

# COLÈRES DE LA TERRE ET EXTINCTIONS EN MASSE

Prof. Vincent Courtillot

Ancien directeur de l'Institut de Physique du Globe

Géophysicien

Membre de l'Académie des Sciences



La diversité biologique est mesurée, au cours des temps géologiques, à partir des fossiles qui ont été répertoriés et décrits patiemment depuis plus de deux siècles. Notamment des fossiles marins car, dans le monde terrestre, ils sont plus rares. Notre connaissance de cette biodiversité est donc tout à fait fragmentaire car la probabilité qu'un individu soit fossilisé après sa mort est très faible, d'autant plus qu'il peut être détruit ensuite par l'érosion, la tectonique des plaques, et qu'il est rare que vous ayez la chance de le trouver.

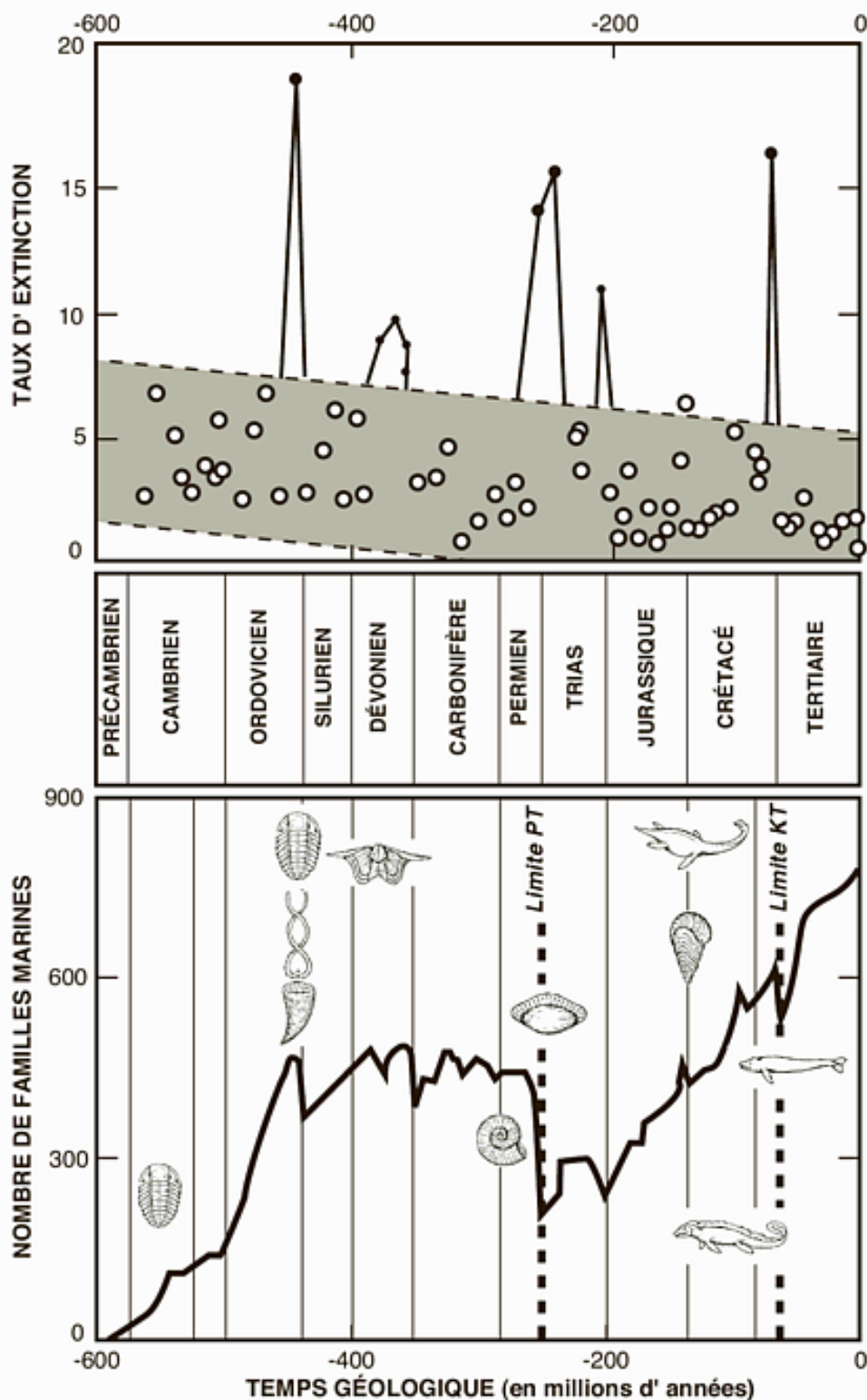
La biodiversité que nous connaissons aujourd'hui n'a donc rien à voir avec celle qui nous apparaît dans le passé. En fait, lorsque l'on prospecte un peu, de nos jours, la forêt amazonienne, on réalise que la biodiversité que nous connaissons est dix ou cent fois plus faible que celle qui existe vraiment. Ce qui veut dire qu'actuellement, on estime à dix millions d'espèces la biodiversité actuelle alors que mille trois cents millions est peut-être le vrai chiffre.

Quand on affirme que nous sommes entrés dans une filière d'extinctions massives, on ne dispose pas des outils qui nous permettent de le dire avec un minimum de certitude. Les extinctions en masse du passé furent infiniment plus graves que celles que l'on observe aujourd'hui.

Jamais la biodiversité n'a été plus élevée qu'aujourd'hui. En fait, le biologiste anglais Benton a écrit que la biodiversité avait eu une croissance exponentielle au cours du temps.

Lors de l'explosion du Cambrien il y a 600-400 millions d'années, la biodiversité a connu une accélération très importante qui s'est maintenue ensuite d'une manière stable puis, tout à coup, il y a 250 millions d'années, il y a eu une chute très rapide de la biodiversité à l'échelle géologique (1 million d'années). Elle a augmenté ensuite de nouveau rapidement pour connaître une nouvelle chute très brutale il y a 65 millions d'années, à la frontière du Secondaire et du Tertiaire : c'est la disparition des dinosaures et d'une très grande quantité d'autres espèces moins emblématiques comme les ammonites. Depuis, la biodiversité a de nouveau augmenté régulièrement avec un petit palier vers 30 millions d'années, pour repartir de plus belle.

L'objet de cette conférence est d'essayer d'expliquer pourquoi il y a eu ces extinctions brutales suivies chaque fois d'une augmentation rapide de la biodiversité. Quelle est la cause de ces disparitions ?



**Fig 15-1 :** Taux d'extinction des espèces et variations de la diversité au cours des temps géologiques (d'après D. Raup et J. Sepkoski, et J.-J. Jaeger). En bas : évolution du nombre des familles d'organismes marins fossiles au cours du temps. On distingue un petit nombre de chutes brutales, les événements d'extinction en masse. Les limites les mieux connues, Permo-Trias (PT) il y a 250 millions d'années et Crétacé-Tertiaire (KT) il y a 65 millions d'années, sont particulièrement importantes, mais ce ne sont pas les seules. En haut : le taux d'extinction permet de distinguer un « bruit de fond » marqué par la zone en grisé (il y a tout le temps des extinctions qui font partie du processus normal de l'évolution) et des périodes de taux extrême (les pics) qui correspondent aux extinctions en masse. Aux deux déjà notées s'ajoutent les extinctions massives de la fin de l'Ordovicien, de la fin du Dévonien et de la fin du Trias.

Avec Georges Cuvier, on s'est rendu compte qu'il existait des fossiles d'animaux marins à des altitudes où la mer n'était plus et que les populations changeaient d'un niveau géologique à l'autre. Cuvier était favorable à l'idée qu'il y avait eu plusieurs déluges et, grâce aux fossiles, on pouvait observer les déluges précédant le dernier qui, lui, n'avait d'ailleurs pas changé grand-chose à la biodiversité existante.

Cette vision catastrophiste de la Terre a été admise pendant des décennies par de nombreux géologues, dont Mariel, et des biologistes dont le plus célèbre est Charles Darwin qui écrit, dans son livre fondamental, que l'évolution des espèces est un processus lent et que c'est l'état incomplet des fossiles qui nous fait penser qu'il est rapide.

Imaginez que, si l'évolution est lente et que l'érosion naturelle fait disparaître des couches successives, celles qui demeurent donneront l'impression qu'il y a eu changement brusque.

Les extinctions sont, en fait, un aspect naturel de l'évolution des espèces. La durée de vie d'une espèce est de l'ordre du million d'années. Il y a un bruit de fond de l'extinction des espèces qui est tout à fait naturel. Il y a, en revanche, quelques périodes où le taux d'extinction sort de ce bruit de fond. Ce sont les extinctions en masse.

Il y a eu, en remontant le temps, l'extinction des dinosaures il y a 65 millions d'années, à la fin du Crétacé, puis une autre, il y a 200 millions d'années, entre le Trias et le Jurassique, puis la plus massive de toutes, à la limite du Primaire et du Secondaire. Ces événements sont donc considérables mais rares dans l'histoire de la Terre.



Grande falaise des trapps du Deccan en Inde dans la région dite des Ghats de Mahabaleshwar (photo Anne-Lise Chenet).

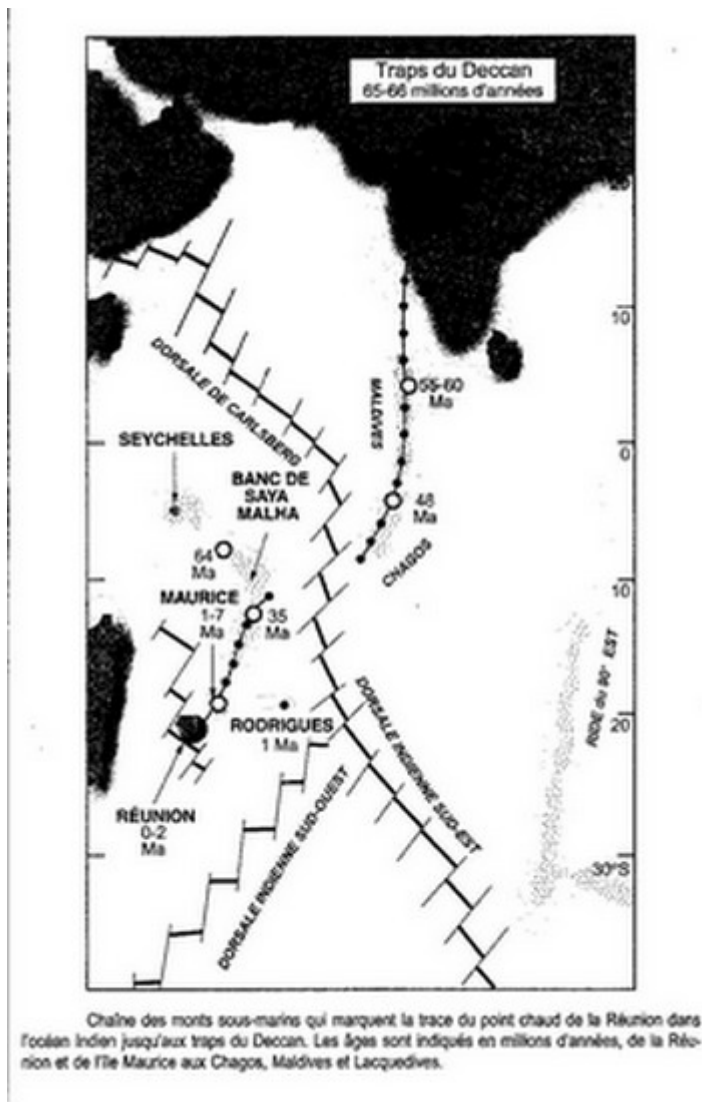
La dernière extinction s'est donc produite il y a 65 millions d'années. Quand on est uniformitariste, c'est-à-dire lorsque l'on se réfère à la théorie des causes actuelles, quand on dit en gros : « Je n'ai pas le droit d'expliquer la géologie par des causes qui n'existent pas de nos jours car cela contredirait les lois de la physique, de la chimie, des lois fondamentales de la Science », on est amené devant ces extinctions massives soit à faire appel à des droits divins, soit à rechercher une cause qui ne s'est pas reproduite depuis 65 millions d'années.

On est donc obligé de relativiser ces notions de catastrophisme ou d'uniformitarisme qui ont alterné au cours des derniers siècles dans l'histoire des sciences de la Terre et de la Vie et qui sont tout à fait passionnantes.

De nombreuses théories ont été proposées pour expliquer l'extinction massive qui s'est réellement produite il y a 65 millions d'années. Deux théories principales surnagent aujourd'hui

- la première est celle de Luis Alvarez, prix Nobel de physique, et de son fils, qui suggèrent qu'un astéroïde de 10 km de diamètre est tombé sur Terre provoquant durant quelques décennies, des incendies généralisés, une volatilisation de poussières et un hiver nucléaire ;
- la deuxième est celle d'un volcanisme gigantesque qui se serait produit à la même époque.

A l'appui de la première, les observations ont montré une limite géologique dans le monde entier. Il existe



plus de 200 coupes géologiques stratigraphiques où on a repéré cette limite et où on l'a décrite à l'aide de caractéristiques géochimiques, stratigraphiques, paléontologiques. La coupe la plus célèbre est celle du ravissant village de Gubbio en Toscane. On y voit la limite blanche des derniers calcaires du Secondaire (Crétacé) qui se sont déposés par 3 à 400 m de profondeur dans une mer chaude et, au-dessus, des calcaires orangés du Tertiaire (Eocène) peu différents des précédents mais où, au microscope, la foule des tous petits animaux marins, notamment les foraminifères que l'on observe dans les calcaires blancs du Crétacé en dessous ont disparu dans les premiers centimètres des calcaires orangés. Ensuite apparaissent des espèces nouvelles, plus résistantes, et dont la fréquence augmente peu à peu.

A la limite entre ces deux couches sédimentaires sont deux ou trois centimètres d'argile dans lequel on a trouvé plein de choses étranges et en particulier une concentration particulière d'iridium, métal très rare dans les sédiments, alors qu'il est fréquent dans les météorites.

En 1988, les géologues se sont aperçus que les pétroliers travaillant dans la péninsule du Yukatan, avaient repéré depuis quelques années une structure très étrange, circulaire, enfouie sous la surface de l'océan, avec des roches brisées dont on sait qu'elles caractérisent un cratère de météorite, de plus de 100 km de diamètre, recouverte de plusieurs centaines de mètres de sédiments qui se sont déposés par la suite. La partie fondue par l'impact a été datée à 65 millions d'années.

Beaucoup considèrent donc la théorie de l'astéroïde comme l'unique explication à l'extinction des dinosaures.

Mais en 1986, nous avons proposé une autre hypothèse, celle d'un volcanisme gigantesque en Inde, qui se serait produit à la même époque.

Il en reste un immense épanchement de lave répandue sur le Deccan. En partant de la côte de l’océan Indien on y observe des couches de basalte très fluides et très épaisses, disposées les unes au-dessus des autres, qui se sont érodées en marches d’escalier. Ce sont des Suédois qui ont nommé les premiers ces dépôts « treppen » qui signifie « marche d’escalier ». D’où ce nom de « trap » actuellement universellement admis.

Ces dépôts couvrent plusieurs centaines de kilomètres carrés auxquels il faut ajouter les parties érodées et celles qui ont été arrachées le long de la côte ouest par la dérive des continents et l’ouverture de la mer d’Arabie au milieu de laquelle les Seychelles représentent une relique émergée.

La surface totale devait, à l’origine, représenter deux millions de kilomètres carrés et le volume total trois millions de kilomètres cubes, c’est-à-dire la France recouverte de dix mille mètres de lave.

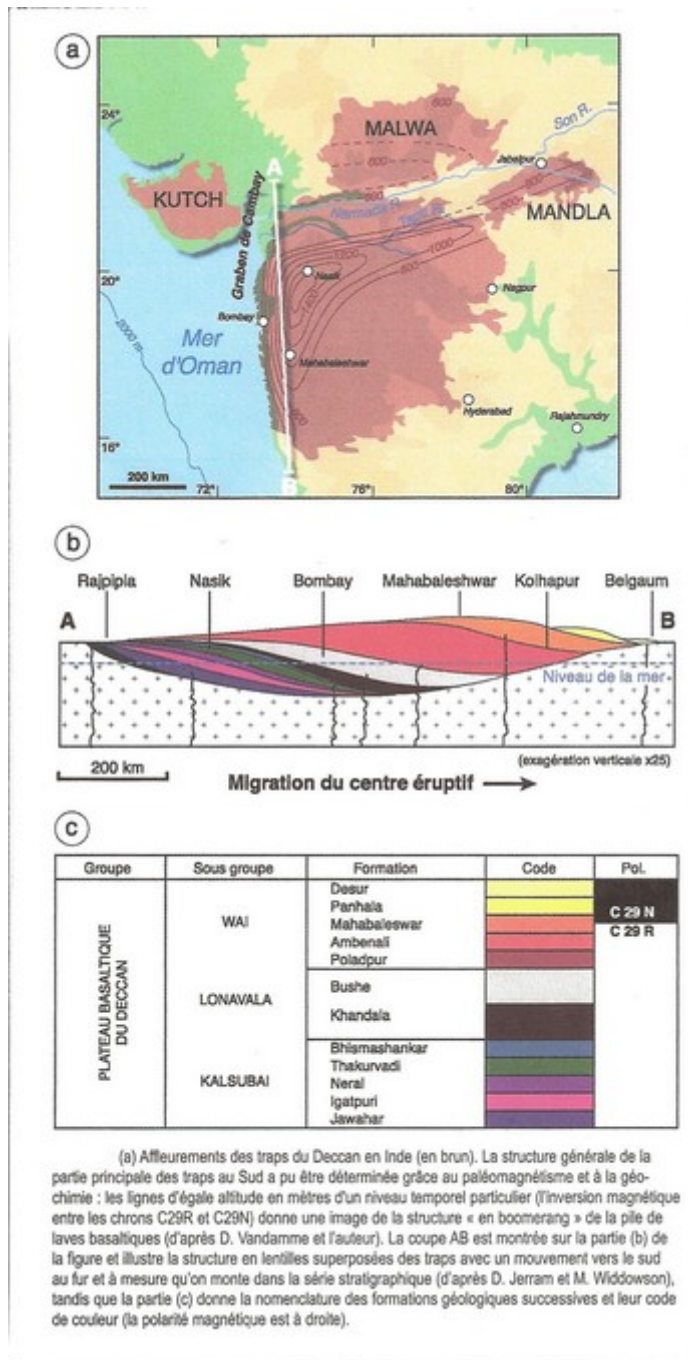
C’est donc un gros objet géologique. Quel est l’âge de cet objet et combien de temps a-t-il mis pour se former ?

Nous avons daté ces laves à l’aide des isotopes du potassium et de l’argon. La conclusion fut qu’elles dataient de 65 millions d’années à un million d’années près.

Mais mon activité principale a été longtemps l’étude du champ magnétique terrestre passé grâce à l’enregistrement conservé dans les laves. Lorsqu’elles se refroidissent, elles figent la direction du champ magnétique. On peut donc extraire cette direction, voir à quelle latitude elle s’est formée et donc évaluer la dérive des continents. Cette boussole permet de voir aussi comment les continents ont tourné éventuellement sur eux-mêmes.

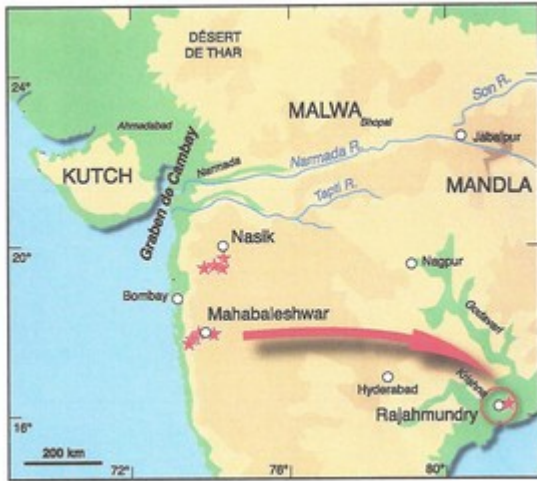
Elle permet aussi de voir que le champ magnétique s’est inversé des centaines de fois au cours des âges géologiques. En quelques milliers d’années, le champ magnétique de Nice, depuis que la ville a été fondée, a décliné d’un facteur 2 et certains pensent que dans 2 à 3000 ans, le champ magnétique passera par 0 et s’inversera.

Le champ magnétique des « traps » nous permet d’observer la fréquence de ces inversions. De multiples laboratoires ont donc mesuré cette échelle des variations du champ magnétique terrestre. On sait qu’il s’est inversé il y a 780 mille ans.

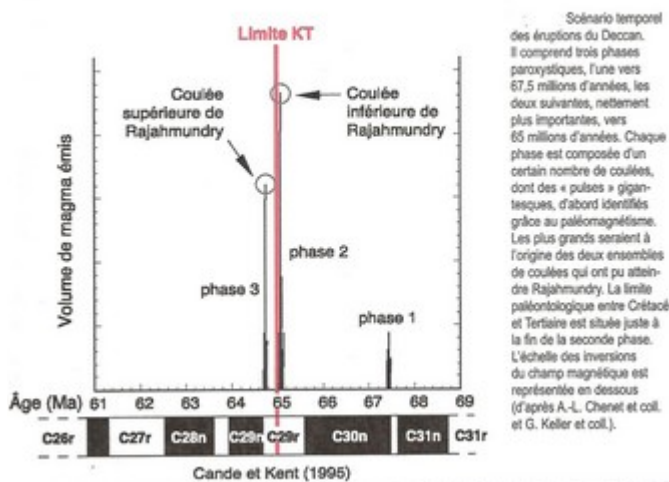


Ces périodes sont de durée très variable. C'est ainsi que, pendant le Crétacé, il y a une longue période où le champ magnétique n'a pas changé. Ces inversions ne sont donc pas périodiques ni régulières, mais aléatoires.

Durant l'expansion des laves du Deccan, nous pouvons donc mesurer le nombre d'inversions, ce qui s'ajoutera aux autres moyens de datation. On sait qu'il y en a eu une vingtaine vers la fin du Crétacé. Or, ce qui nous a frappés, c'est qu'il n'y a eu que deux inversions dans les trois kilomètres d'épaisseur de laves du Deccan, ce qui nous permet de supposer que ces expansions ont été rapides.



Localisation des affleurements de basalte de Rajahmundry, à 800 km de la zone principale des trapps à Mahabaleshwar (d'après S. Self et coll.) : la plus longue coulée volcanique du monde ?



Scénario temporel des éruptions du Deccan. Il comprend trois phases paroxystiques, l'une vers 67,5 millions d'années, les deux suivantes, nettement plus importantes, vers 65 millions d'années. Chaque phase est composée d'un certain nombre de coulées, dont des « pulses » gigantesques, d'abord identifiées grâce au paléomagnétisme. Les plus grands seraient à l'origine des deux ensembles de coulées qui ont pu atteindre Rajahmundry. La limite paléontologique entre Crétacé et Tertiaire est située juste à la fin de la seconde phase. L'échelle des inversions du champ magnétique est représentée en dessous (d'après A.-L. Chenet et coll. et G. Keller et coll.).

Nous n'avons alors que deux ou trois solutions différentes pour expliquer cela et c'est la paléontologie qui nous a apporté la bonne réponse grâce à la découverte d'une toute petite dent d'une raie présente seulement dans le dernier étage du Crétacé, le Maestrichtien, connu ailleurs seulement en Afrique auparavant. On l'a trouvée dans des sédiments pris en sandwich entre deux coulées de lave (application du principe de superposition de Stenon (XVIIème siècle) lorsqu'il n'y a pas eu de bouleversement stratigraphique).

Ce fossile montrait donc que le volcanisme avait commencé pendant le dernier étage du Crétacé.

En plus, nous avons eu la chance qu'un de nos collègues géochimistes, Bandari, ait trouvé dans la province du Kutch, au nord ouest de l'Inde, dans du sédiment, là aussi intercalée dans des coulées de lave, une teneur anormale d'iridium provenant du fameux astéroïde.

Nous avons confirmé ces observations en nous rendant sur place et montré que les deux accidents ne sont donc pas exclusifs et prouvé ainsi que le volcanisme du Deccan avait déjà commencé avant la chute de l'astéroïde et s'était poursuivi ensuite. Ce n'est donc pas la chute de celui-ci qui a déclenché ce volcanisme gigantesque car celui-ci, à l'époque, se trouvait pratiquement aux antipodes, à l'emplacement du point chaud de la Réunion qui n'en est que la relique..

On sait maintenant que c'est le hasard et qu'il ne peut pas y avoir de relation.

Mais cette extinction massive qui s'est produite il y a 65 millions d'années n'est pas la seule qui ait eu lieu sur Terre.

Il y a eu quatre autres extinctions massives repérées par les paléontologistes.

Tout d'abord celle qui s'est produite il y a 250 millions d'années, à la limite Permien-Trias, qui fut la plus massive. On estime que 99 % des espèces vivantes ont alors disparu. On est donc passé à 1 % de l'extinction de la vie sur Terre. Il aurait fallu alors tout recommencer ce qui avait mis presque deux milliards d'années pour évoluer.

Est-ce un astéroïde ou un trap volcanique qui est à l'origine de cette extinction ?

De nombreux géologues se sont lancés à la recherche des traces de la chute d'un astéroïde il y a 250 millions d'années. Personne ne les a encore trouvées ?

En revanche, d'autres ont recherché un trap datant de cette époque. On l'a trouvé en Sibérie. C'est une

immense étendue de basalte, d'un volume de 5 millions de km<sup>3</sup>, bordée de riches ressources minières, allant depuis la chaîne de l'Oural jusqu'au nord de la Sibérie. Elle remplit le grand bassin du Kazakhstan atteignant 10 km de profondeur, recouverte ensuite par des sédiments plus récents.

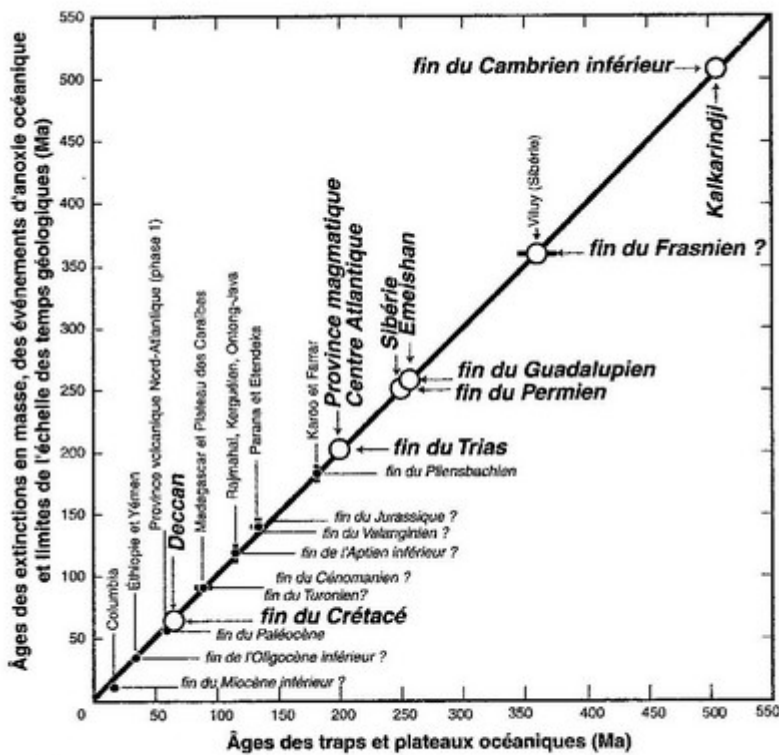
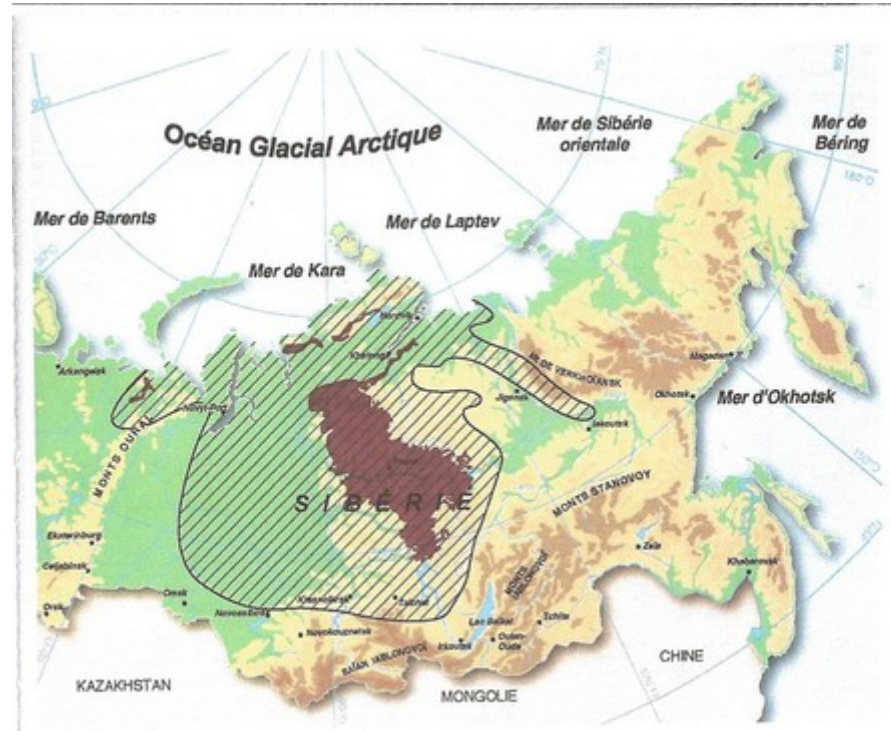
Ce trap a exactement l'âge de 250 millions d'années.

Il n'y a que peu de ces traps continentaux à la surface de la Terre. A côté de ceux du Deccan et de Sibérie, il

y a ceux du Karoo en Afrique du Sud, ceux de Namibie et leurs compagnons du Paraná en Amérique du Sud, ceux du Groenland. Il y a aussi, sous la mer, le plateau d'Antonjara, mais comme il fut sous-marin, il n'a pas provoqué d'extinction massive.

Mais pour être acceptable, une théorie doit avoir une valeur prédictible, c'est-à-dire qu'elle doit permettre d'expliquer des choses qui n'y avaient pas été mises lorsqu'on l'avait formulée.

Dans notre cas, c'est une rétroprédiction permettant d'expliquer ce qui s'est produit dans le passé mais que l'on n'avait pas inclus à l'origine. C'est



Corrélation entre les âges des principaux traps et des extinctions en masse (en millions d'années).

particulièrement exact pour les traps de Sibérie lorsqu'on les situe dans ce qu'était l'allure de la Terre il y a 250 millions d'années. Ils se sont produits à 70° de latitude nord, dans la Pangée.

Une des observations que nous avons pu faire et qui fut pour moi un des éléments qui m'a fait croire que nous étions sur la bonne voie, c'est un article de 1994 de paléontologues américains, Stanley et Young qui ont étudié très finement les fossiles de l'ère primaire. En découpant en fenêtres de temps plus courtes cette fin de l'ère primaire, les étages Tatarien et Guadalupéen et en les subdivisant en six périodes, ils ont distingué des extinctions dans ces six périodes et ont montré que la dernière période était le siège d'une gigantesque extinction mais que huit millions d'années avant, à la fin du Guadalupéen, il y en avait eu une autre, ce qui confirmait notre observation que l'extinction avait duré plus longtemps.

Il y a donc eu deux événements très violents et brefs, séparés de huit millions d'années, qui se sont produits coup sur coup, accompagnés de deux baisses du niveau de la mer provoquées par une importante chute de la température mondiale et donc des glaciations.

Si notre théorie était exacte, il devait y avoir eu deux traps : un à 250 millions d'années et un autre, avant, à 258 millions d'années.

Quelques années plus tard, ce trap plus ancien a été trouvé en Chine où il avait été ensuite broyé par la collision entre l'Inde et la Chine.

Ces traps sont érodés, coupés en morceaux, mais on a pu les reconstituer, les dater, étudier les fossiles et confirmer qu'ils étaient bien responsables de la première extinction il y a 258 millions d'années.

Depuis cinq ans, avec divers collègues, nous avons mesuré les âges des traps. On a pu ainsi tracer une figure corrélant leurs âges et celui des extinctions. Nous avons obtenu une droite qui est compatible avec notre hypothèse et en particulier pour les quatre principales extinctions connues.

Un dernier trap a été découvert en Sibérie, dans un rift, celui de Viluy (ou Yakutsk). Daté, il remonte à 360 millions d'années, ce qui est justement celle de l'extinction du Dévonien (à la limite Frasnien-Famennien).

La première extinction massive connue, qui remonte à 440 millions d'années, serait corrélée avec un trap qui n'a pas encore été retrouvé.

Nous nous sommes demandés si l'on ne pouvait pas dater encore plus précisément que le million d'années ces traps du Deccan. Pour cela, nous y sommes retournés vingt ans après avec une équipe nombreuse, dont Anne-Lise Chenet, qui a regroupé tous les résultats dans une thèse brillante. Nous avons systématiquement utilisé le paléomagnétisme, sachant que celui-ci variait très rapidement.

Une boussole s'oriente régulièrement vers le pôle magnétique. L'angle qu'il fait avec le pôle géographique s'appelle la déclinaison. Aujourd'hui, elle doit être, à Nice, de 2 ou 3 degrés vers l'ouest. Elle est nulle à Paris mais, sous Napoléon, elle était de 20° vers l'ouest et sous François 1er, de 20° vers l'Est. Le nord magnétique a donc varié de plus de 40° en cinq siècles.

Si les laves des traps se sont mises en place successivement, leurs déclinaisons doivent ou non varier. Si elles ne varient pas, c'est que ces traps se sont mis en place rapidement. On sait que la déclinaison peut varier sur une durée très courte de 30-40 ans.

Si donc les aimantations des coulées successives superposées sont très proches, c'est qu'elles se sont mises en place plus vite que le temps nécessaire pour analyser la variation séculaire du magnétisme



terrestre. Nous avons donc là une horloge relative extraordinairement fine qui permet de dater, si les résultats sont semblables, à la dizaine d'années. (S'ils ne le sont pas, on ne peut rien dire).

Nous avons analysé beaucoup plus finement la grande falaise de basalte du Gatti de Mahabalshwar qui domine la mer d'Oman près de Bombay et reporté les directions magnétiques. La direction peut varier de l'horizontale à l'équateur, de la verticale aux pôles.

La coulée supérieure était de direction nord presque horizontale. Au-dessous, il y a une dizaine de coulées très épaisses (1600 m) dont toutes les directions sont les mêmes et qui se sont donc formées en moyenne en une décennie puis, en-dessous, une épaisseur de lave de 40 m de directions magnétiques bizarres, qui correspondent à une inversion du champ magnétique terrestre qui ne dure que quelques milliers d'années et, enfin, en-dessous, des coulées plus petites.

En faisant cela sur des dizaines de coupes sur des centaines de kilomètres des traps du Deccan, nous avons donc prouvé que la couche supérieure s'était répandue en moins de dix ans en couvrant une couche de 40 m établie aussi en moins de dix ans. La couche supérieure, nous avons pu la suivre sur 150 km de long et estimer son volume.

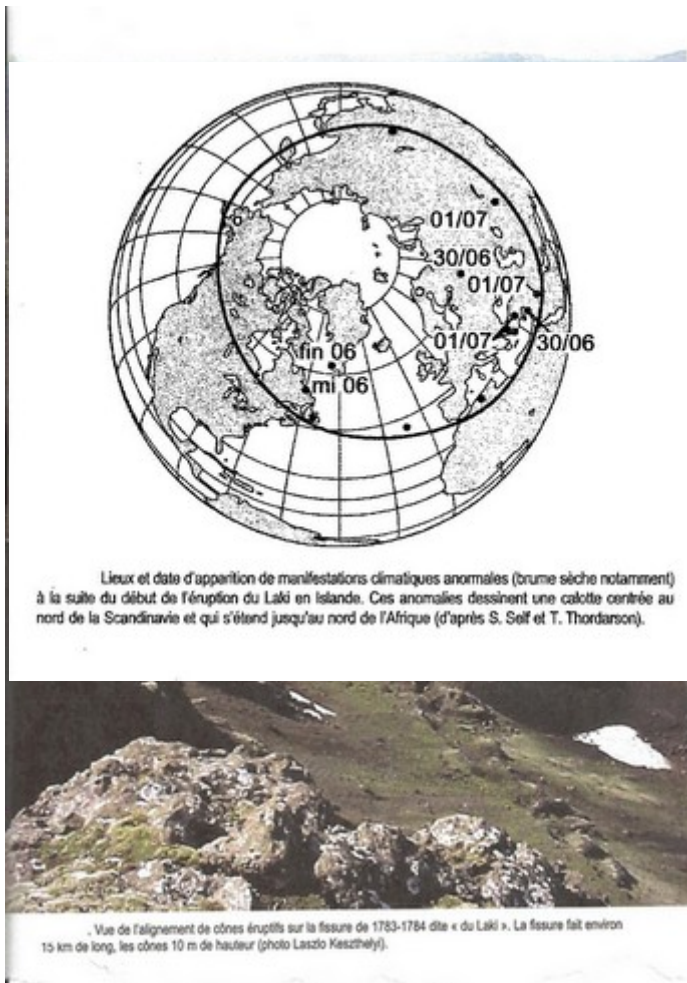
Il y a donc eu une première phase de volcanisme il y a 67 millions d'années puis, pendant 2 millions d'années, il ne s'est rien passé avant une phase gigantesque il y a 65 millions d'années qui représente 80 % du volume des traps, s'établissant probablement en moins de 100 ans, probablement en moins de 10 ans, et après une phase de repos, une dernière phase moins importante qui surmonte l'ensemble.

Le volcanisme total du Deccan s'est donc produit en moins d'un million d'années mais en trois périodes dont chacune est très courte et ne correspond qu'à une toute petite partie du temps géologique.

Les paléontologistes consultés ont retrouvé les trois phases d'extinction et montré que c'était probablement un volcanisme qui en était responsable.

Après la grande phase d'extinction, il y a 65 millions d'années, il y a eu une nouvelle phase quelques centaines de milliers d'années après. Il a donc fallu un demi-million d'années à la biosphère pour se reconstituer. Pourquoi tant de temps pour récupérer ? C'est à cause de cette nature répétitive du volcanisme.

Que le volcanisme ait fortement affecté le climat est un phénomène bien connu depuis la dernière éruption du Laki (Islande) en 1783 grâce à la publication d'un fascicule de trente pages présenté à



l'Académie des Sciences de Montpellier par de Montredon, où il montrait d'une manière éblouissante, tous les effets sur la vitesse du vent, l'humidité, l'altération des feuilles des arbres et des récoltes, les températures et les brouillards anormaux, un été très chaud et suivi d'un hiver exceptionnellement froid, des pluies acides brûlant les récoltes et dont il pensait qu'ils avaient tous pour origine un volcanisme dont il avait entendu parler par des navigateurs venant du nord !

Cette éruption du Laki a été depuis reconstituée par des géologues, des vulcanologues et des historiens d'une manière précise qui montre qu'il y eut dix épisodes successifs constituant la plus grande expansion basaltique de l'époque. La récente éruption en Islande, qui a bloqué tous les avions, n'est rien en comparaison de celles successives du Laki qui bloqueraient tous les avions sur l'Atlantique nord pendant au moins une année !

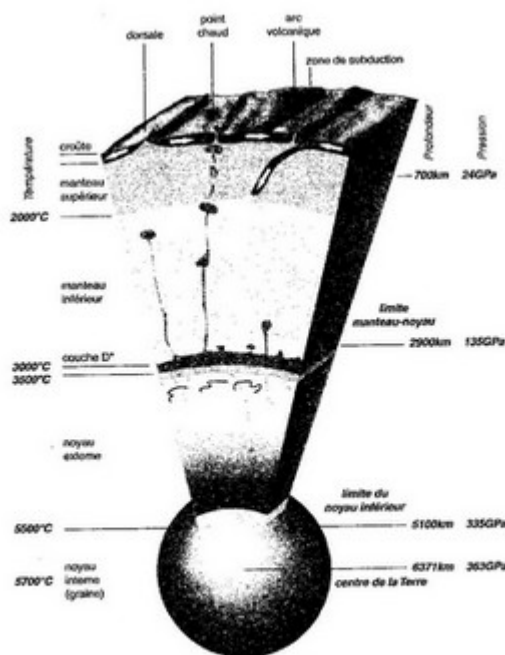
Ce volcanisme basaltique qui est effusif commence toujours par un dégazage violent qui atteint la stratosphère

Dix fois de suite, les produits ont atteint 13 km d'altitude au-dessus de l'Islande d'où ils se sont distribués autour du monde. Le principal gaz influant sur le changement climatique est le SO<sub>2</sub> qui, se combinant dans la stratosphère, donne des aérosols d'acide sulfurique qui ont comme propriété d'arrêter une bonne part du rayonnement du soleil. La stratosphère se réchauffe et provoque un hiver volcanique à la surface de la Terre.

Le volcanisme du Laki a provoqué des mortalités importantes durant des hivers glaciaux en Angleterre. Il en fut de même en Normandie et aussi dans toute la France quelques mois après la première éruption.

Il y a eu probablement plus de 100 000 morts en Europe consécutifs à cette éruption. Un quart de la population d'Islande est morte et ⅓ du cheptel..

Cette éruption permet d'imaginer les conséquences de ce qu'ont pu être les coulées des trapps du Deccan dont une coulée a pu atteindre 10 000 km<sup>3</sup> alors que celle du Laki n'en a atteint que 1 000. Or il y a eu des dizaines de coulées au Deccan en quelques années.



Coupe schématique de la Terre montrant ses principales enveloppes, de la croûte à la graine en passant par le manteau. Les profondeurs, les températures et les pressions estimées sont indiquées sur les côtés.

La dernière éruption contemporaine du Pinatubo a rejeté 0,017 milliards de tonnes (Gt) de soufre en moins d'un an. Celle du Laki en a envoyé 0,12 Gt.

Les émanations de soufre provenant de l'utilisation du charbon sont du même ordre mais n'atteignent jamais la stratosphère.

Une coulée du Deccan c'est 10 à 15 Gt en une dizaine d'années.

L'impact de l'astéroïde au Yukatan a aussi dégagé du soufre car l'endroit où il est tombé comprenait des centaines de mètres de couches de sulfate (gypse).

On peut affirmer qu'il y a eu un impact de météorite pendant le volcanisme du Deccan mais son impact

en soufre sur la stratosphère n'est comparable qu'à celle d'une très grande coulée seulement. Il est donc raisonnable de dire que l'impact de cette météorite seule, en l'absence de volcanisme, n'aurait aucune conséquence sur la vie sur Terre.

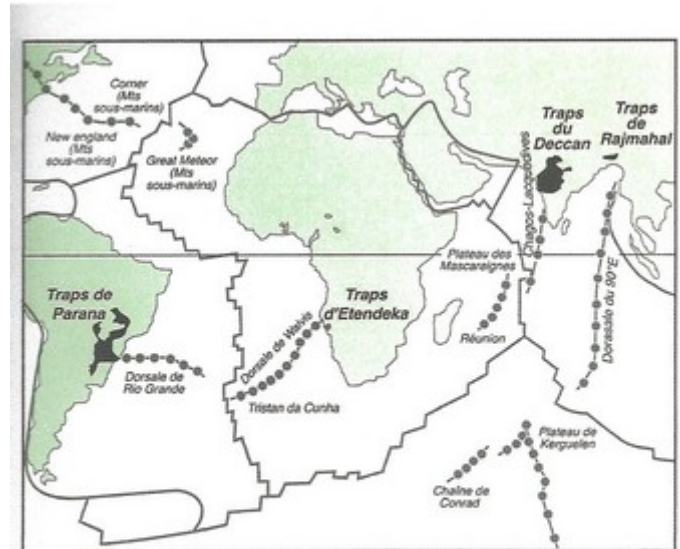
En fait, il a fallu un trap entier et l'astéroïde pour qu'une extinction en masse se produise. Une séquence de coulée géante isolée ne suffit pas parce que l'océan est un fantastique tampon.

Accessoirement c'est pour cela que tout ce que l'on dit actuellement sur le changement climatique n'est que billevesées car l'océan est capable d'absorber beaucoup plus de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère que l'on ne croit. L'océan se remet en équilibre en 2000 ans. S'il y a des éruptions tous les 5000 ans, l'océan remet tout à l'équilibre entre temps.

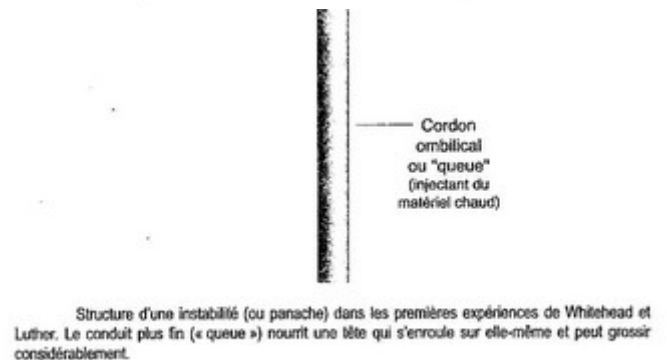
Il faut donc que le hasard ait fait que les accidents soient plus rapprochés que le temps nécessaire pour que l'océan rétablisse l'équilibre et que le système dérape pour aboutir à une extinction en masse.

Ce que je viens de vous dire sur les traps a des conséquences très importantes sur l'intérieur de la Terre. Il peut se produire trois types d'instabilité magmatique :

- ▶ ou bien le volcanisme au niveau des plaques a son origine à une centaine de kilomètres de profondeur,
- ▶ ou bien il provient de superpanaches qui, venant du noyau de la Terre, se coincent au niveau de la zone de transition à 1300 km de profondeur et déclenchent peut-être des instabilités secondes,
- ▶ ou bien, dans un petit nombre de cas, la couche qui est à la limite entre le noyau de fer liquide de la Terre et le manteau silicaté produit des points chauds dont le Piton de la Fournaise de la Réunion est un bon exemple. Il est la relique de ce que fut l'éruption gigantesque à l'origine des traps du Deccan.



Traces des principaux points chauds dans les océans Indien et Atlantique (d'après Müller et coll.). Le point chaud de Kerguelen conduit ainsi aux petits traps de Rajmahal, celui de Tristan da Cunha aux traps du Parana et d'Etendeka, celui de la Réunion au Deccan, celui du Grand Meteor (moins clair) vers les volcans des White Mountains dans l'est des États-Unis.



Si vous représentez la fréquence des inversions du champ magnétique terrestre, on observe qu'il y a habituellement environ quatre inversions durant un million d'années. Or on a montré que durant le Crétacé, il n'y a pas eu d'inversion alors qu'il y en avait eu beaucoup au Jurassique. De même, à l'ère primaire, au Carbonifère, il n'y a pas d'inversion pendant 70 millions d'années.

Or les plus grands traps se sont produits environ 15 millions d'années après ces périodes de stabilité exceptionnelles. Ils proviennent donc de la limite manteau-noyau.

Le noyau de la Terre, qui fabrique le magnétisme terrestre, est du fer liquide aussi fluide que de l'eau qui se déplace de 10 km par an à 3000 km de profondeur et accumule de la chaleur.

Cette chaleur arrive au niveau du manteau dans la couche D2 qui s'épaissit et devient de plus en plus chaude. Elle se fraie un passage en 10 millions d'années à travers le manteau sous forme d'un panache.

Alors que le fonctionnement du champ magnétique se rétablit, le panache arrive à la surface sous la forme des traps.

On observera que le continent unique primordial, la Pangée, s'est morcelé en créant des bassins océaniques peu après, sur le lieu des émissions des traps.

Les océans du monde sont donc le souvenir des lieux d'effusion des traps.

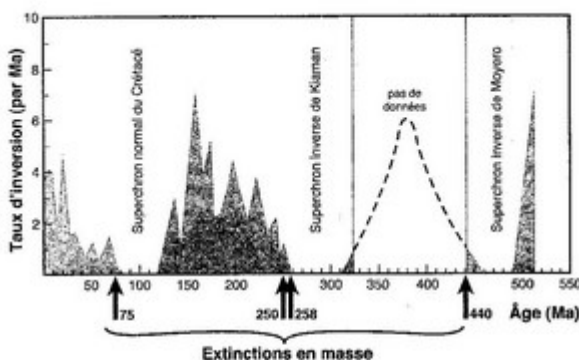
Le premier, il y a 200 millions d'années est à l'origine de la province du Centre atlantique. Les traps du Karoo, c'est l'ouverture de notre océan Indien. A 135 millions d'années, au Paraná, c'est l'ouverture de l'océan Atlantique sud et, enfin, les traps du Deccan, à 65 millions d'années, c'est l'ouverture de la mer d'Arabie. Il y a 55 millions d'années, les traps du Groenland précèdent l'ouverture de l'Atlantique nord et, enfin, il y a 30 millions d'années, aux Afars, s'ouvre la mer Rouge.

Trois points chauds expliquent l'ouverture de l'Atlantique, trois autres expliquent celle de l'océan Indien occidental

L'évolution de la vie sur cette immense période n'est donc pas la survivance du plus apte, comme le pensait Darwin, mais celle des plus chanceux. Nous sommes donc le résultat de ceux qui ont échappé à chacune des catastrophes qui se sont produites.

Toute la vie actuelle sur Terre descend des rescapés et on peut imaginer la biodiversité immense de ceux qui n'ont pas survécu. Il y a eu, au Primaire, des plans d'animaux extraordinaires qui ont disparu mais nous avons hérité, dans notre génome, des traces de ces formes disparues.

En conclusion, on voit qu'il existe une liaison entre la dynamique du noyau, les inversions du champ magnétique, les panaches venant des profondeurs, les traps et la déchirure des continents et ces extinctions en masse. Elles sont, évidemment, des catastrophes, mais aussi des occasions de renaissance de la biosphère qui est alors le siège d'évolutions accélérées qui atteignent un niveau supérieur à celui qui préexistait.



Nous sommes actuellement sur un plateau en attendant la prochaine extinction en masse ...

Évolution de la fréquence des inversions du champ magnétique et extinctions massives depuis 550 millions d'années (d'après l'auteur et P. Olson). Les trois phases d'extinction les plus massives (fin de l'Ordovicien il y a 440 millions d'années, fin du Guadalupien et du Permien il y a 258 et 250 millions d'années et fin du Crétacé il y a 65 millions d'années) suivent de quelques millions d'années la fin des trois « superchrons », périodes de plusieurs dizaines de millions d'années au cours desquelles le champ magnétique terrestre avait cessé de s'inverser. Pour nous, c'est un argument fort pour lier les deux de manière causale à travers l'ascension puis l'éruption de grands panaches du manteau aboutissant à des éruptions de traps (voir texte). Les traps sont identifiés dans trois des quatre cas (seuls ceux de la fin de l'Ordovicien, peut-être détruits, n'ont pas encore été retrouvés).