



« On occasional mass extinction of species » : existence et causes de grandes catastrophes liant l'évolution de la Vie et celle de la Terre

Vincent Courtillot

Institut de Physique du Globe de Paris et Université Paris-Diderot
Institut Universitaire de France

Colloque « Modernité de l'évolution : hommage à Darwin » 30 juin 2009
Institut de France

C. Darwin, *On the origin of species*, ch. X

« On the theory of natural selection the extinction of old forms and the production of new and improved forms are intimately connected together. »

« The old notion of all the inhabitants of the earth having been swept away at successive periods by *catastrophes* is very generally
given up...»

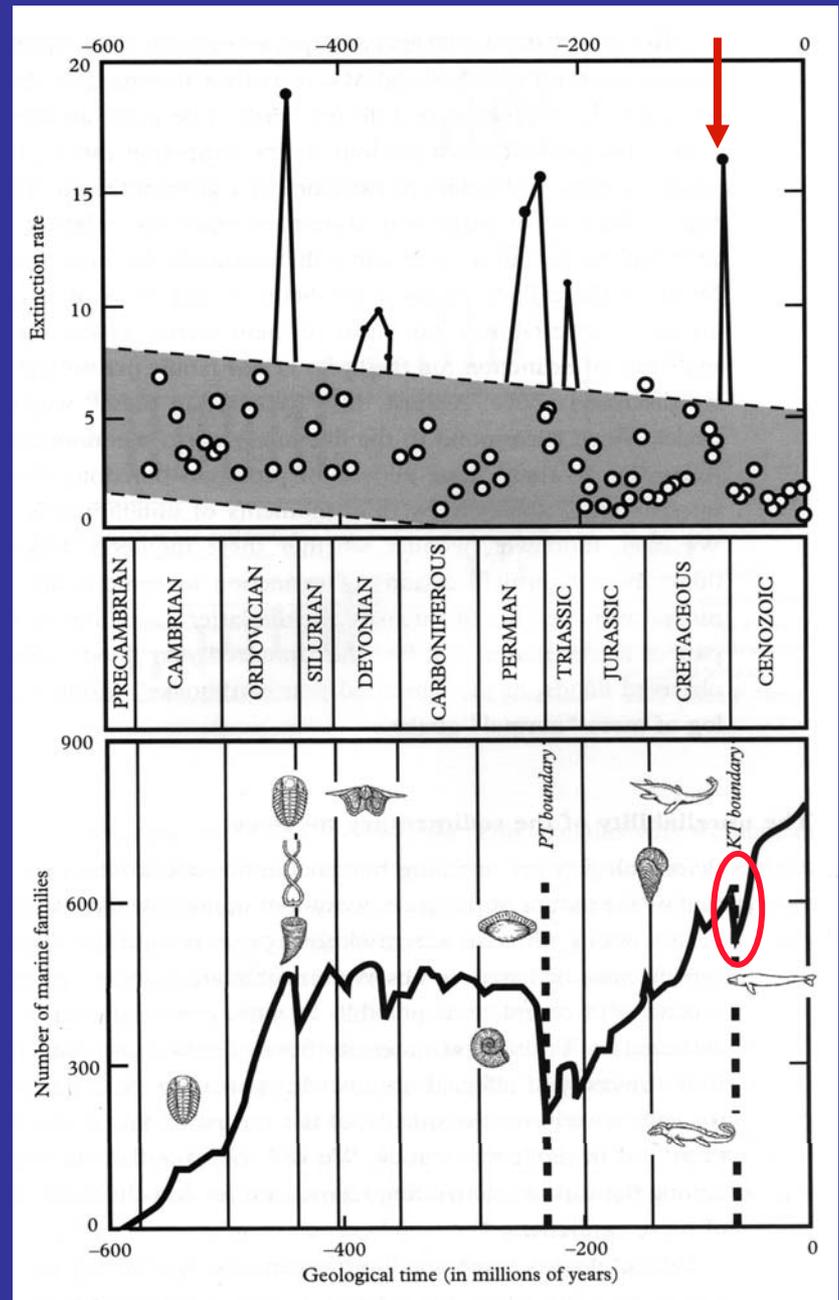
« On the contrary, we have every reason to believe (...) that species and groups of species
gradually disappear...»

« In some cases, however, the extermination of whole groups of beings, as of ammonites towards the close of the secondary period, has been *wonderfully sudden*.»

« With respect to the apparently sudden extermination of whole families or orders,(...) we must remember what has been already said on the probable wide intervals of time between our consecutive formations; and in these intervals there may have been much *slow* extermination. »

« Bruit de fond » des
extinctions et
extinctions en masse

Crétacé-Tertiaire

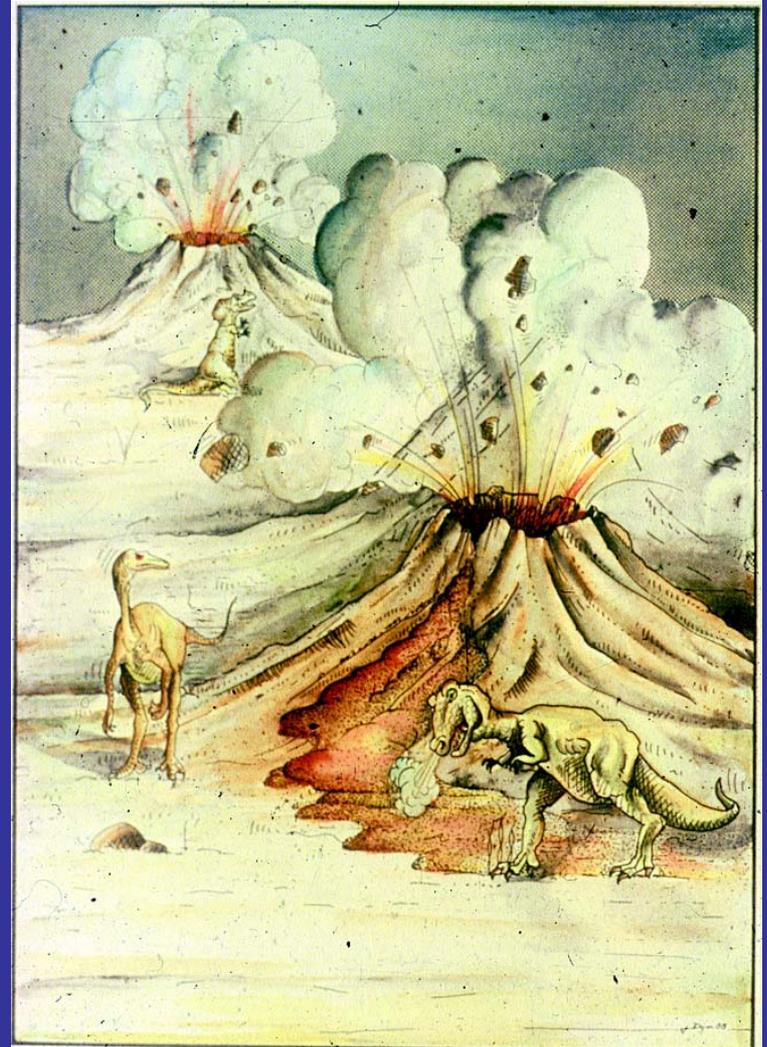
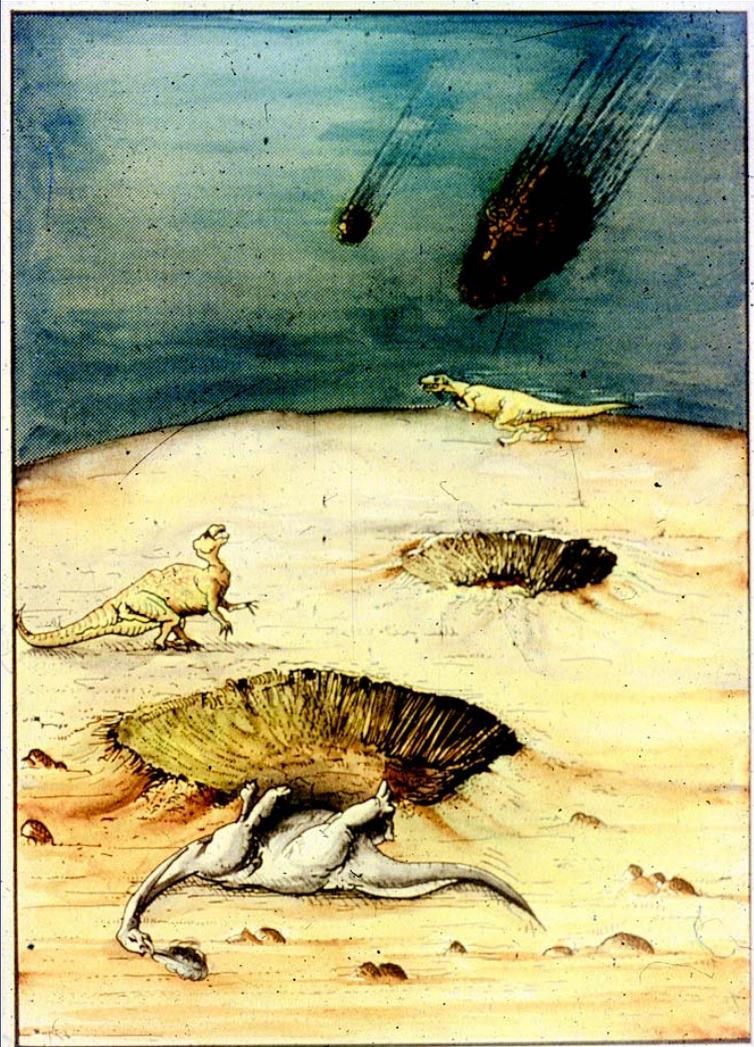


Qu'est ce qui a tué
les dinosaures
à la limite
Crétacé-Tertiaire,
il y a 65 millions
d'années ?

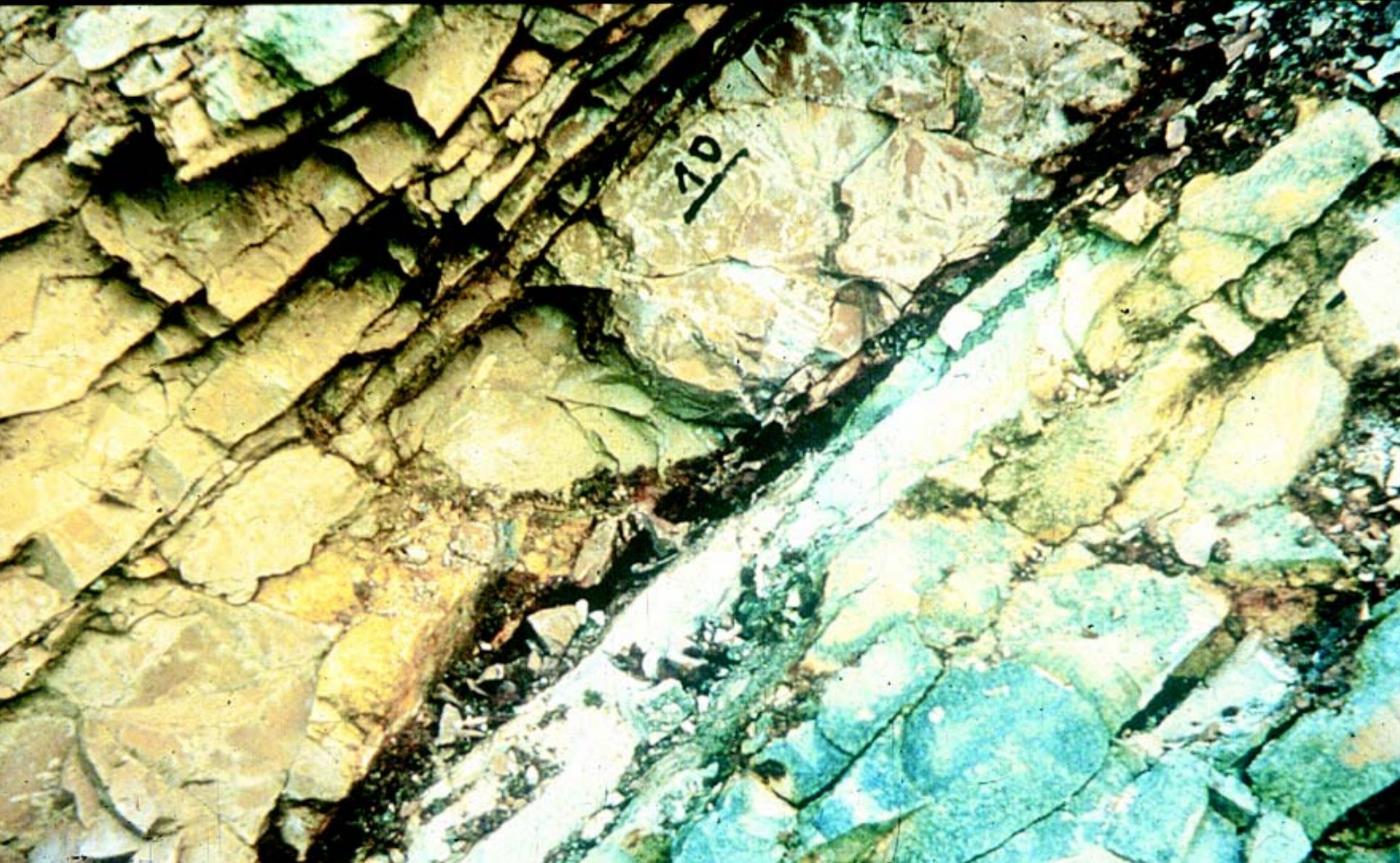


On trouve rarement un dinosaure dans son jardin. Non pas que ce soit impossible, mais il faudrait que les conditions soient particulières. Découvrir un dinosaure, ou tout autre fossile de ce genre, est un mélange de chance et de travail assidu. Beaucoup de découvertes ont été faites, et se feront encore sur un coup de chance: un promeneur attentif, une pelleteuse creusant des fondations ou une autoroute, etc. Mais ceci ne veut pas dire pour autant qu'il suffise de creuser pour trouver un squelette. Si la chance est parfois au rendez-vous, ce n'est pas une question de hasard. Les dinosaures et autres animaux contemporains vécurent pendant l'ère secondaire. On ne les trouve donc que dans des roches datant de cette époque.

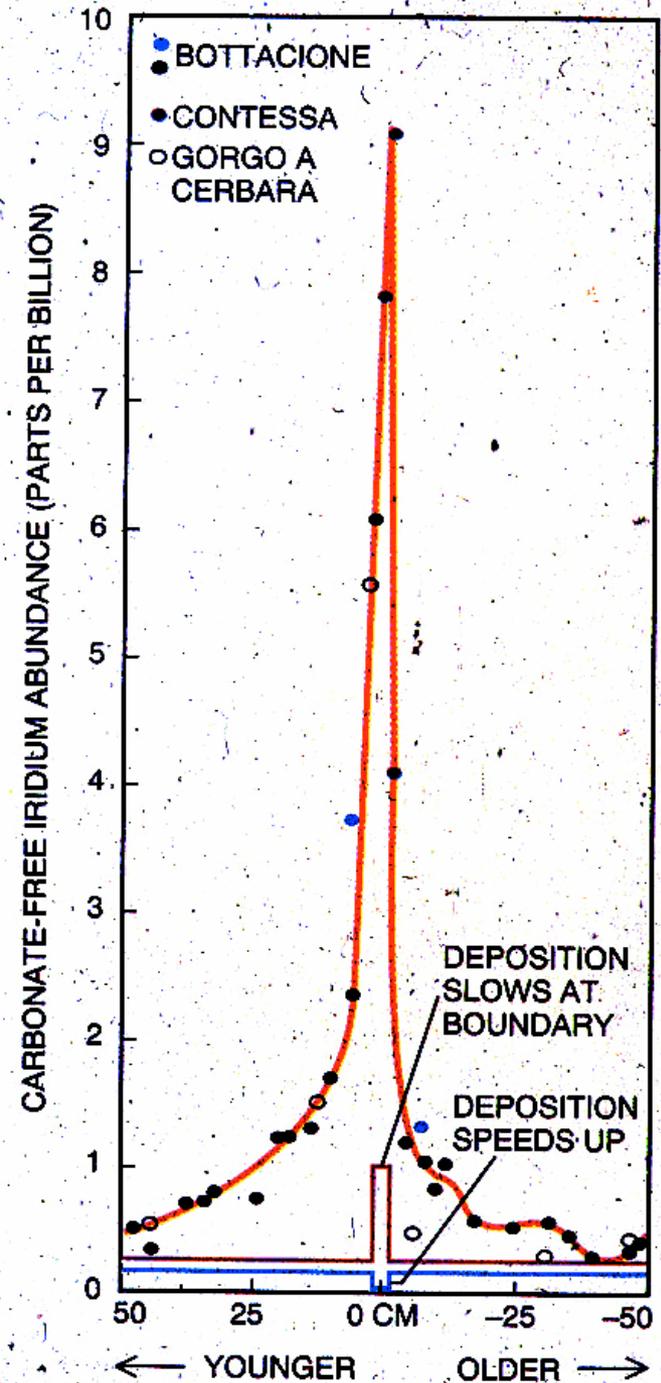
Deux théories principales ont été proposées au cours des trois dernières décennies

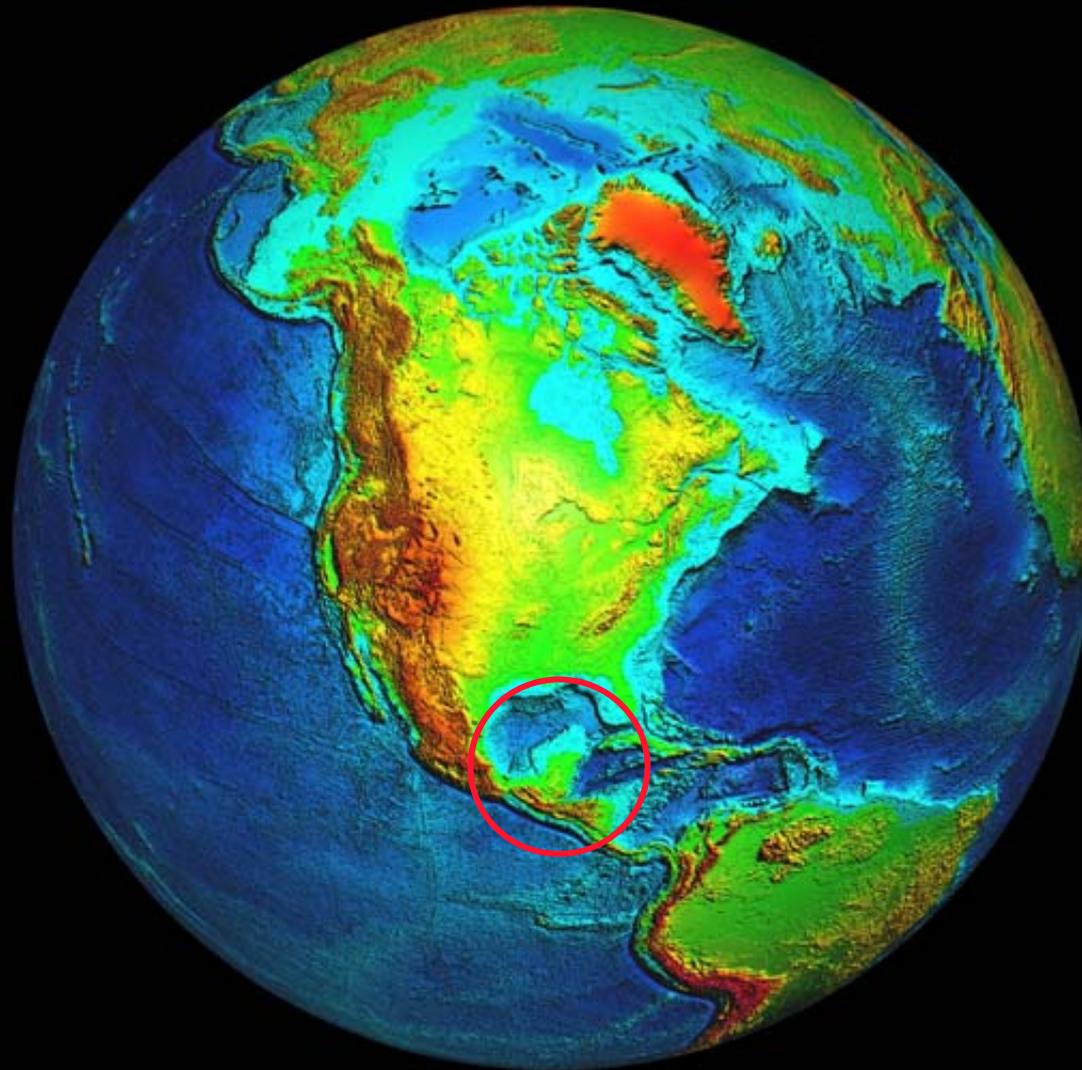


A Gubbio (Italie) la fameuse « limite KT »...



...révèle une concentration anormalement élevée d'iridium.

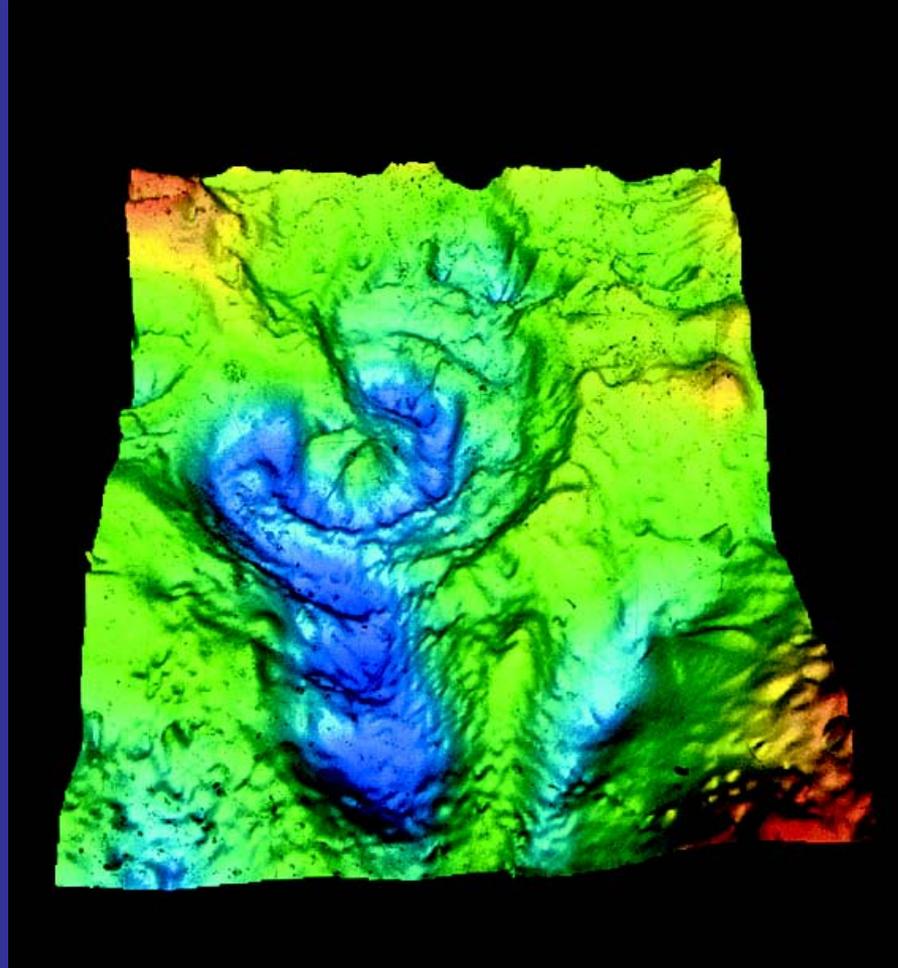


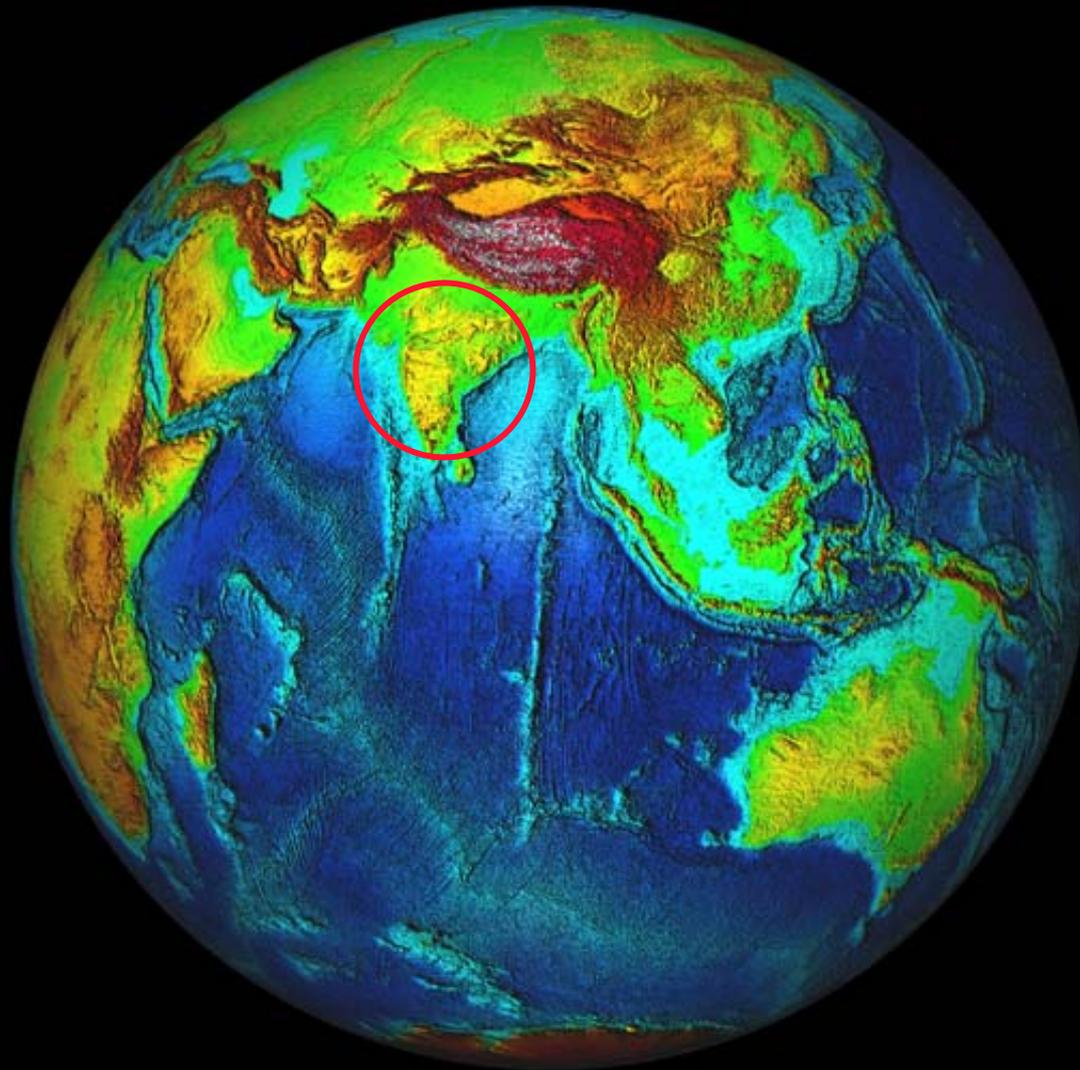


45°N, 90°W

C'est au Yucatan que le cratère d'impact
a été retrouvé ...

... à Chicxulub, grâce à la gravimétrie





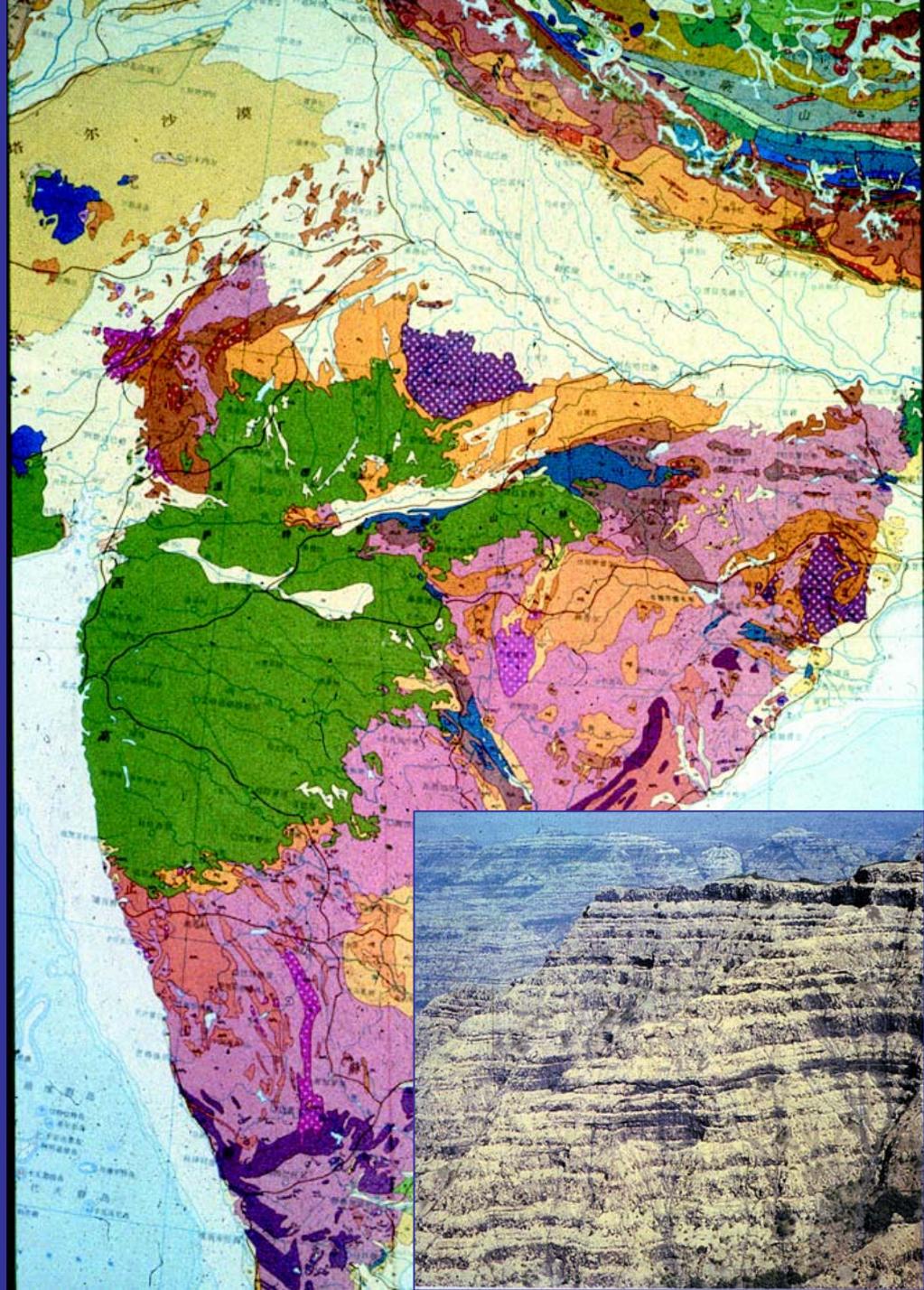
00°N, 90°E

En 1986, nous étions partis en Inde,
pour étudier les traps du Deccan

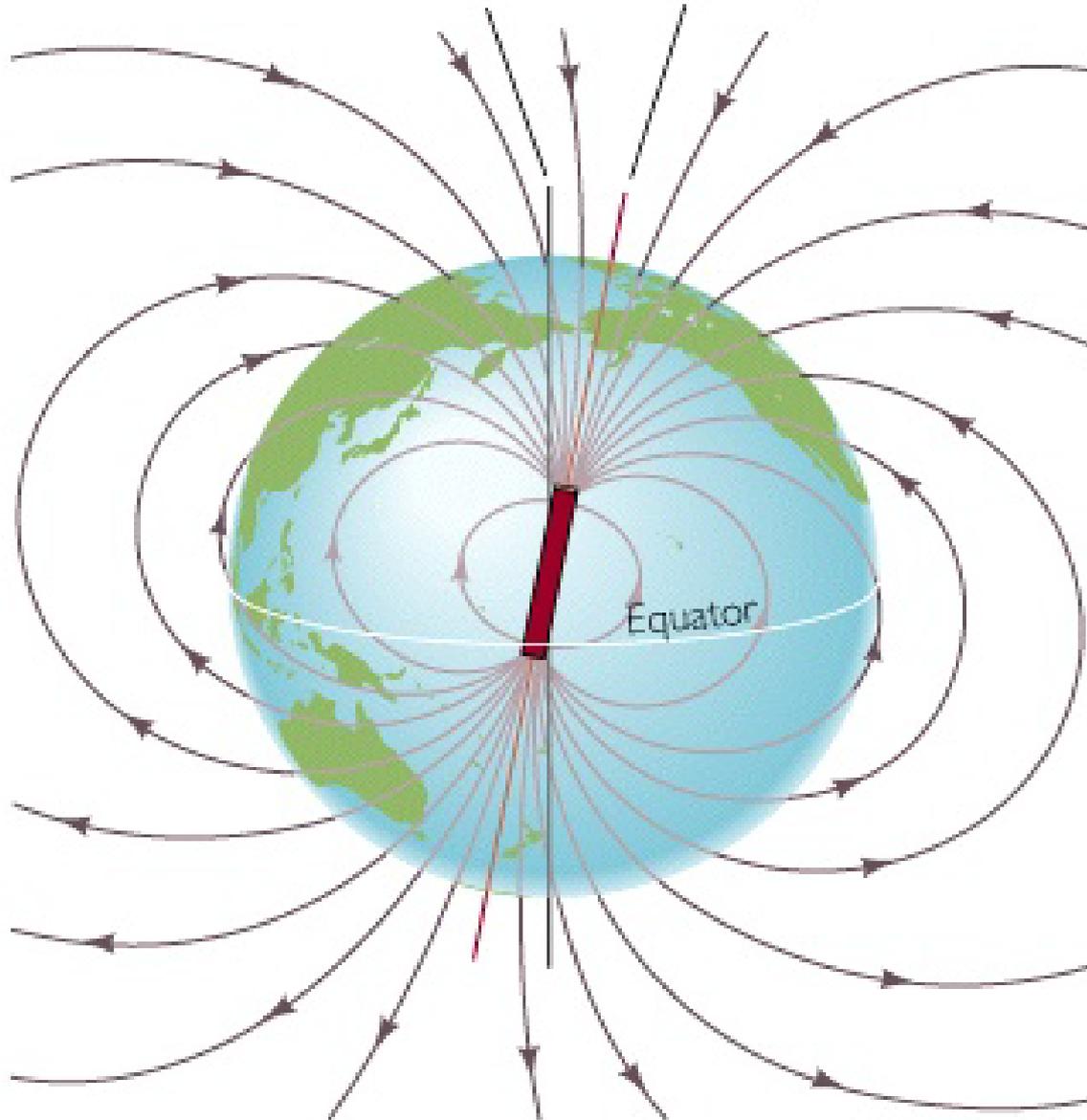
Les traps du Deccan :
quel âge ?
Quelle durée ?

La solution apportée
par la trilogie
paléomagnétisme -
géochronologie -
paléontologie

Commençons par la
mémoire magnétique
des laves ...



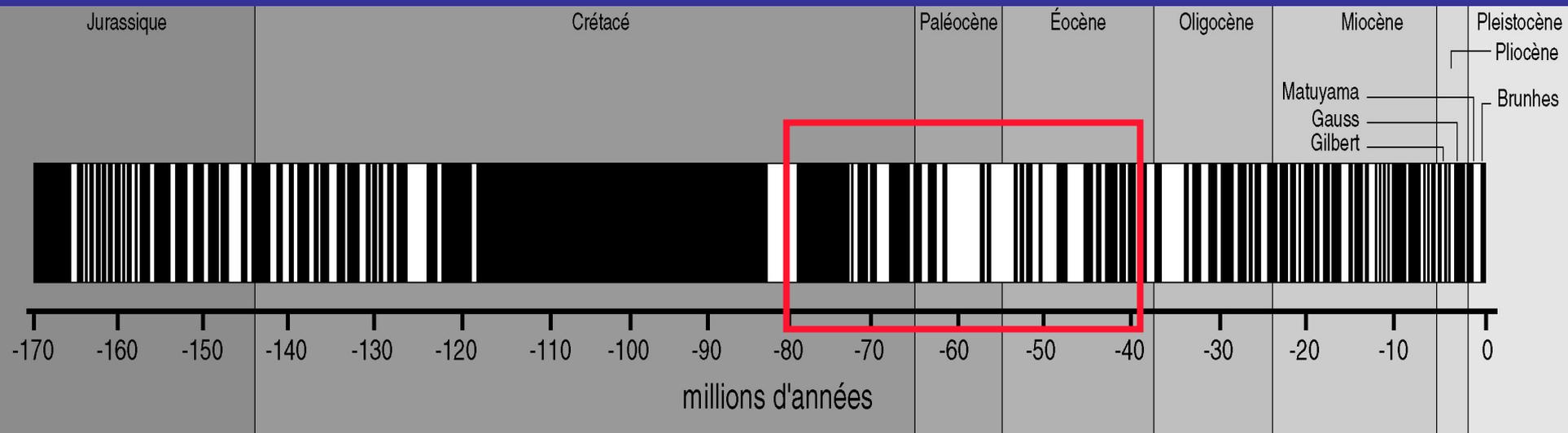
Geographic North Pole Magnetic South pole



Le champ magnétique terrestre est (en première approximation) celui d'un dipôle.

Il fluctue sans arrêt et il s'est fréquemment inversé, ce que les roches ont enregistré

Les inversions du champ magnétique terrestre : un véritable « code barre » qui permet de dater les roches



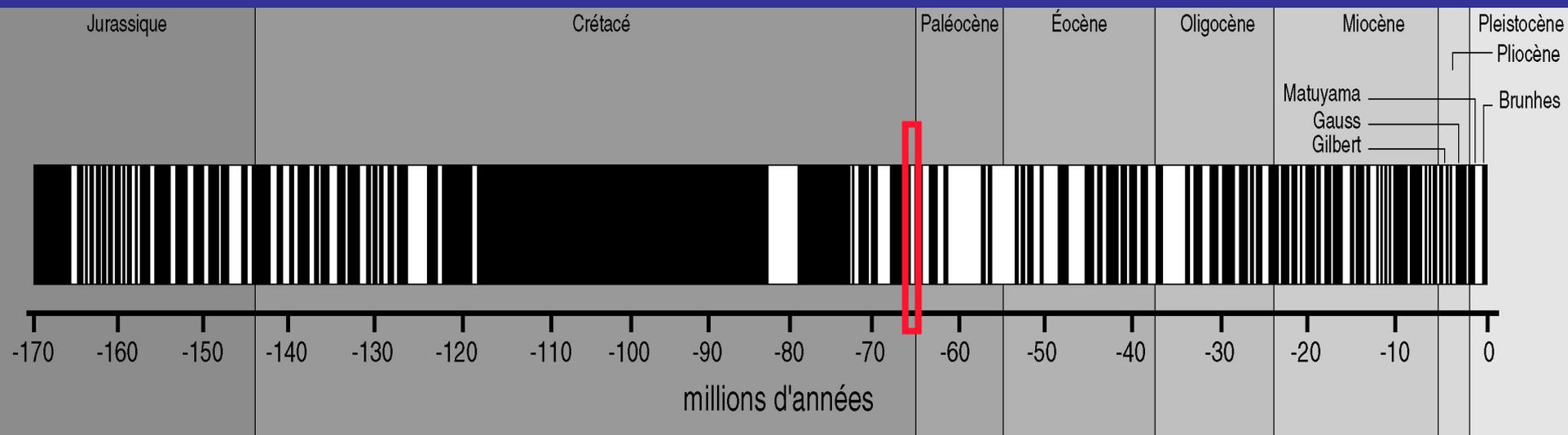
Seulement deux inversions dans le Deccan :
Les éruptions ont été brèves !

La datation par les isotopes du potassium et de l'argon

(analogue au « carbone 14 » des archéologues)

montre que les basaltes du Deccan ont
environ 65 millions d'années
(à 1 million d'années près)

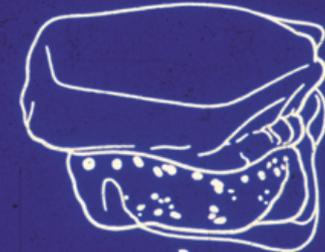
65 ± 1 Ma : le choix des solutions possibles se réduit à 2 ou 3



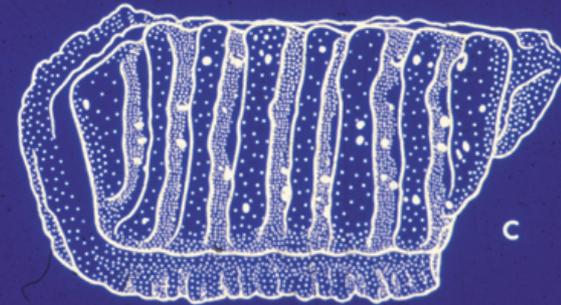
Cette unique
(et très petite)
dent de raie
« Igdabathys »
nous indique
la fin du Crétacé :
une seule corrélation
semble possible,
la limite KT



A



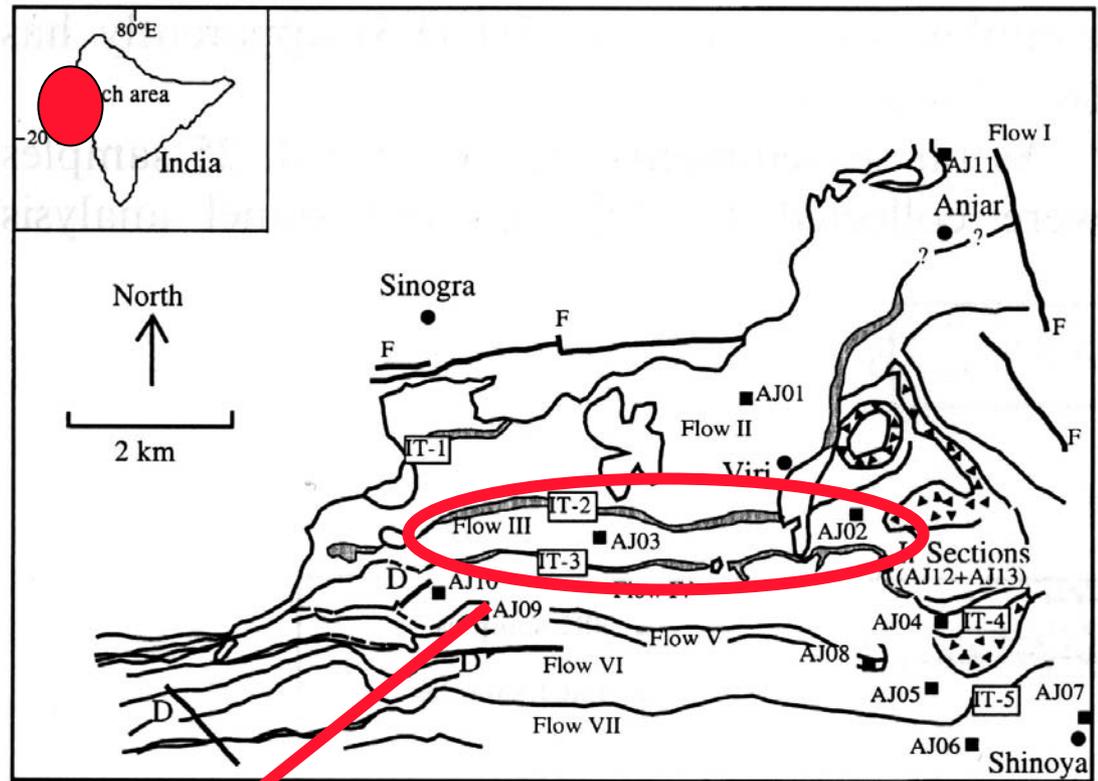
B



C

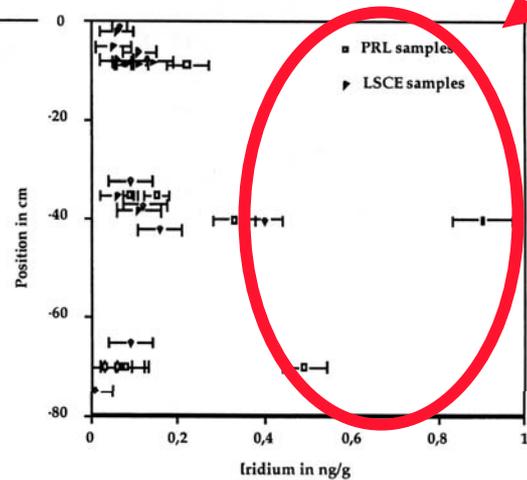
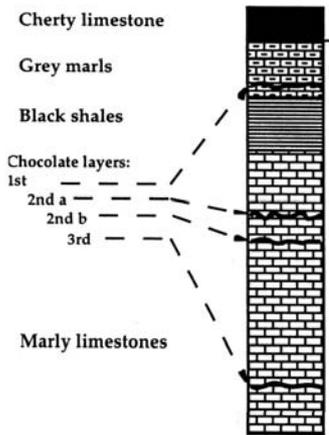
Figure 3

Le niveau à iridium a été retrouvé par Bhandari dans la province du Kutch, emprisonné entre deux coulées



A

ANJAR 1a



L'impact est donc postérieur au début des éruptions et ne peut les avoir causées

Bhandari et al, 1995; Rocchia

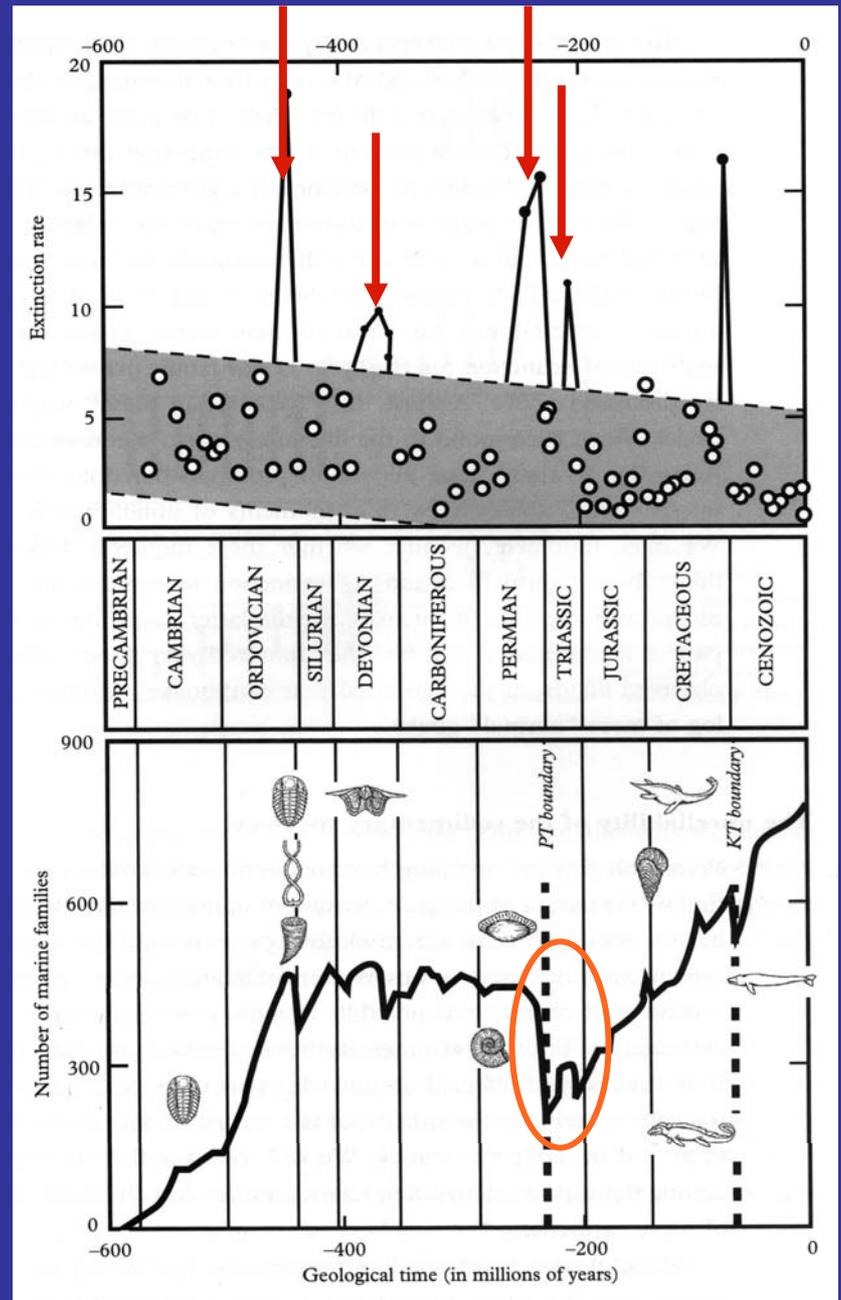
Les 4 autres grandes
extinctions en masse :

Ordovicien-Silurien

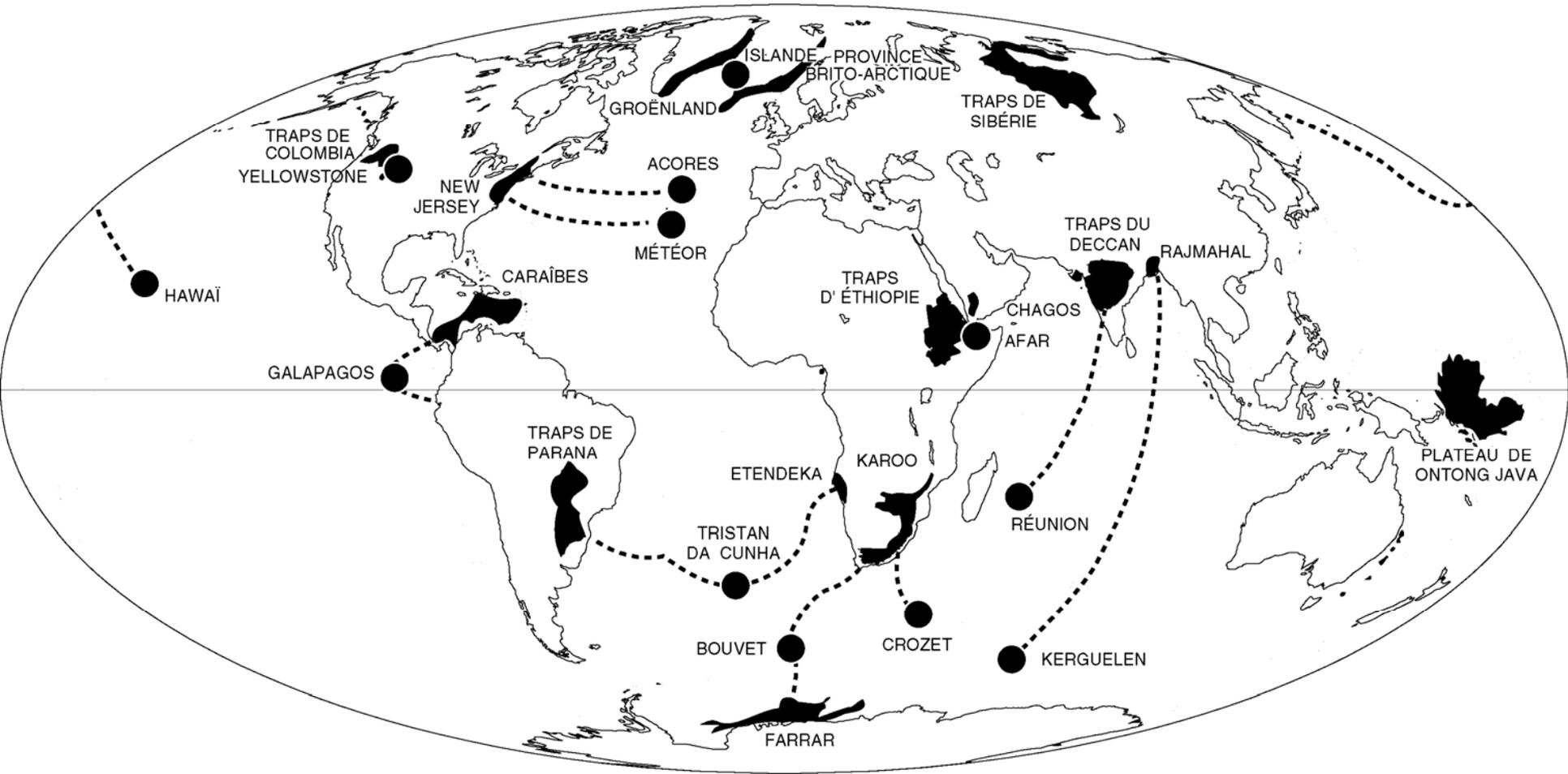
Frasnien-Fammenien

Permo-Trias

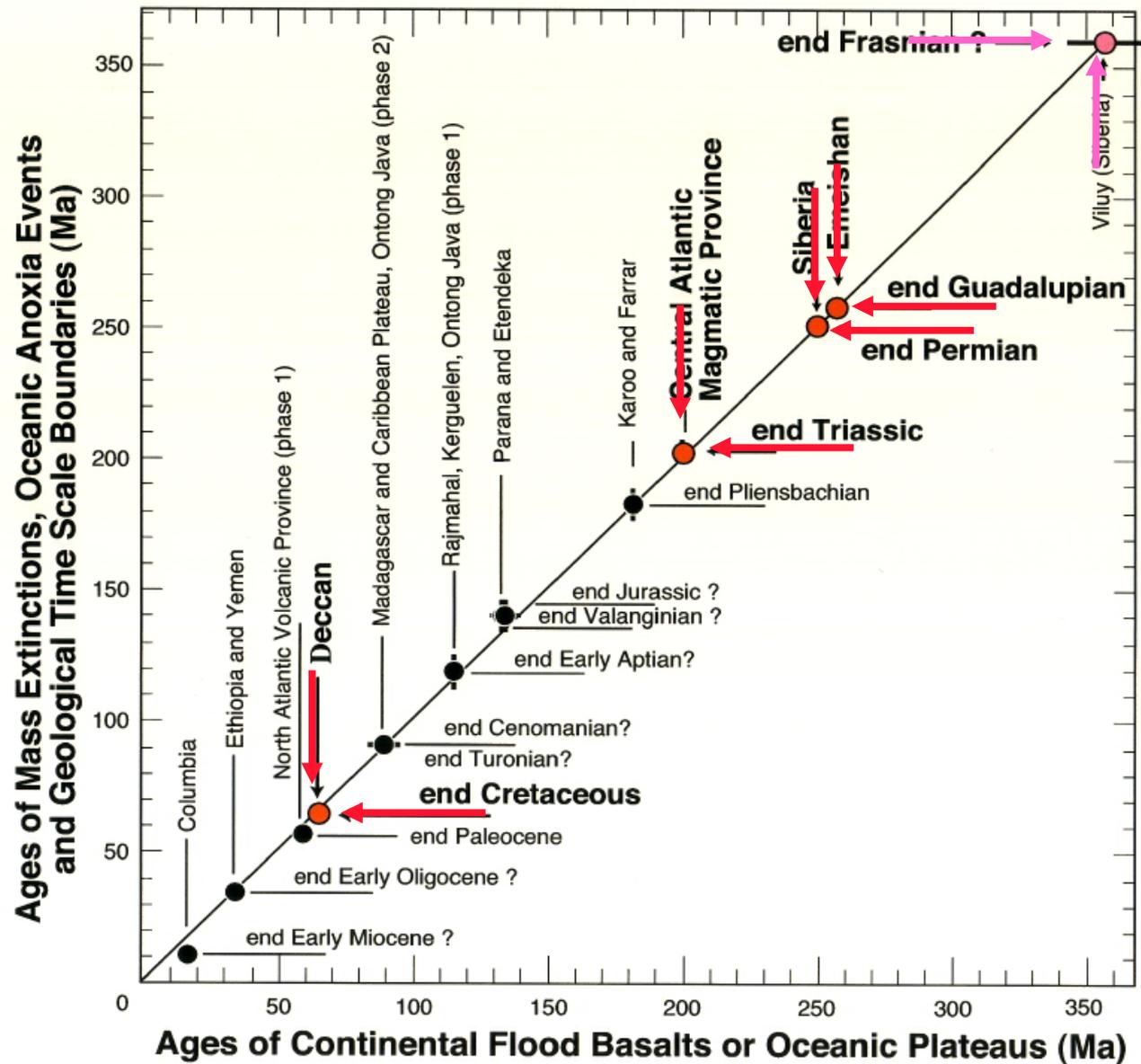
Trias-Jurassique



Carte mondiale des traps : une douzaine seulement



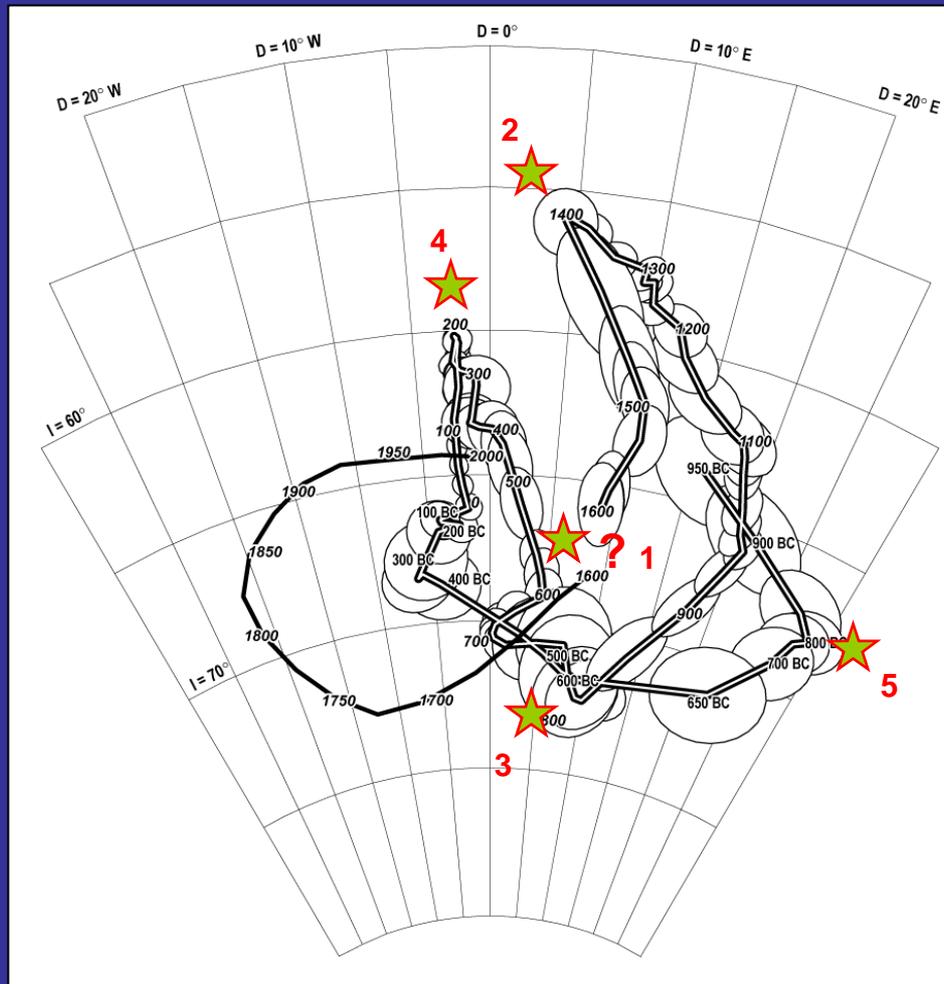
Traps et
extinctions
« corrèlent »
presque
parfaitement



Mais un pouvoir de résolution limité à 1 million
d'années ne nous satisfait pas ...

Retour au Deccan,
20 ans après ...

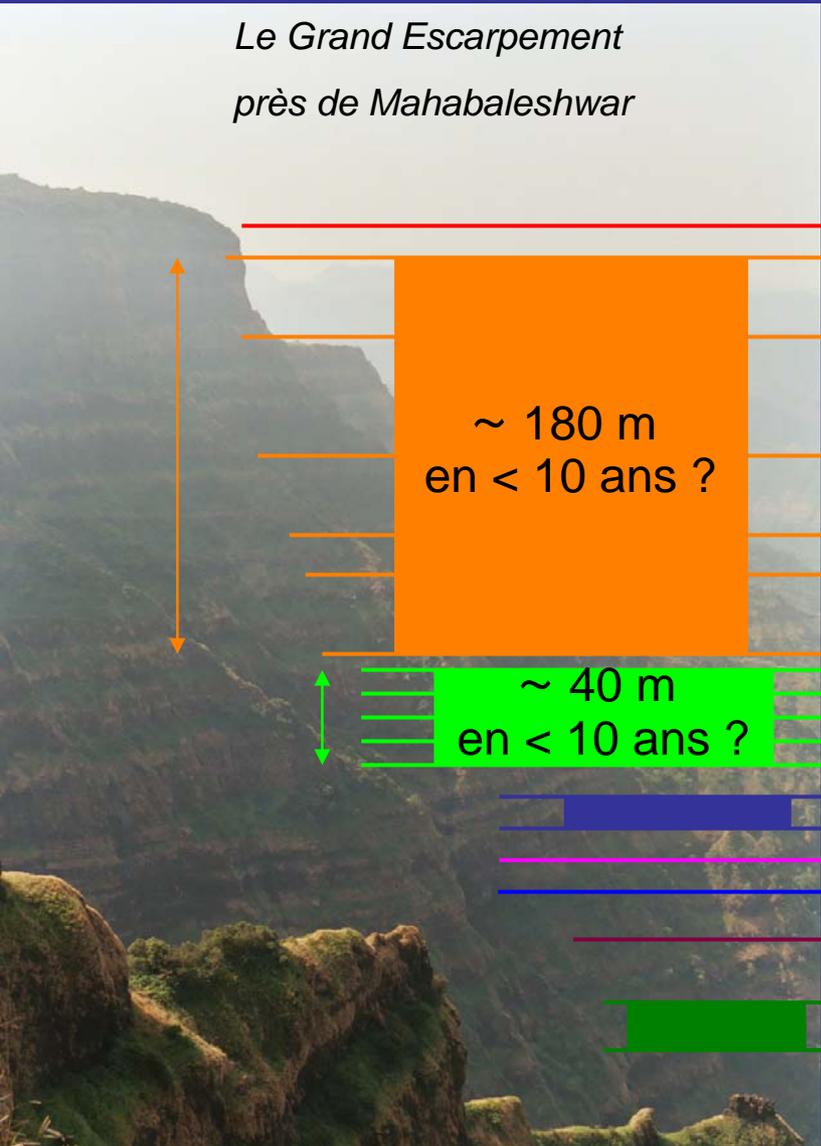
Variation séculaire du champ géomagnétique
(ici en Europe occidentale de - 950 à 2000) =
des dizaines de degrés en quelques siècles



Idée : Utiliser
cette variation
séculaire comme
horloge pour les
très courtes
durées
(3°/siècle rms)

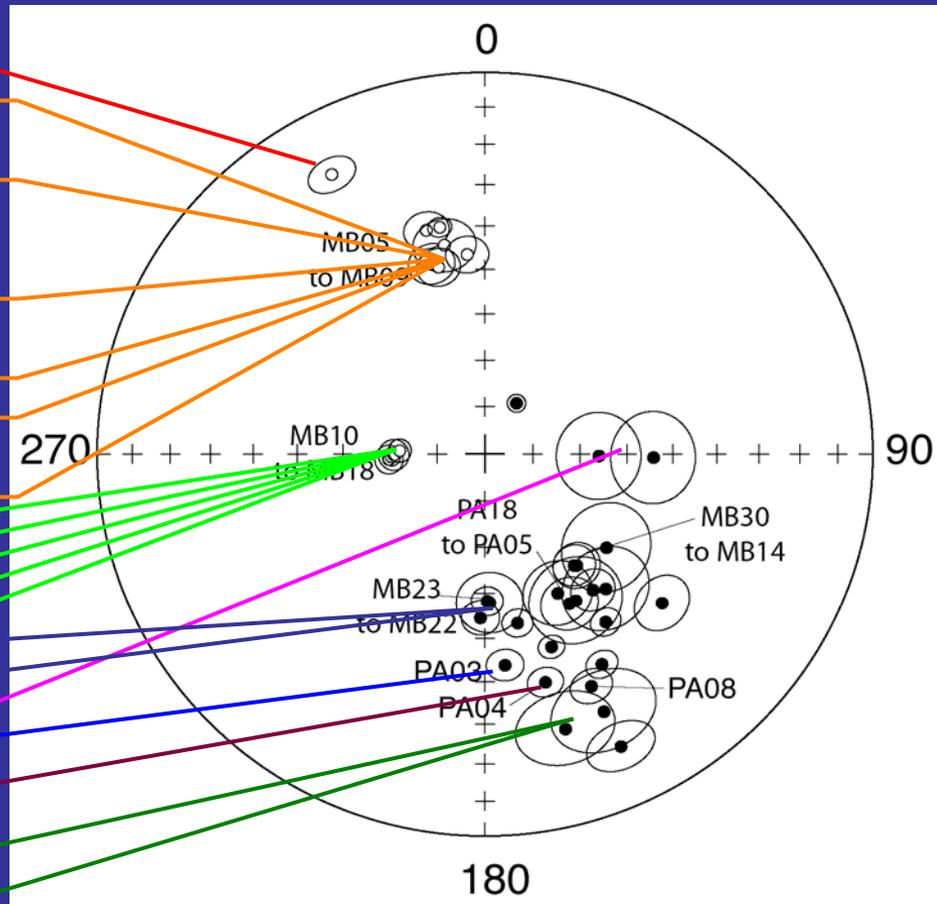
Un nouveau chronomètre : les « groupes directionnels » paléomagnétiques indiquent des durées de refroidissement sans doute de moins de dix ans !!!

*Le Grand Escarpement
près de Mahabaleshwar*



~ 180 m
en < 10 ans ?

~ 40 m
en < 10 ans ?

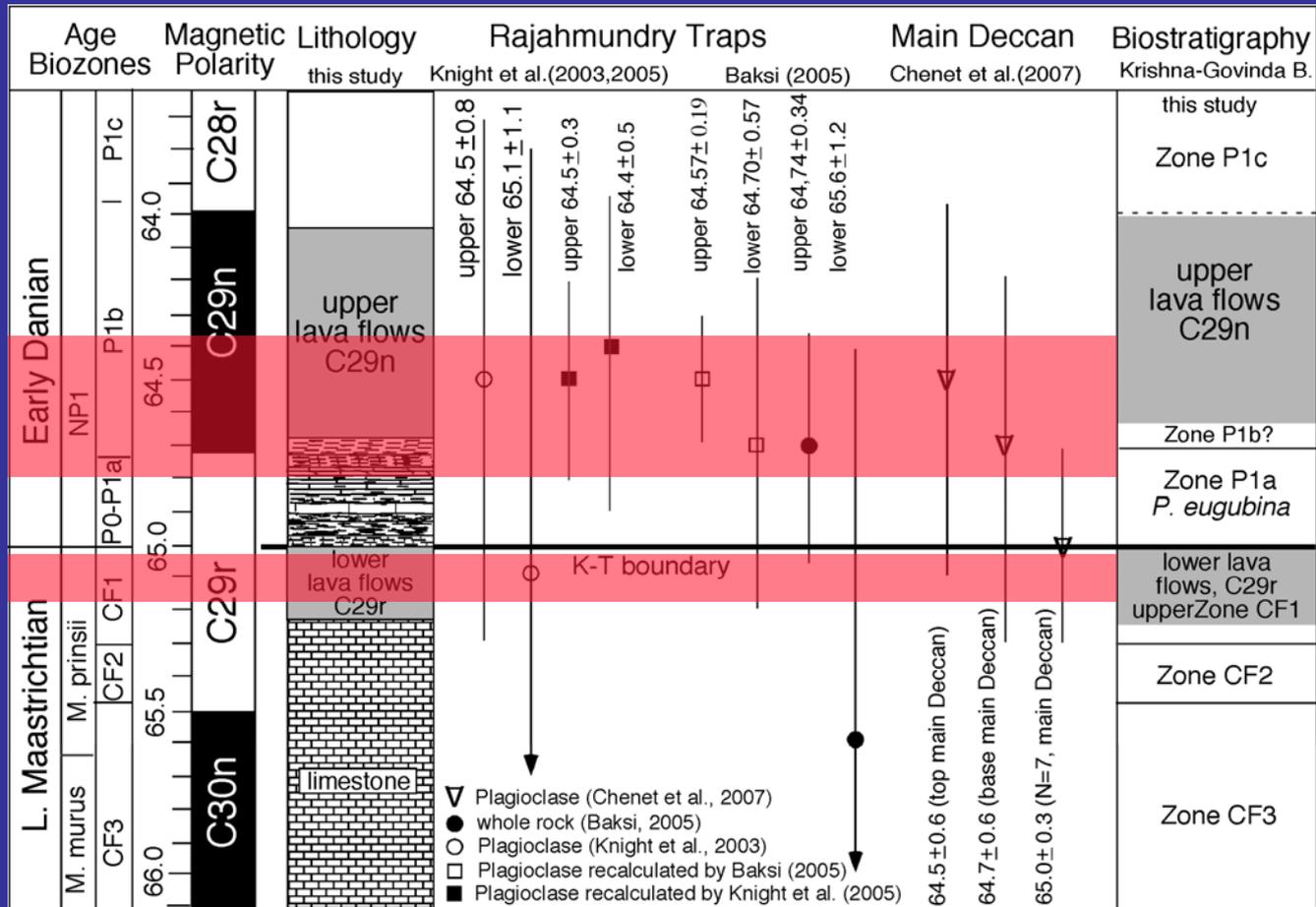


Extension latérale
des coulées :
le site de
Rajahmundry =
près de 800 km!

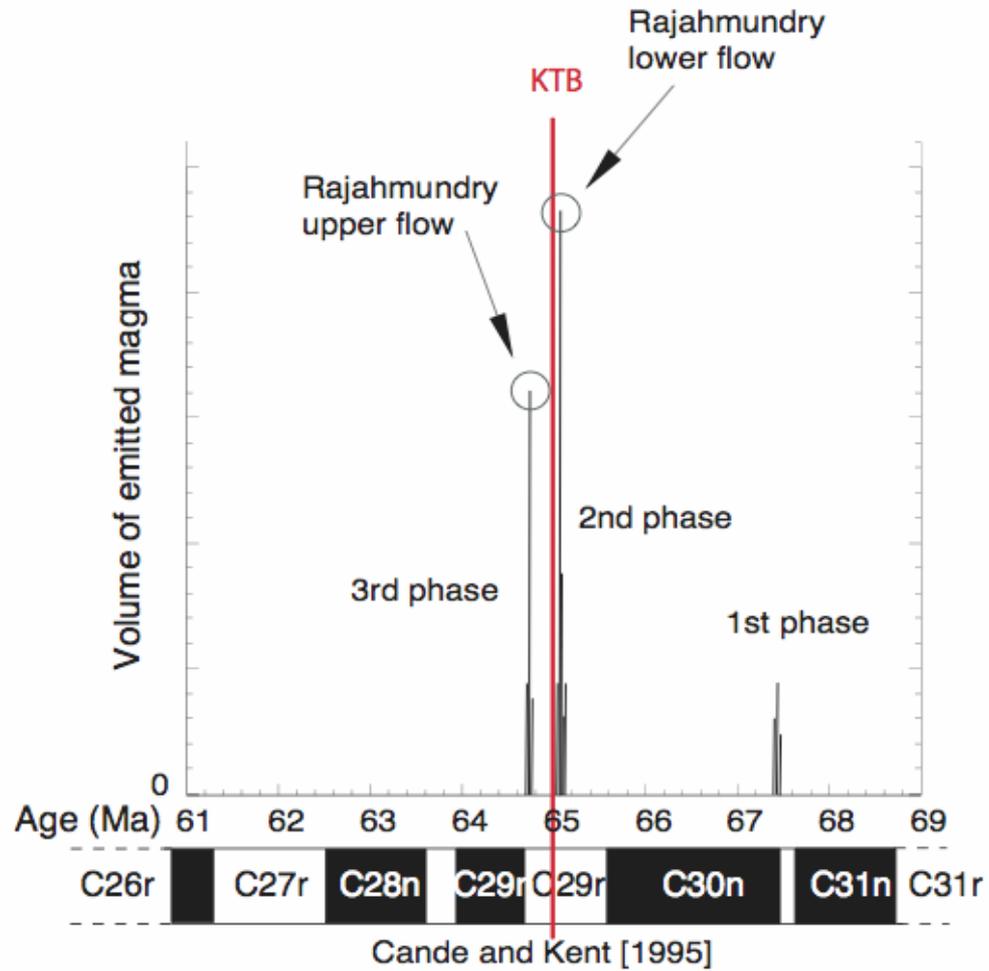
Les plus longues
coulées du monde



Nouveaux résultats de Keller et al. à Rajahmundry : confirmation de deux méga-pulses, l'un juste sous la limite KT, l'autre un peu au-dessus dans C29n

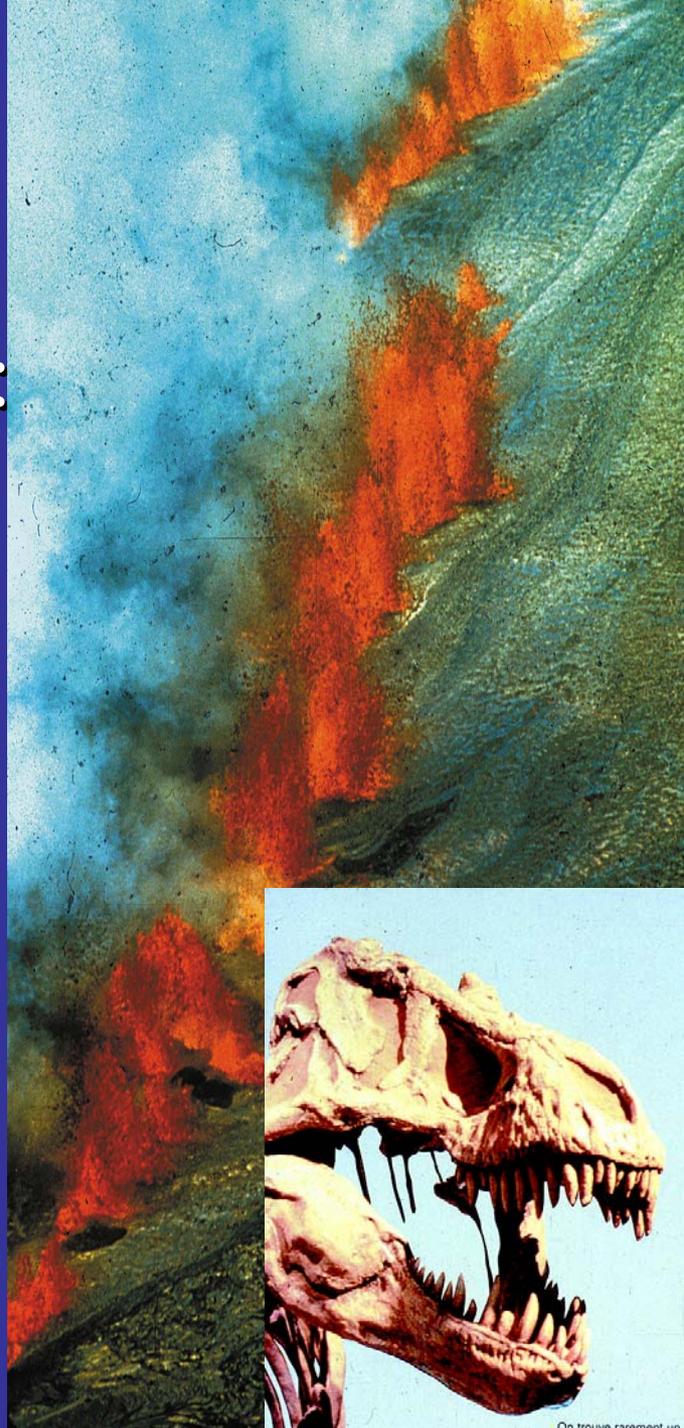


Le scénario actuel

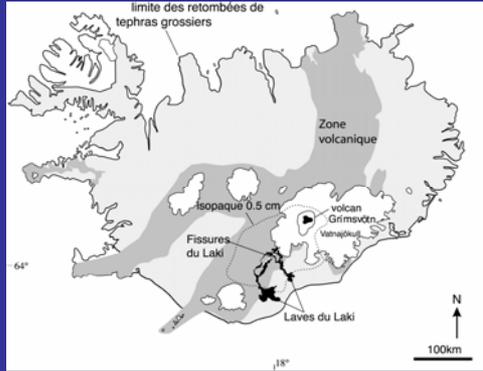


Le volcanisme peut très sérieusement affecter le climat :

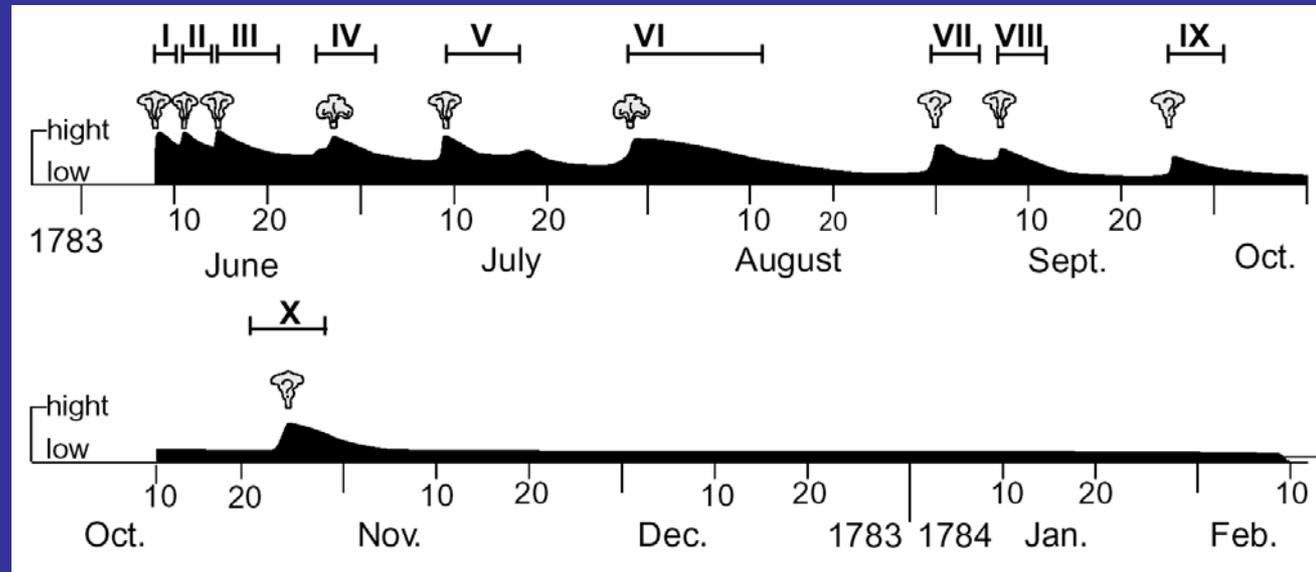
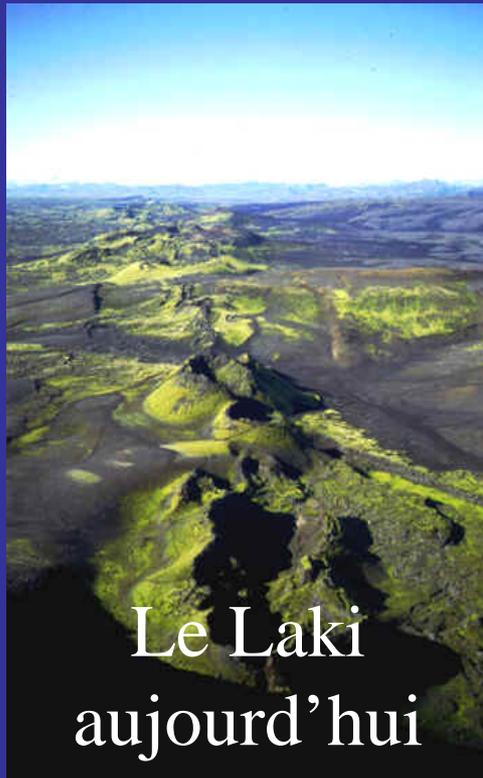
Mourgue de Montredon
et Benjamin Franklin
avaient compris les premiers
les conséquences de l'éruption
de 1783-1784 du Laki



Le modèle de l'éruption du Laki en 1783-1784 : la brique élémentaire



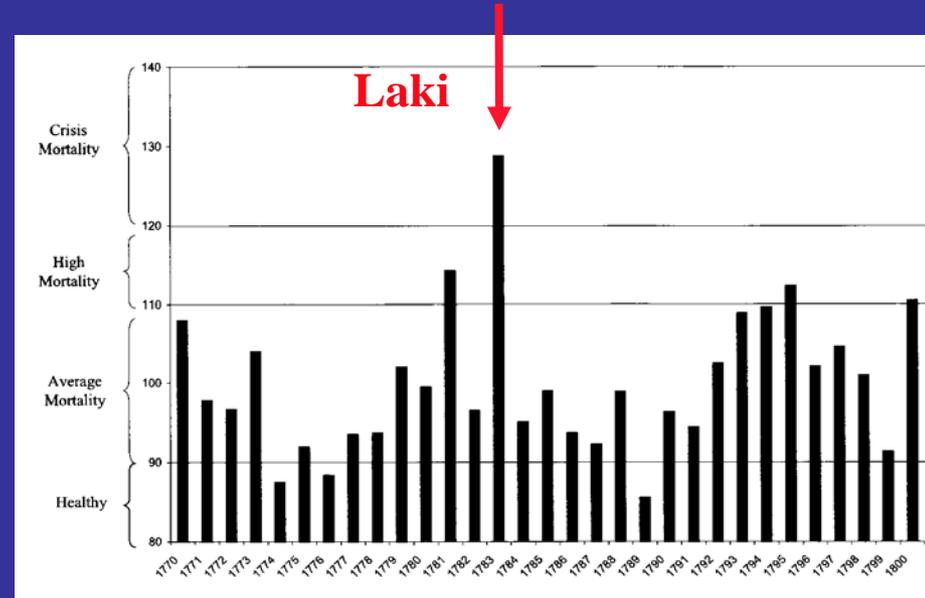
15 km³ de coulées basaltiques
en dix éruptions
de Juin 1783 à Février 1784



Analyse de la mortalité

Index de mortalité 1770-1800

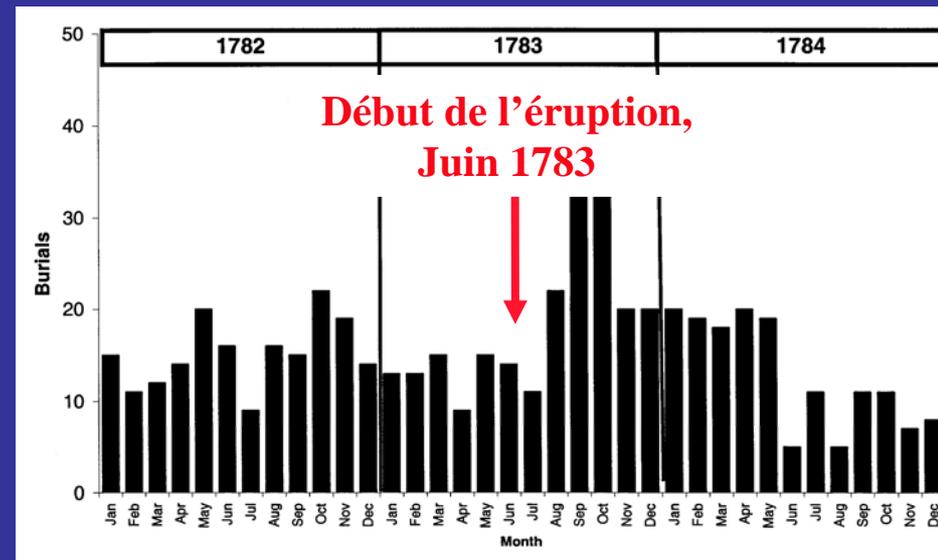
Angleterre :
enterrements pendant l'été



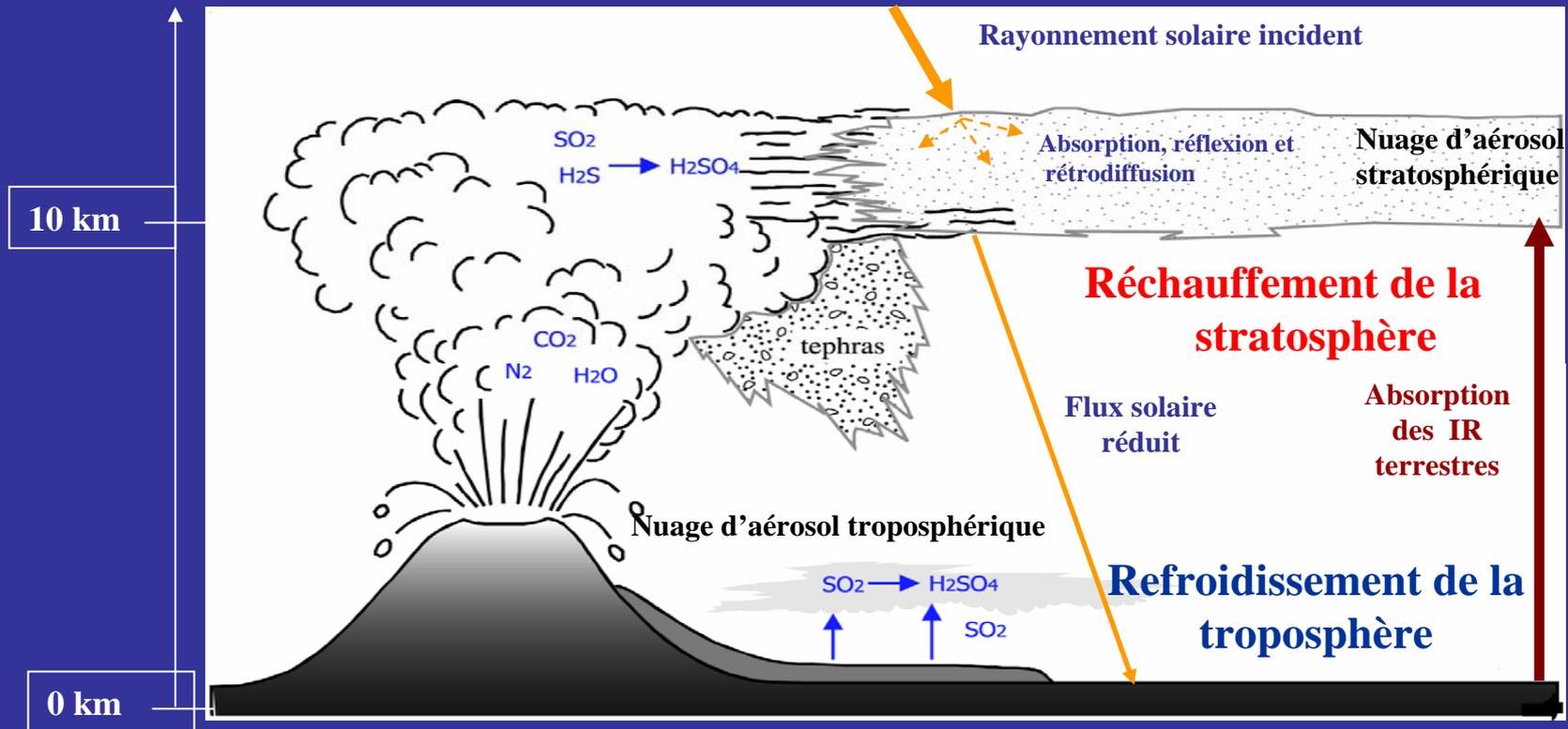
Enterrements mensuels

1782-1784

5 paroisses d'Eure et Loir



Impact d'une éruption volcanique sur l'atmosphère (aérosols d'acide sulfurique) : froid en surface, chaud en altitude



La distribution des aérosols près de la surface



QuickTime™ et un
décompresseur GIF
sont requis pour visionner cette image.

Les méga-coulées des traps sont monstrueuses
par rapport au Laki !

Des volumes de coulées pouvant atteindre
 10.000 km^3 ,
et des durées de quelques années seulement :
plus de 100 km^3 par an !!!

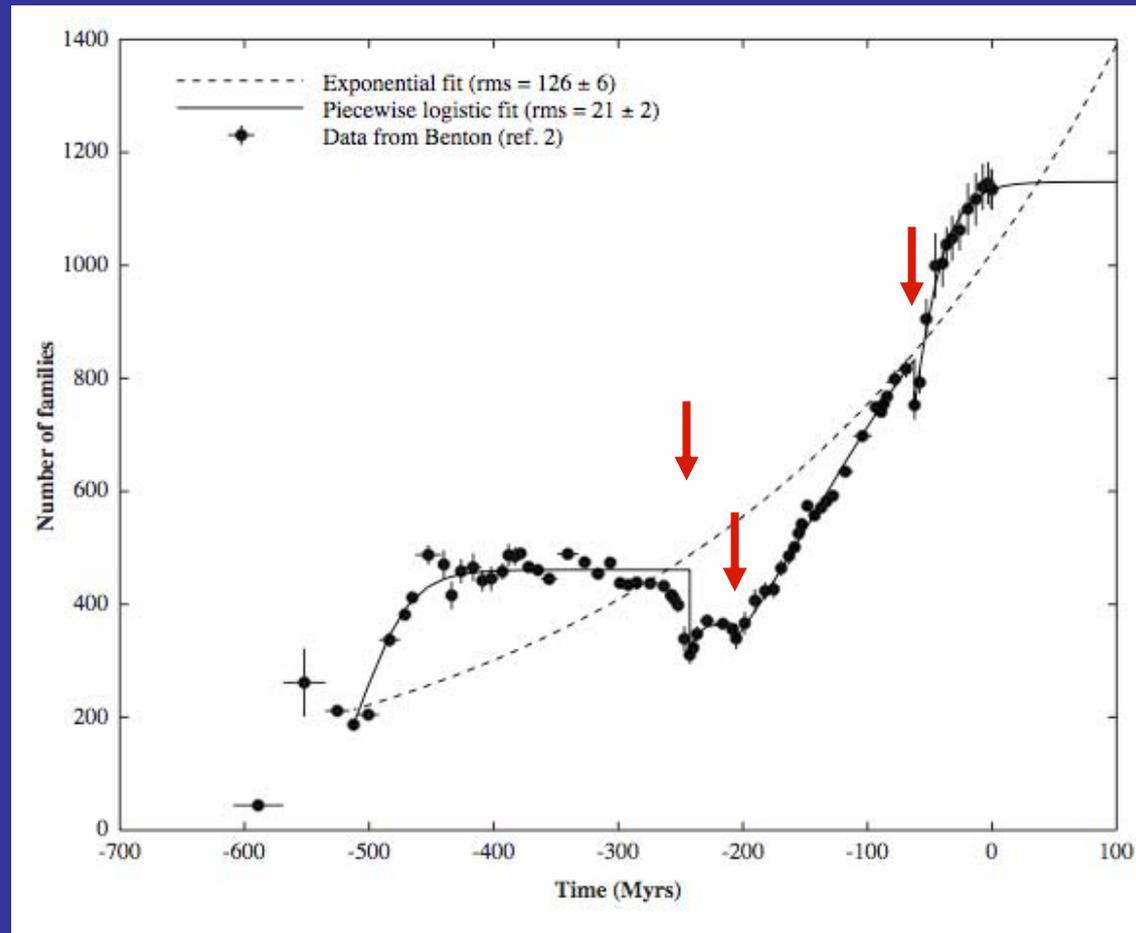
C'est sans doute le soufre qui est
« mortel »

Comparaison des émissions de SO₂ en gigatonnes (rôle of des aérosols sulfatés)

- Pinatubo (1991) : 0.017 Gt en <1 an
 - Laki (1783) : 0.12 Gt en <1 an
- Activité humaine : 0.12 Gt/ an (décroissant ?)
- Une méga-coulée du Deccan : 10 à 150 Gt
 - Impact de Chicxulub : 50 à 500 Gt
- Ensemble des traps du Deccan (2.10⁶ km³) > 10,000 Gt

Soit plus de 100 fois Chicxulub

Un modèle logistique de l'évolution ponctuée
de la biodiversité : $dN/dt = r.N (K - N)$
 r = taux intrinsèque de variation de la biodiversité,
 K = potentialités du milieu en niches écologiques

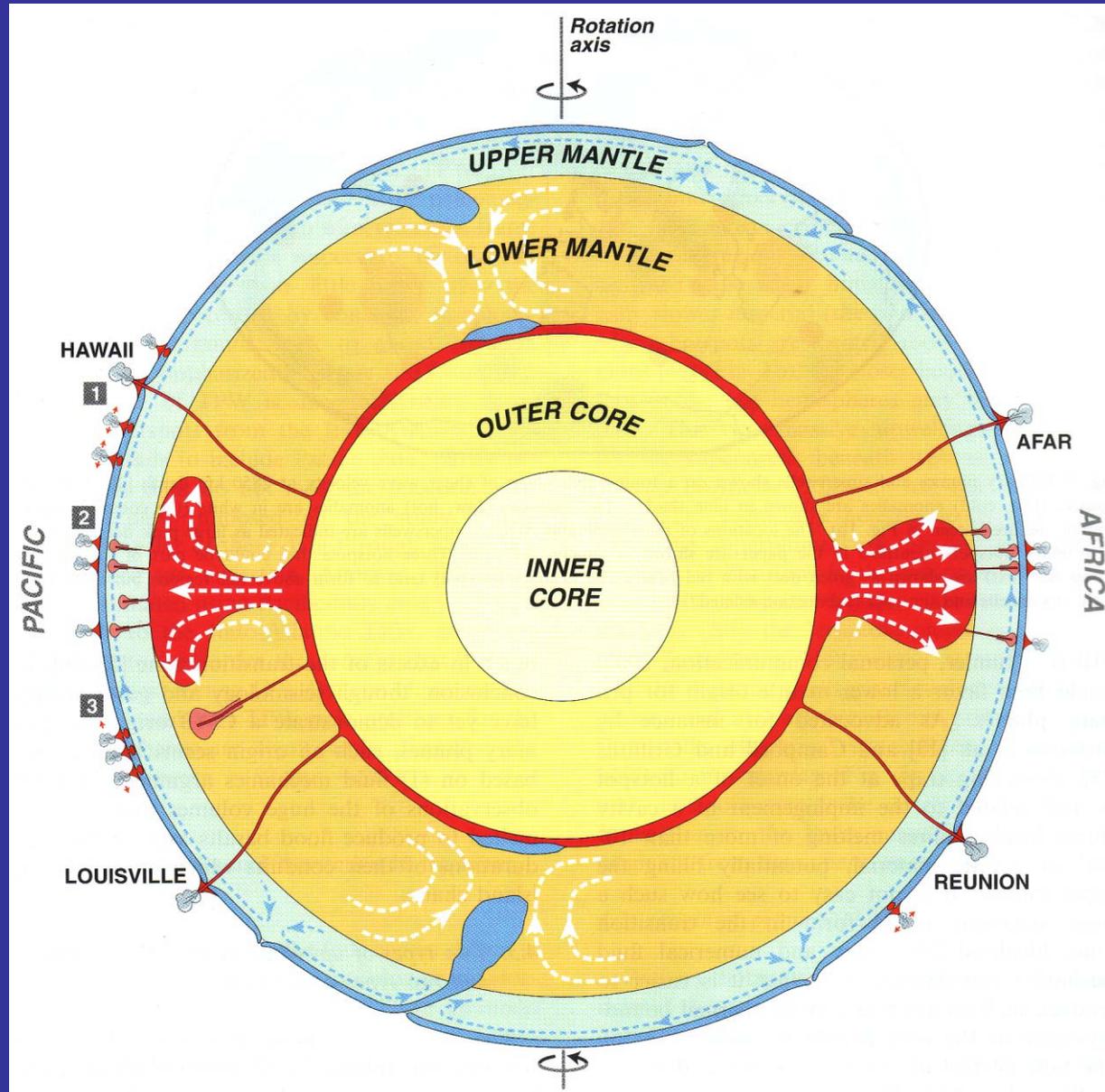


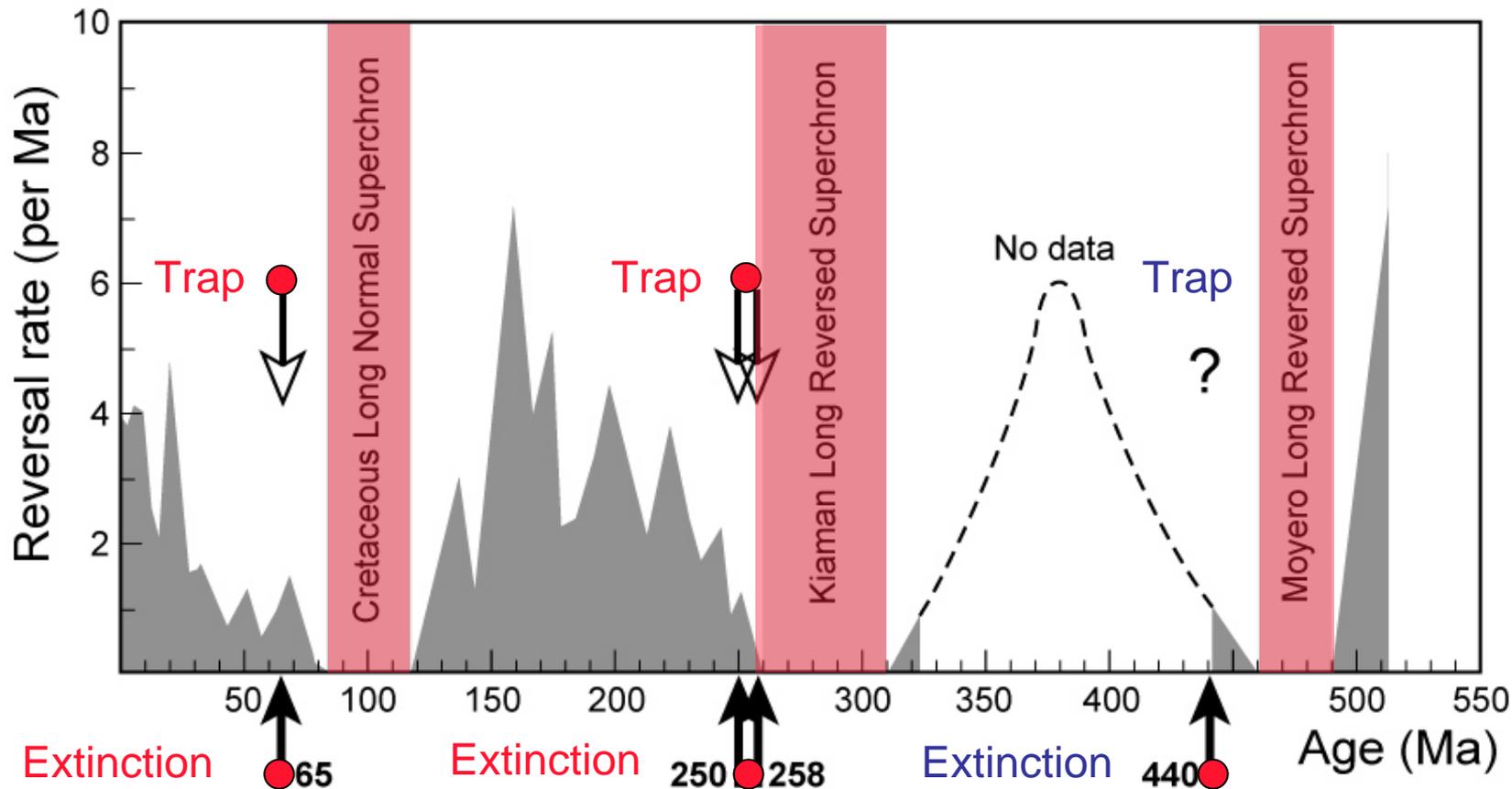
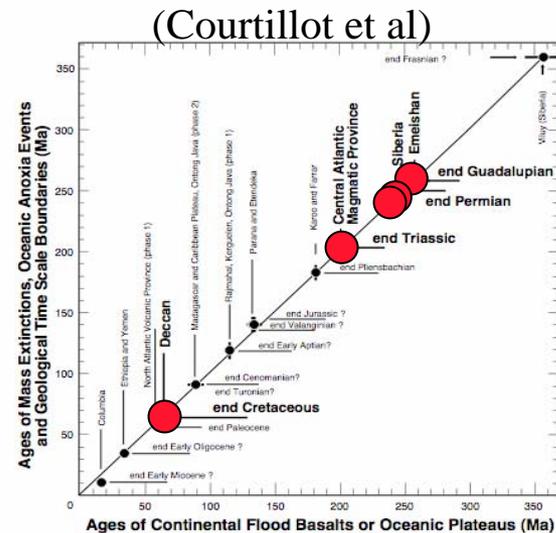
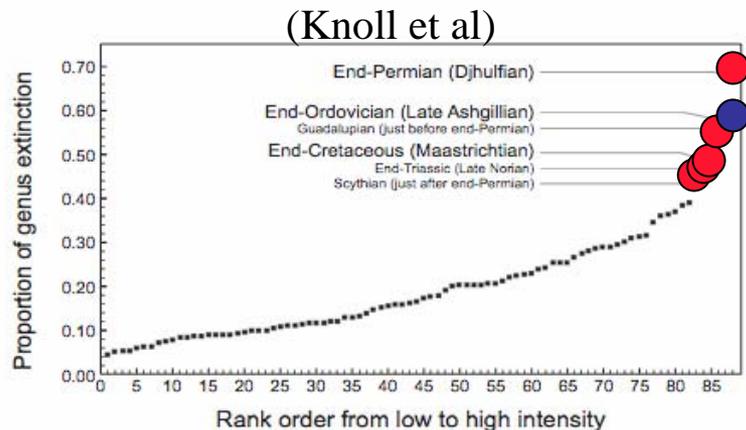
(Courtylot et Gaudemer, *Nature*, 1996; voir aussi Pavé et al)

Enfin, un argument fort
soutenant la provenance des panaches
qui forment les plus grands traps
de la limite manteau -noyau...

Il pourrait exister
trois types de
panaches

Les plus profonds
viendraient de la
limite entre
manteau et noyau
(profondeur
2900 km)





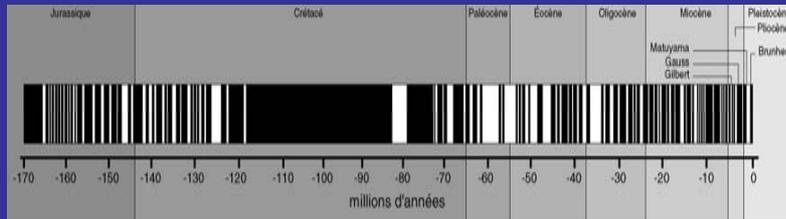
Il existe un **lien profond et fondamental** entre :

- dynamique du noyau et inversions du champ magnétique,
- instabilités et panaches du manteau profond,
 - traps,
 - phases de déchirure des continents,
 - et grandes phases d'extinction en masse, occasions de renaissance pour la biosphère...

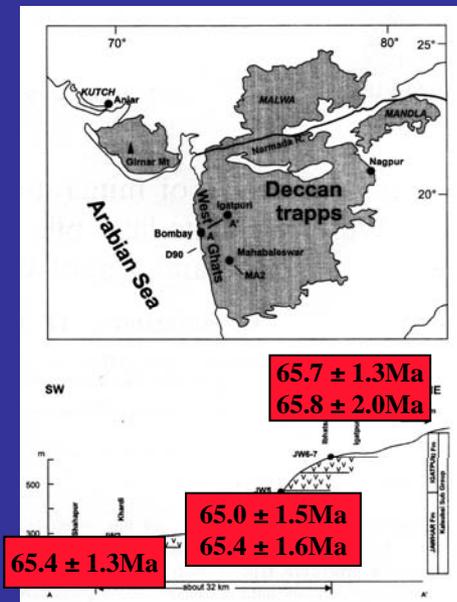
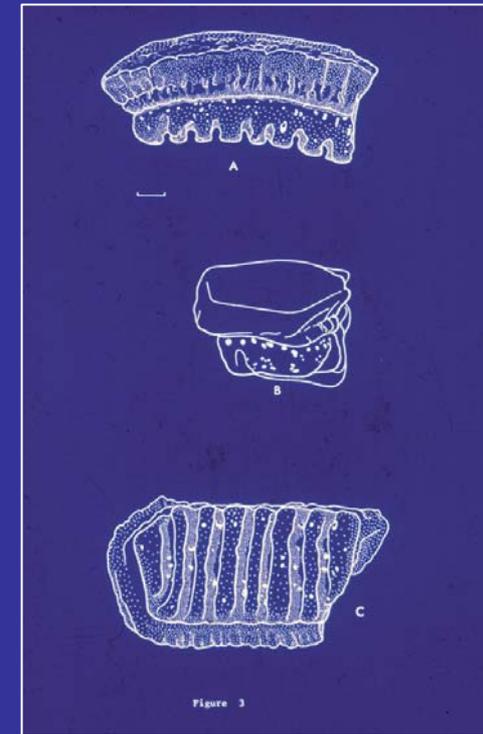
donc :

entre l'histoire de la Terre et l'histoire de la Vie

1) We found only two reversals:
very brief!



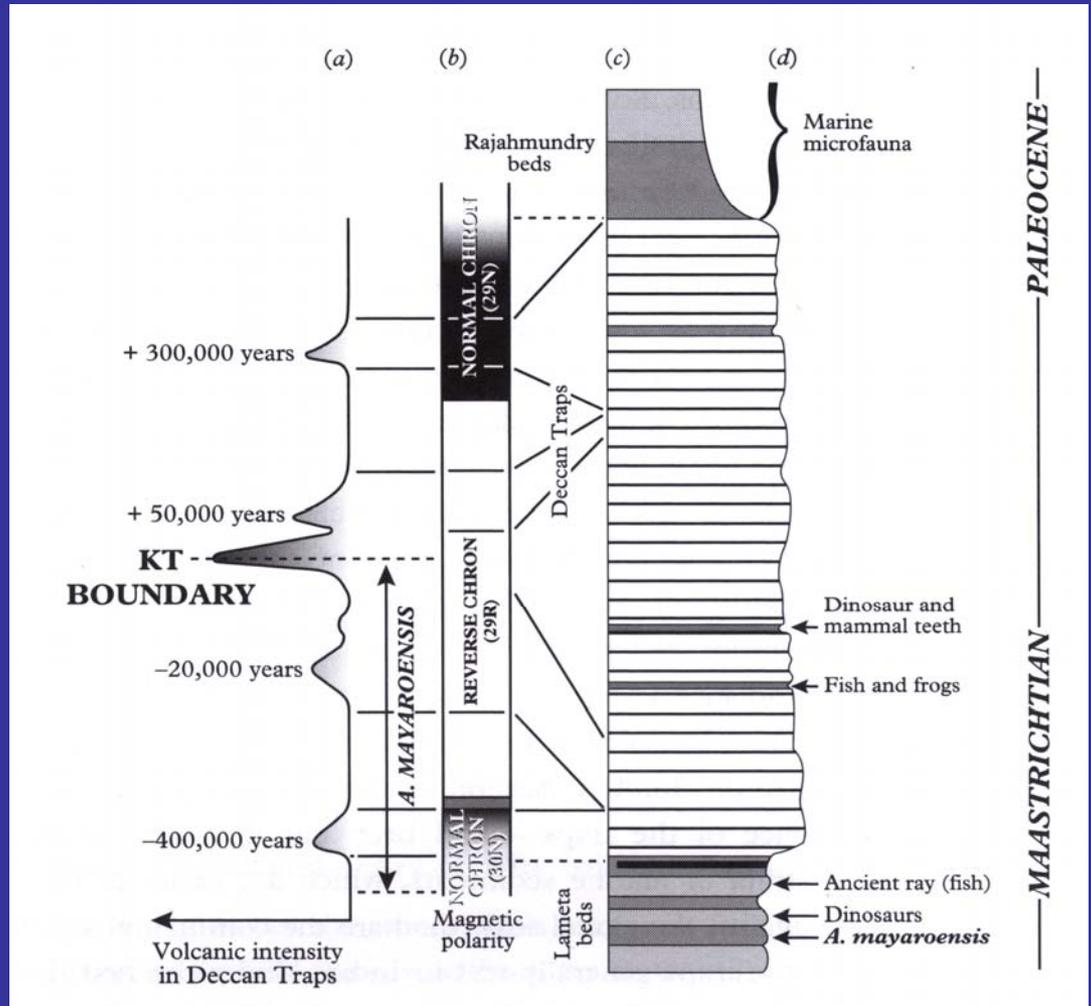
2) The age was 65 million years:
very close to the KT boundary



3) Fossils showed that:
volcanism started in the
Abatomphalus mayaroensis
zone

Only one chron in the reversal sequence satisfied all these observations: 29R

1986 scenario of the volcanic crisis : more than 1 million km³ in less than 1 million years



Now, how does the Laki « elementary brick »
relate to the Deccan ?

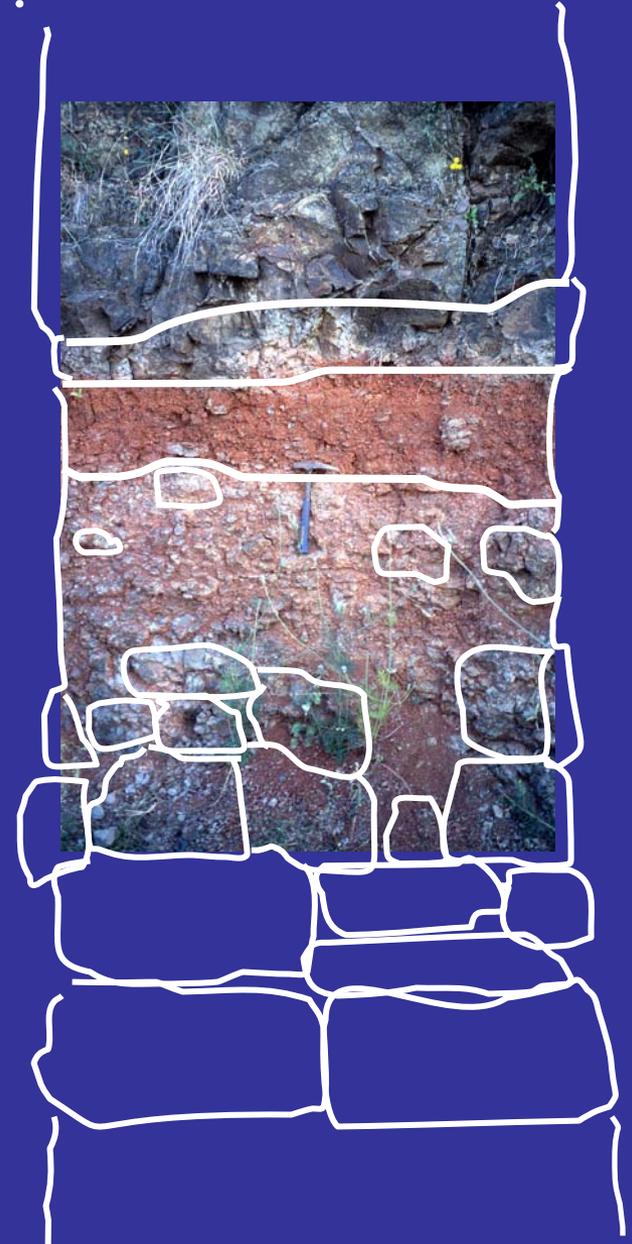
Back to Mahabaleshwar
(UK, F and Indian teams)...



Quelle durée entre les coulées : des épisodes calmes ?

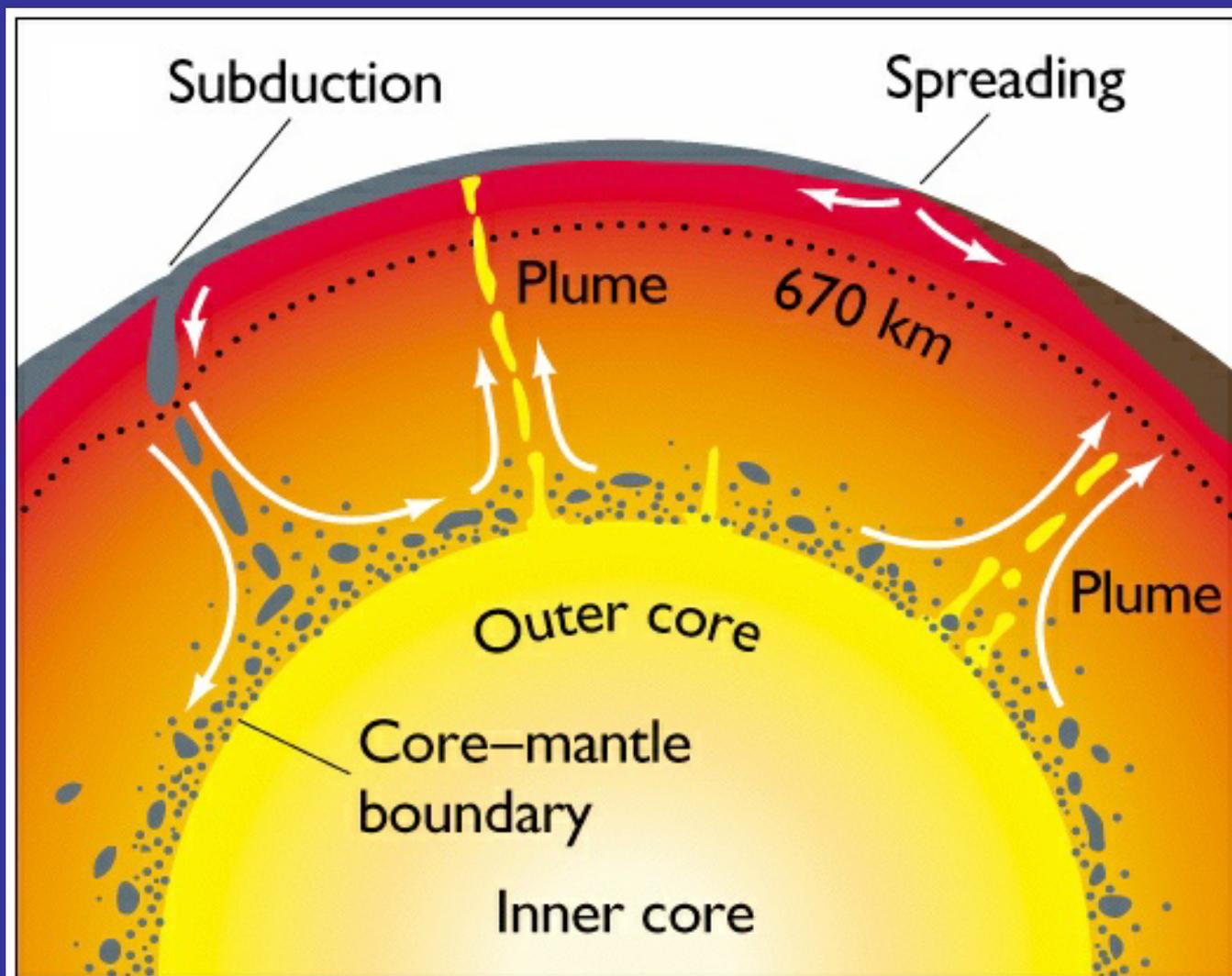
Couche rouge épaisse
(« red bole ») ~ 2 m

Altération :
la coulée inférieure
est recouverte par la coulée
supérieure
=> durée pouvant aller de
10.000 à 50.000 ans



Et sous nos pieds ? Des mouvements de convection incessants agitent l'intérieur du manteau Terrestre

C'est le
moteur de
la dérive
des
continents
et de la
montée
des
panaches



QuickTime™ et un
décompresseur codec YUV420
sont requis pour visionner cette image.