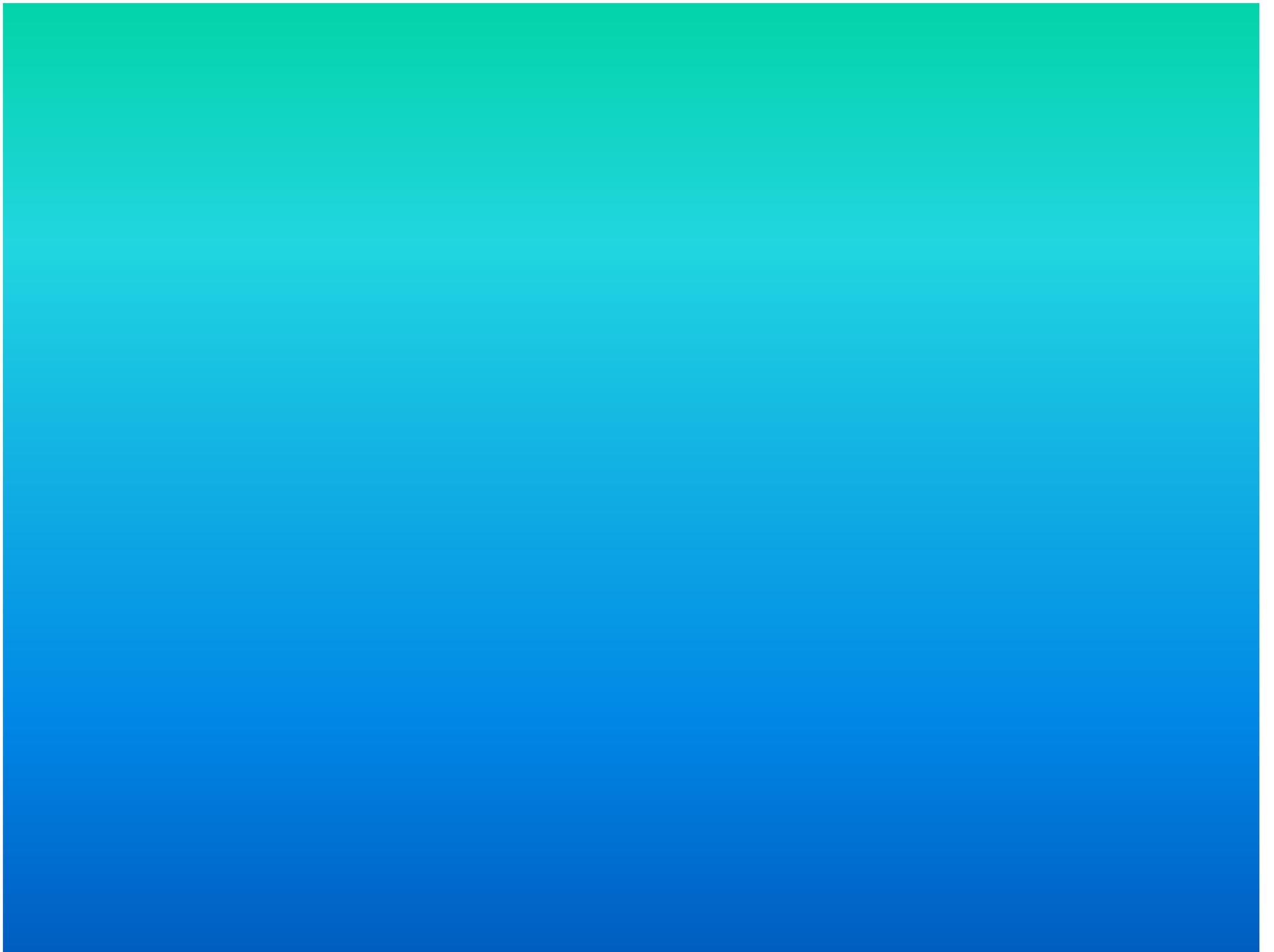


Alexandre Meinesz

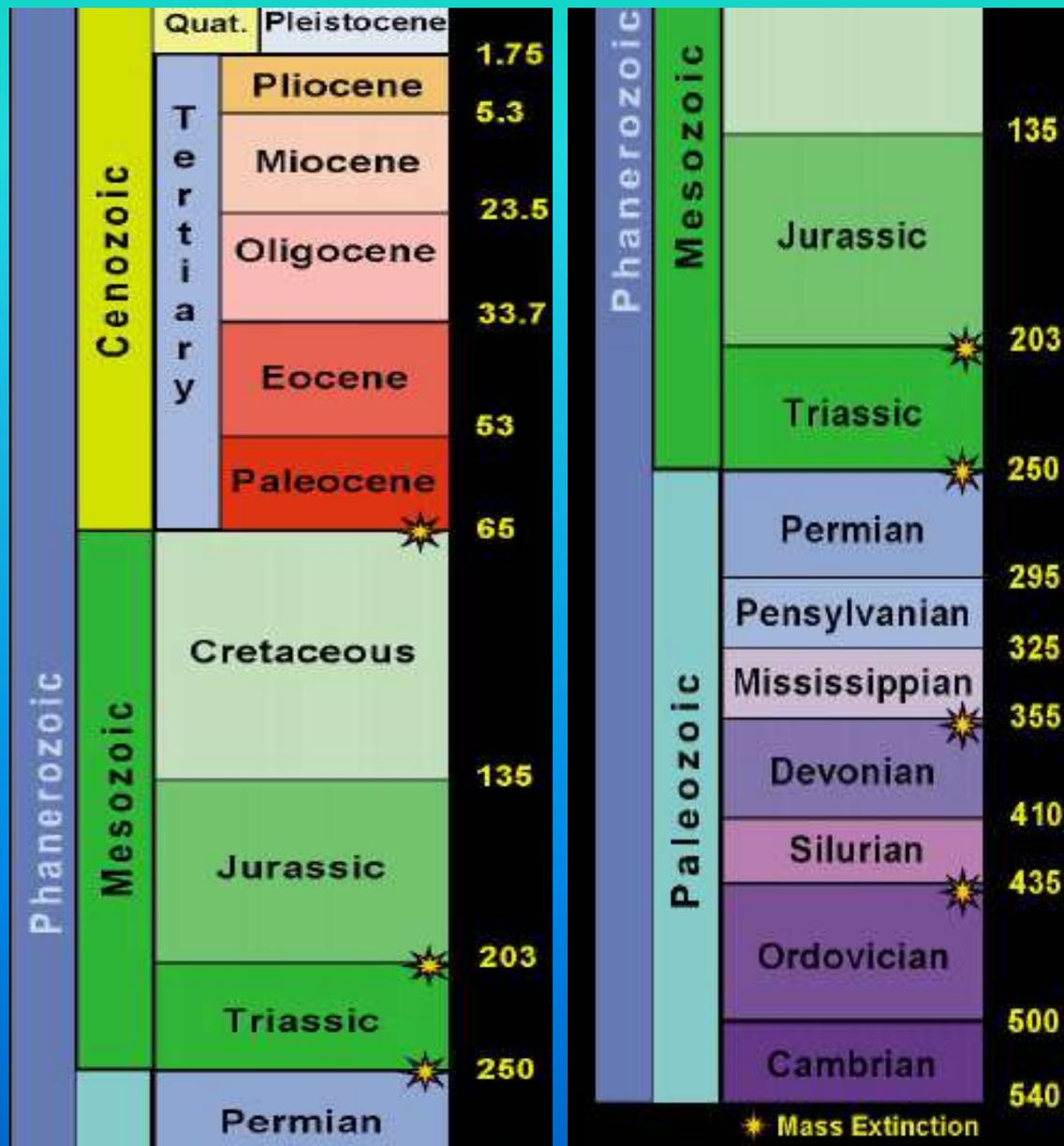
Comment LA VIE a commencé

NOUVELLE
ÉDITION

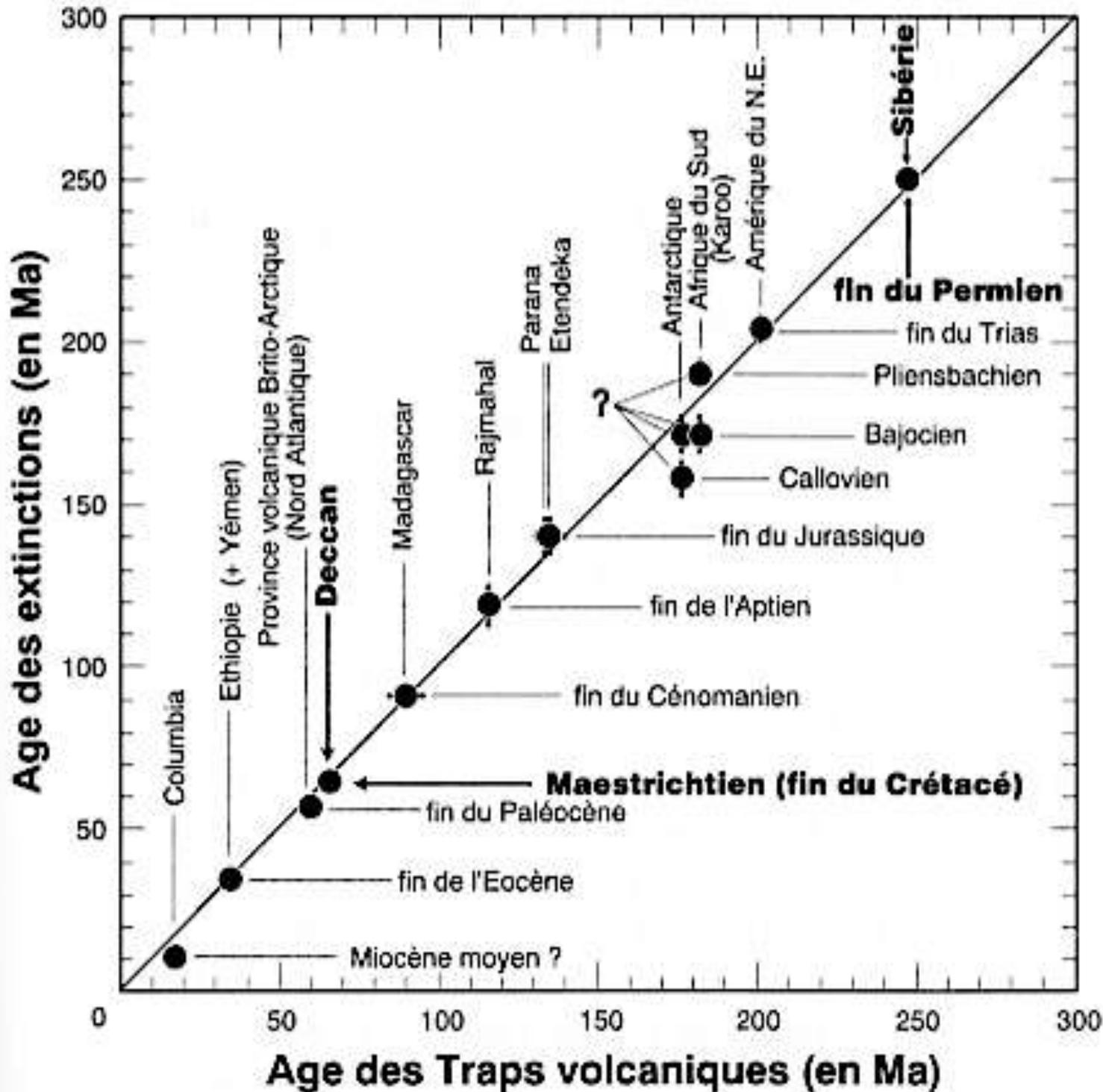
Belin POUR LA SCIENCE



Las 5 grandes extinciones en masa :



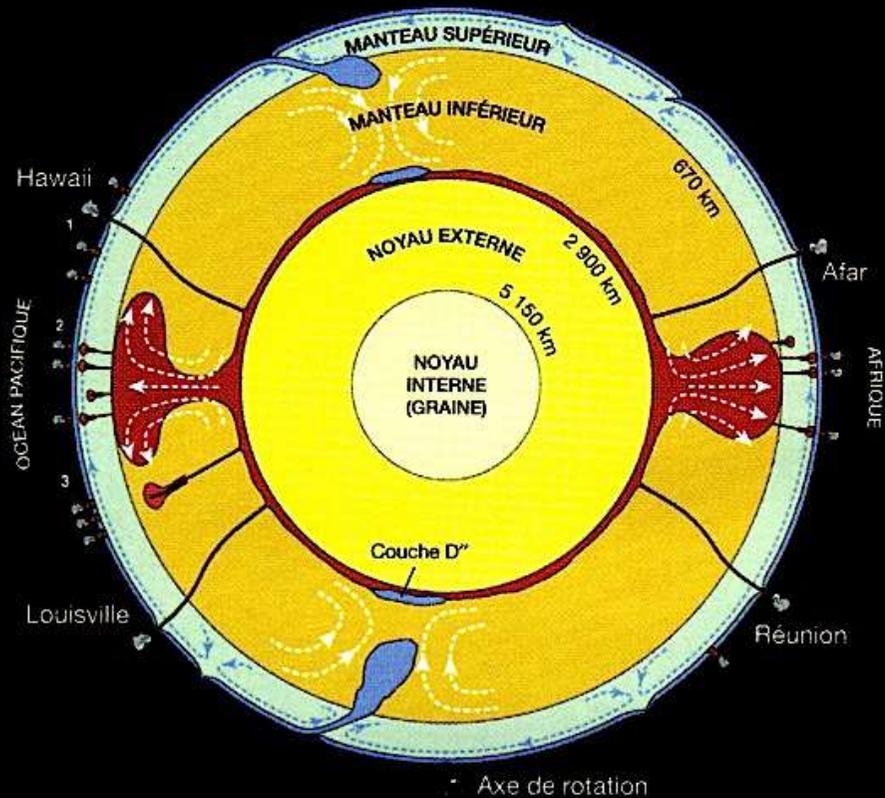
- **Limite K/T (65 Ma)**
- **Limite Triásico / Jurásico (200 Ma)**
- **Limite P/T (fin de la era Primaria, 250 Ma)**
- **Limite D/C (355 Ma)**
- **Limite O/S (435 Ma)**



Las grandes emisiones de traps, ¿causas principales de las extinciones en masa?

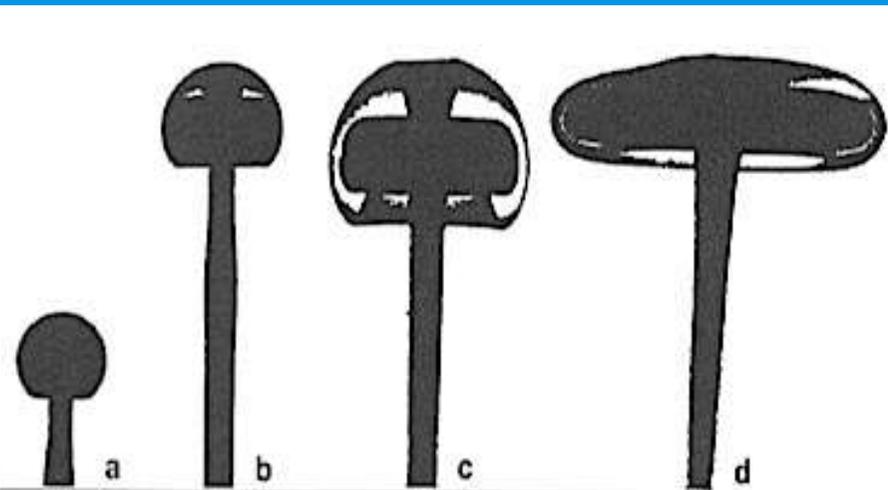
Correlación entre las edades de los traps et de las extinciones másivas, según V. Courtillot (2009)

Différents types de panaches et de points chauds



Modèles des panaches-points chauds

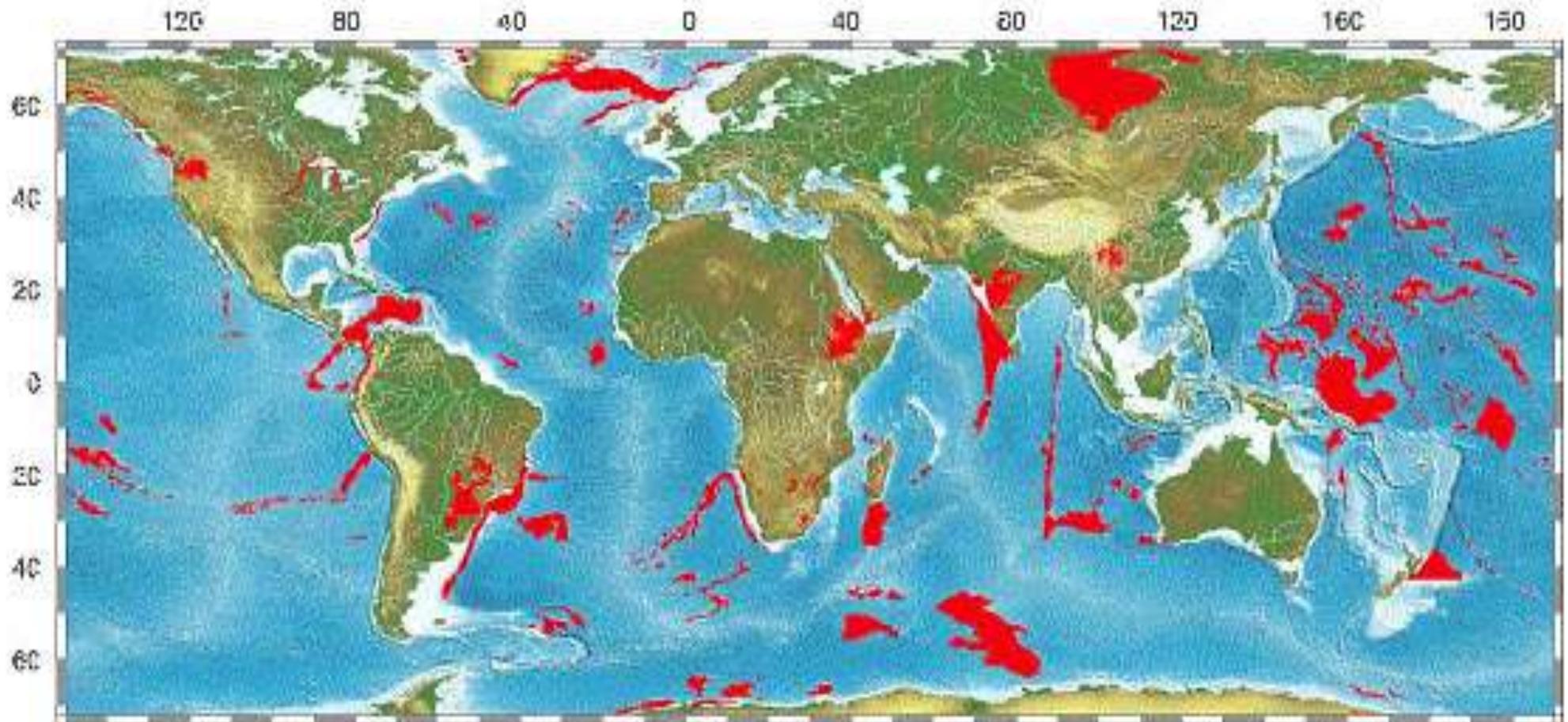
Coupe de la Terre montrant comment des matériaux très chauds montent à travers le manteau terrestre à partir de la couche D''.



Modèles analogiques réalisés en laboratoire. Photographies de l'ascension de panaches de sirop de glucose coloré chauffés à 80°C, dans un sirop de glucose incolore à 20°C.

Carte mondiale des traps basaltiques, encore appelés LIP (Large Igneous Provinces)

Large igneous provinces of the world

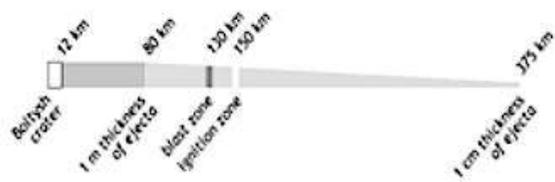
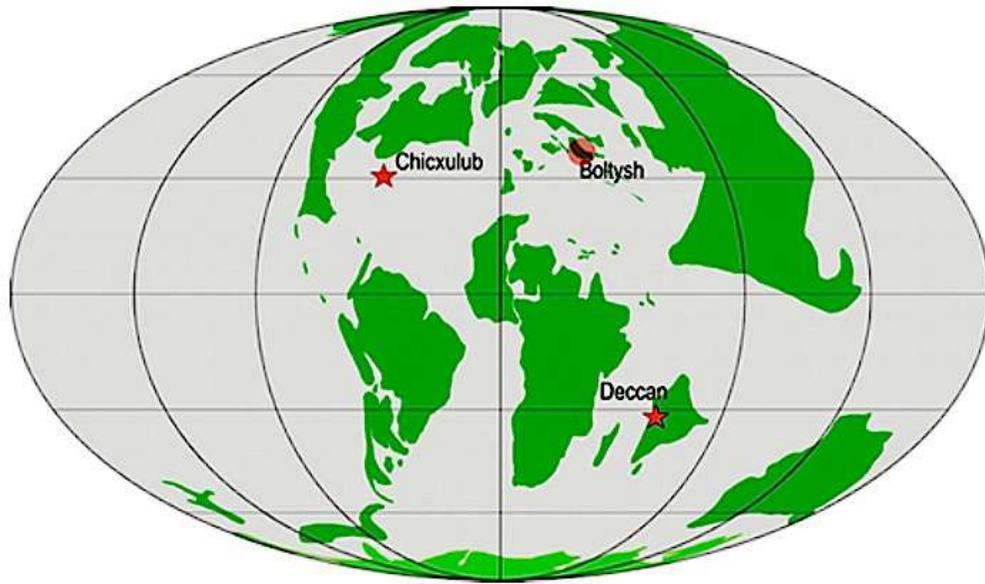


Une pluie de météorites ?

Quatre autres cratères d'impact ont été trouvés depuis, dont l'âge se situerait autour de 65 Ma:

- Le cratère de **Boltys** en Ukraine
 - Le cratère de **Shiva** en Inde
- Le cratère de **Silverpit** au fond de la mer du Nord
- Le cratère de **Small Point** dans le Maine (USA)

Chicxulub n'est plus tout seul !



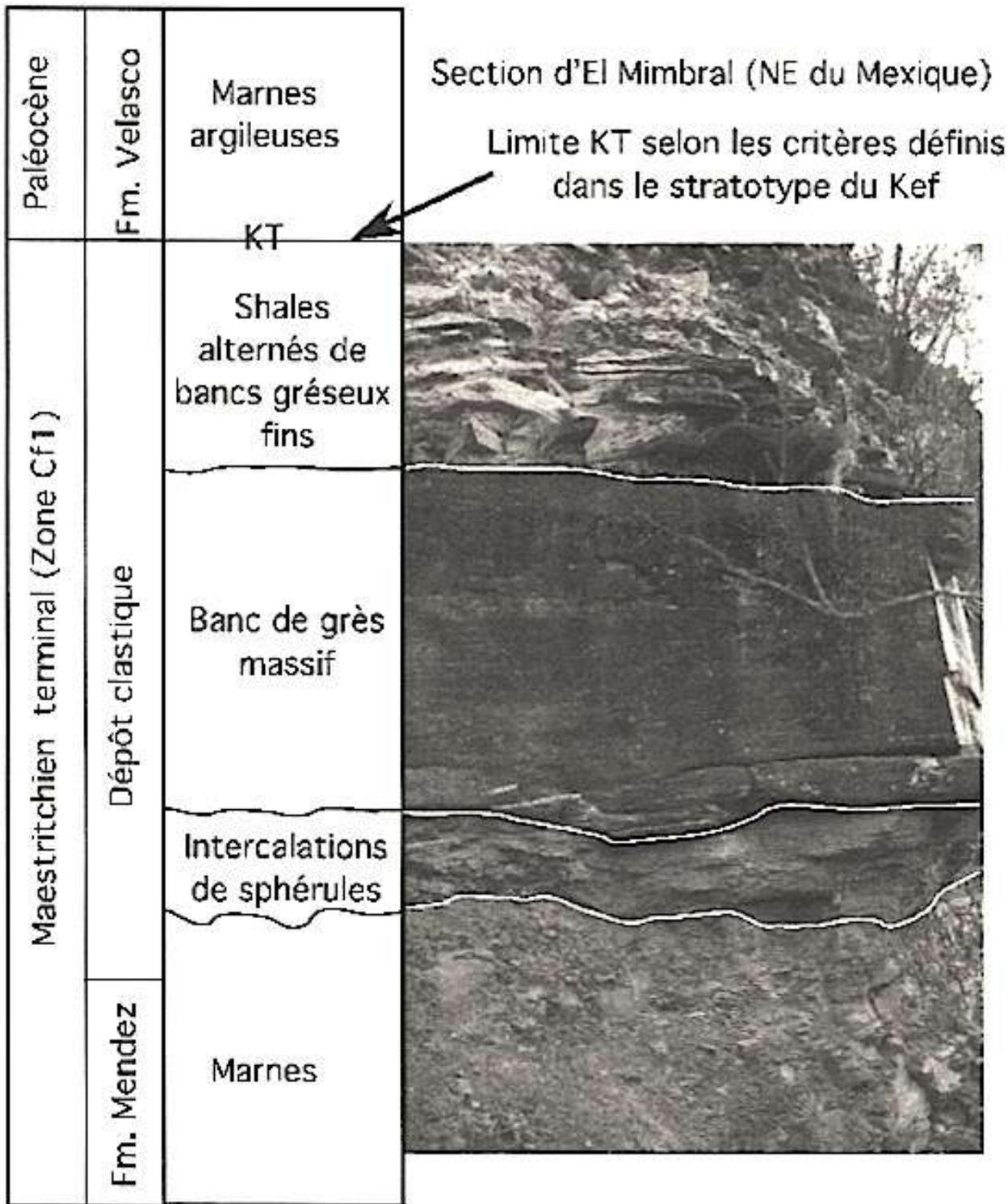
Le cratère d'impact de Boltysch en Ukraine est le mieux documenté

Âge : $65,17 \pm 0,64$ Ma.

Diamètre : 24 km.

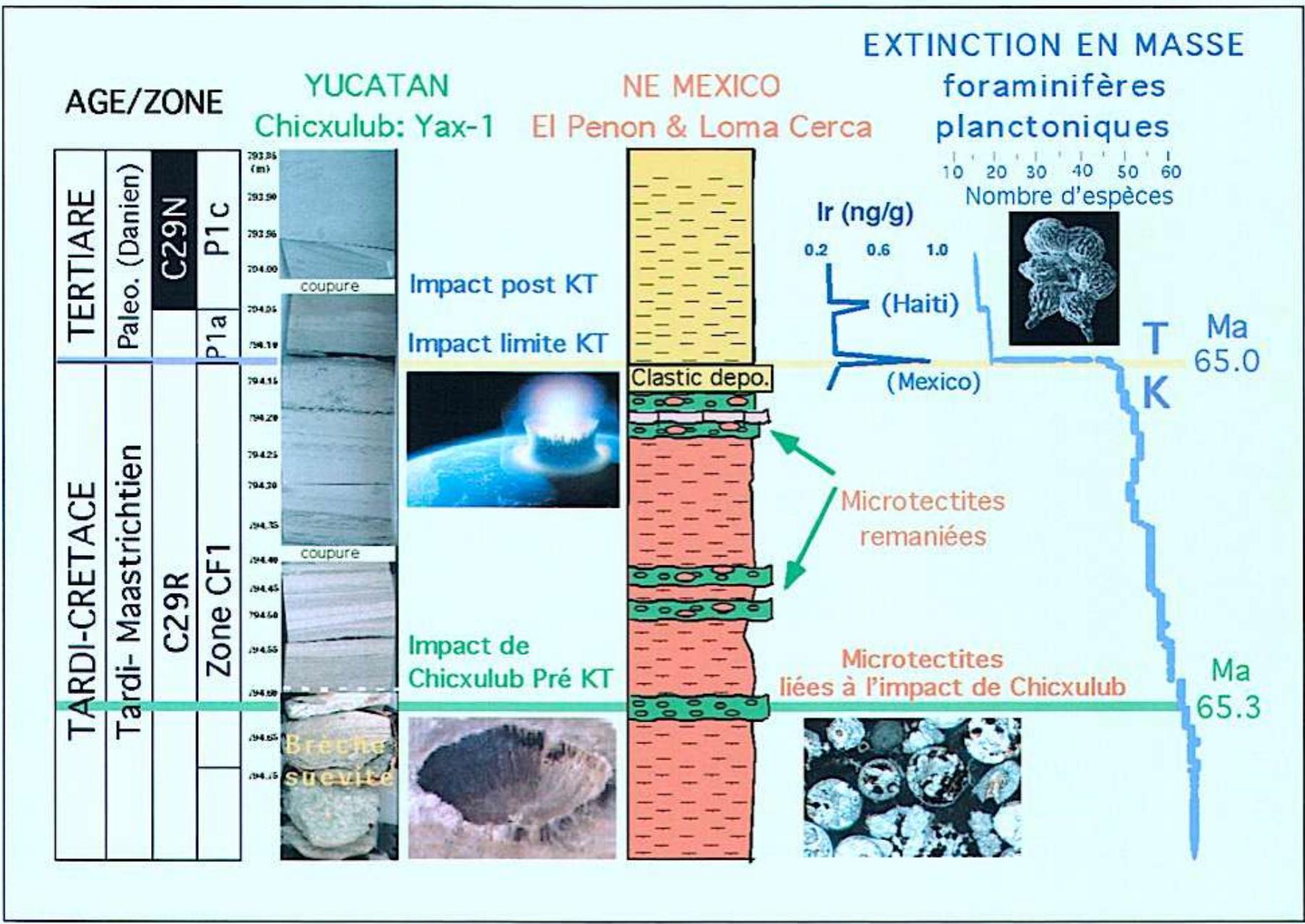
Superficie des brèches d'
impact : 6.500 km² visibles
(25.000 km² probables).

Pic central de 6 km de
diamètre.



Plusieurs impacts ?

Les paléontologues défendent l'hypothèse qu'il y eut plusieurs impacts, et non un seul...



Ces arguments sont âprement discutés ...