

Quelques données sur la limite Crétacé-Tertiaire (limite K-T)

15/05/2002

Auteur(s) :

Jean-Emmanuel Hurtrez

Laboratoire EPOC, Univ. Bordeaux 1

Pascal Lecroart

Laboratoire EPOC, Univ. Bordeaux 1

Publié par :

Benoît Urgelli

Résumé

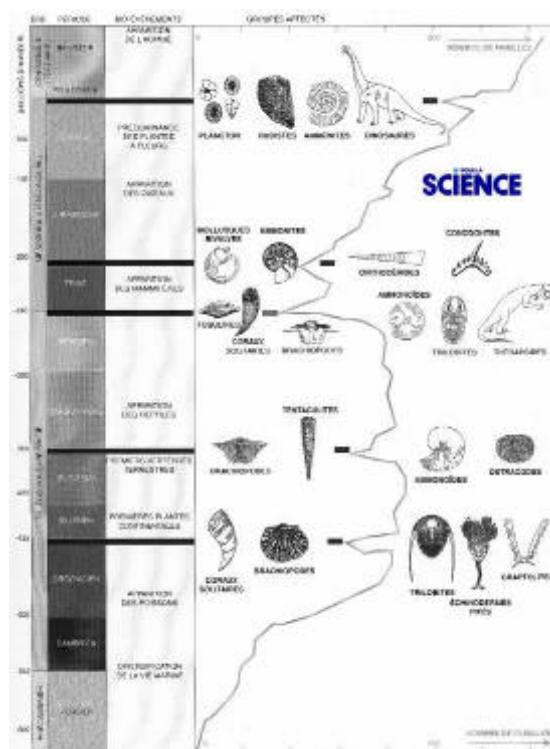
Caractéristiques de la limite K-T et de la crise biologique associée.

Table des matières

- [Introduction](#)
 - [Une crise biologique instantanée ?](#)
 - [Une crise planctonique marquée](#)
 - [Enregistrement de la crise par les macrofossiles](#)
 - [Discussion de la notion de crise instantanée](#)
 - [La crise Crétacé-Tertiaire : une origine cosmique](#)
 - [Le pic d'iridium](#)
 - [La magnétite nickélique \(ou spinelle nickélique\)](#)
 - [Les minéraux choqués](#)
 - [La recherche de la trace de l'impact](#)
 - [Enregistrement de la limite K-T dans la baie de Loya \(Pointe Sainte Anne\)](#)
 - [La crise Crétacé-Tertiaire : une conjonction d'événements catastrophiques](#)
 - [Un volcanisme exceptionnel](#)
 - [Une régression du niveau marin](#)
 - [Un refroidissement global](#)
 - [Conclusion](#)
 - [Bibliographie](#)
-

Introduction

La crise Crétacé-Tertiaire est l'une des 5 crises majeures qui ont marqué les temps phanérozoïques, soit les 545 derniers millions d'années de l'histoire de la vie sur Terre (Figure 1) :



Source - © 2000 La valse des espèces - Dossier Pour la Science

Figure 1. **Les crises biologiques au cours du Phanérozoïque.**

Sur le globe, la limite K-T est reconnue et étudiée sur une centaine de sites. Parmi les plus connus, citons :

- El Kef (Tunisie) : le stratotype mondial
- Stevns Klint (Danemark)
- Gubbio (Italie)
- Caravaca (Espagne)
- [Bidart](#) (France)
- Site ODP 761C (Océan Indien)

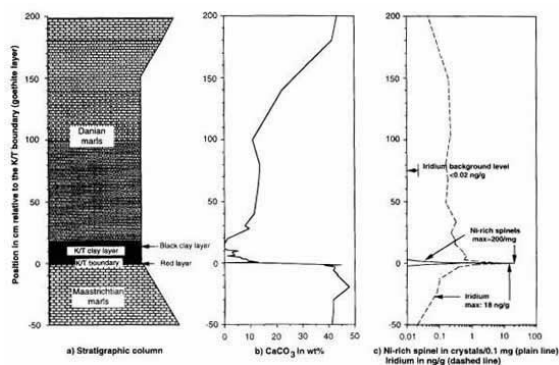
La limite K-T correspond à une crise majeure puisqu'elle voit la disparition :

- de 80% des micro-organismes marins
- des grands reptiles marins
- des Dinosaures terrestres
- des Ammonites
- des Bélemnites

Une crise biologique instantanée ?

Une crise planctonique marquée

Au niveau de tous les sites d'enregistrement de la limite K-T en domaine océanique, la limite K-T est soulignée par la présence d'un niveau d'argile sombre encadré par des ensembles plus marneux. Le niveau argileux est l'expression d'un arrêt de la sédimentation carbonatée lié à la **disparition du plancton marin** pourvoyeur en carbonates :



Source - © 1998 E. Robin, R. Rocchia, Bull. Soc. Géol. France

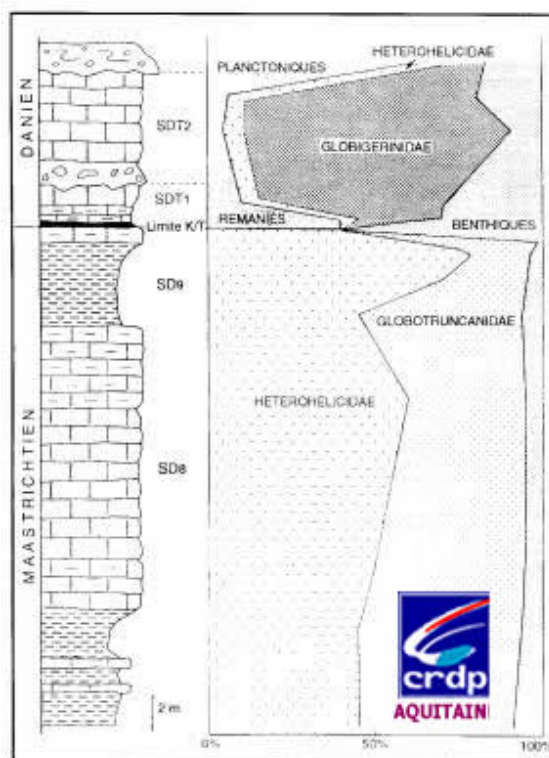
Figure 2. Le passage Crétacé-Tertiaire sur le site de El Kef (Tunisie).

a) Colonne stratigraphique du passage Crétacé-Tertiaire sur le site de El Kef (Tunisie), b) Proportion en carbonates dans les roches, c) Distribution de l'iridium et des magnétites nickélfères.

Source : E. Robin, R. Rocchia, 1998. *Ni-rich spinel at the Cretaceous-Tertiary boundary of El Kef, Tunisia*, *Bull. Soc. Géol. France*, 169, p. 365-372. Existe aussi dans le dossier Pour La Science [La Valse des Espèces](#) de juillet 2000.

L'évolution des faunes de foraminifères au niveau des sites de la côte basque permet d'aboutir au constat suivant (**Figure 3**) :

- dans les derniers niveaux du Maastrichtien, les populations de foraminifères connaissent une diversification avec 60 espèces sous la limite K-T alors que 20 espèces seulement sont trouvées dans le Campanien.
- 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 biocénoses à Globotruncana et Heterohelicidae sont complètement remplacées par les assemblages de Globigerinidae, ce qui est un témoin d'une crise majeure au niveau de la limite.



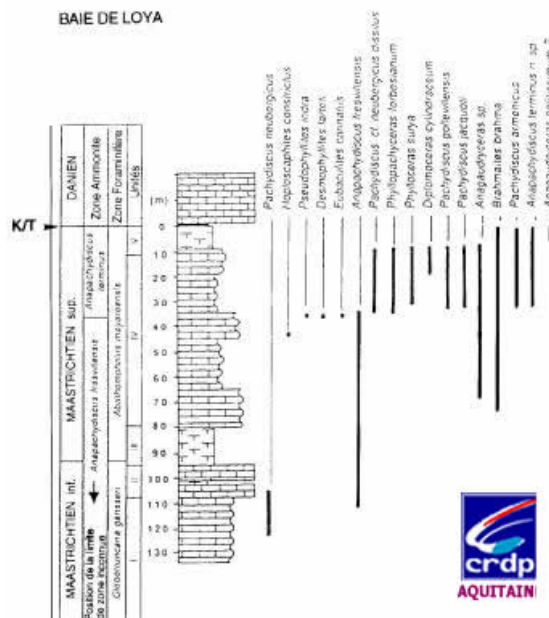
Source - © 1996 Lacaziedeu et al., [CRDP Aquitaine](#).

Figure 3. Répartition des Foraminifères planctoniques, benthiques et remaniés sur la coupe de Bidart.

Source : A. Lacaziedeu, B. Peybernès, C. Seyve, 1996. *La limite Crétacé-Paléocène sur la côte basque*, CRDP Aquitaine

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 (**Figure 4**). 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).



Source - © 1996 CRDP d'Aquitaine.

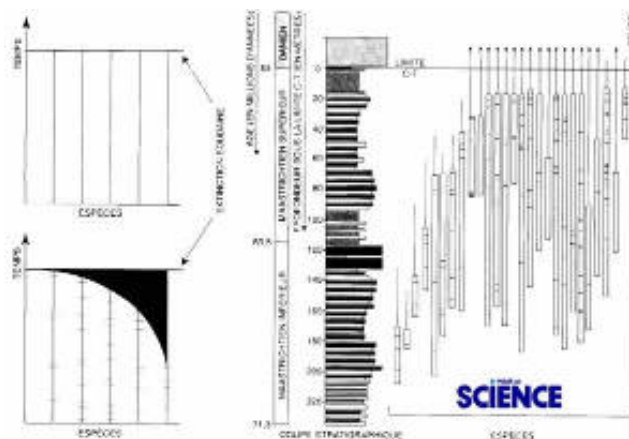
Figure 4. Répartition des ammonites au Maastrichtien sur le site de la baie de Loya..

Source : La limite Crétacé-Paléocène sur la côte basque, Lacazedieu, A., Peybernès, B. et Seyve C., p.26, BU 551.78 (447.95) LMI, 1996, [CRDP d'Aquitaine](#).

Sur les continents (sites essentiellement en Amérique du Nord), les données actuelles ont permis de distinguer 67 espèces de dinosaures dans le Maastrichtien. En revanche, les fossiles et les traces de dinosaures sont complètement absents au Tertiaire. Les fouilles récentes ont permis de repousser les dernières traces de vie des dinosaures juste sous la limite K-T. Ainsi, des ossements ont été identifiés à 1,5 mètre sous la limite (soit 30 000 ans avant la crise) et des empreintes de pas -Chirotériums- ont été reconnues à 0,3 mètre sous la limite (soit 6 000 ans avant la crise). Toutefois, la faible résolution stratigraphique en milieu continental et les lacunes de l'enregistrement fossile compliquent l'interprétation de ces données en terme d'extinction graduelle ou d'extinction massive.

Discussion de la notion de crise instantanée

En raison de l'aspect fragmentaire inhérent aux archives fossiles, les notions de crise graduelle ou de crise ponctuelle doivent être argumentées avec précaution (Figure 5) :



Source - © 2000 La valse des espèces p.13 - Dossier Pour la Science

Figure 5. **Modèles d'extinction et exemples des ammonites en baie de Biscaye à la limite K-T.**

- Une extinction brutale se traduit par la disparition soudaine de plusieurs espèces à une date bien précise (en haut). Toutefois, en raison des lacunes de l'enregistrement fossilifère – un tiret horizontal représente l'occurrence d'un fossile de l'espèce - une extinction brutale peut apparaître graduelle (en bas).
- Répartition des ammonites dans les sédiments de la baie de Biscaye (Golfe de Gascogne, Espagne) sous la limite K-T. Pour les 8 espèces représentées à gauche, l'extinction semble graduelle. Ces espèces disparaissent en effet plusieurs mètres sous la limite K-T. En revanche, pour les 19 espèces représentées à droite, les données s'accordent avec une extinction brutale. En effet, les intervalles de confiance calculés en tenant compte des occurrences (traits verticaux) dépassent la limite K-T.

La brutalité de la crise K-T ne doit pas faire oublier qu'elle ne fait que se superposer au niveau de base des extinctions des espèces. Par exemple, il est bien établi que les inocérames et les rudistes disparaissent quelques millions d'années avant la limite K-T. En outre, toutes les espèces ne subissent pas de la même façon les effets délétères de la crise puisque des groupes tels les Oiseaux (cousins des Dinosaures) ou les Nautilés (cousins des Ammonites) survivent à la crise.

La crise Crétacé-Tertiaire : une origine cosmique

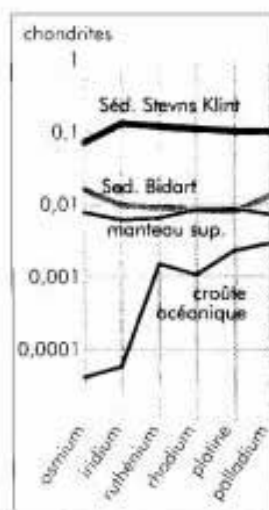
Le pic d'iridium

La première observation qui a conduit à l'hypothèse d'une catastrophe d'origine cosmique par Luis et Walter Alvarez est la présence d'un pic en iridium (Ir) au niveau des sédiments qui marquent le passage de la limite K-T ([Figure 2](#)). L'iridium est un platinoïde très rare dans les matériaux terrestres (teneur de l'ordre de 0,00005 ppm) mais beaucoup plus abondant dans les météorites (teneur de l'ordre de 0,5 ppm). Dans l'hypothèse d'un apport en iridium par une météorite et compte tenu des teneurs en iridium mesurées dans les sédiments de la limite K-T, il faut imaginer 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 milliards d'individus), il est aisément concevable qu'il s'accompagne d'une crise biologique majeure !

Suite à la découverte d'un enrichissement en iridium des laves du Kilauea (volcan d'Hawaï) une hypothèse alternative pour l'explication de l'enrichissement en Ir a été proposée : celle d'un volcanisme extrêmement actif. Or, un volcanisme exceptionnel a effectivement été mis en évidence sur le plateau du Deccan (Inde) à la transition K-T. Toutefois, il semble bien établi aujourd'hui que ce seul volcanisme ne puisse pas expliquer la crise K-T (Cf. infra). Cet événement, au même titre que la baisse importante du niveau marin survenue au passage K-T, a vraisemblablement contribué à renforcer les effets dévastateurs de l'impact météoritique.

L'hypothèse d'une origine principalement volcanique pour expliquer la crise K-T et ses manifestations est mise en défaut par les faits suivants.

- La libération d'iridium par les volcans reste modeste et ne permet pas d'apporter en surface les 500.000 t d'Ir présentes à la limite K-T. De plus, la teneur en Ir des laves des trapps du Deccan est faible.
- Le rapport iridium/palladium des sédiments de la limite K-T est proche de celui des météorites et très différent de celui des laves du Deccan ([Figure 6](#)).
- L'événement à forte teneur en Ir a été mis en évidence entre deux coulées du Deccan.
- La présence de magnétites nickélifères, de tectites (gouttes de roche fondue) et de minéraux choqués symptomatiques de l'implication d'une météorite dans la catastrophe de la limite K-T est avérée en de nombreux sites.



Source - © déc. 1996 La Recherche, n°293, p.55

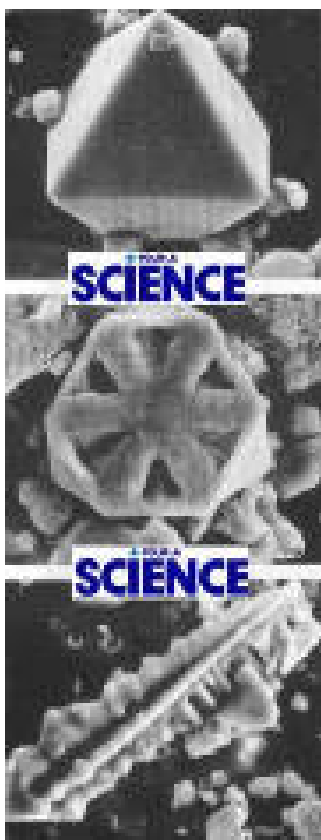
Figure 6. [Distribution des platinoïdes dans les sédiments de la limite K-T, dans le manteau et la croûte océanique.](#)

Les distributions horizontales correspondent à des abondances relatives comparables à celle des chondrites (valeur égale à 1).

Attention : le débat sur le rôle principal du **volcanisme** ou de l'**impact météoritique** pour expliquer l'extinction biologique majeure agite toujours la communauté scientifique. Par souci d'impartialité, il est important de discuter les deux hypothèses et de lire aussi [l'origine des extinctions à la limite Crétacé-tertiaire](#).

La magnétite nickélifère (ou spinelle nickélifère)

La magnétite nickélifère se présente sous forme de petits minéraux microscopiques octaédriques ou dendritiques ([Figure 7](#)). 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.



Source - © 2000 La valse des espèces p.110 - Dossier Pour la Science

Figure 7. cristaux de magnétite nickélfère (ou spinelle nickélfère) extraits des sédiments de la limite K-T.

L'observation de magnétites nickélfères dans les sédiments de la limite K-T apporte bien la preuve de l'implication d'une météorite dans la catastrophe. Les magnétites nickélfères se retrouvent uniquement sur quelques millimètres de sédiments de la limite K-T, ce qui atteste bien de la brièveté de l'événement (Figure 2).

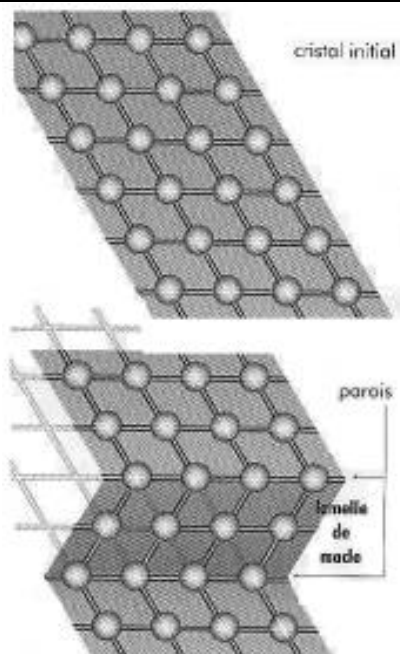
Comparativement au pic des magnétites nickélfères, celui de l'iridium est beaucoup plus étalé (voir Figure 2). Des teneurs anormales en Ir sont mesurées sur plusieurs dizaines voire plusieurs centaines de centimètres de part et d'autre du pic en magnétites nickélfères. Or, l'iridium peut passer en solution dans l'eau. Les calculs montrent que l'Ir a un temps de transit de l'ordre de 1000 à 10.000 ans, ce qui explique l'étalement des fortes valeurs au-dessus du pic. L'entraînement de l'iridium par les eaux interstitielles en sein des sédiments expliquerait les fortes teneurs mesurées sous le pic.

Les minéraux choqués

Dans les cratères d'impact météoritique reconnus (cratère de Ries 15 Ma - Allemagne-, cratère de Manson 72 Ma - USA-), outre des tectites (gouttes de roches fondues), ont été trouvés des minéraux (quartz, zircons, augites) présentant des défauts en lamelles (ou PDF pour *planar deformation features*) (cf. Figure 8 et Figure 9).

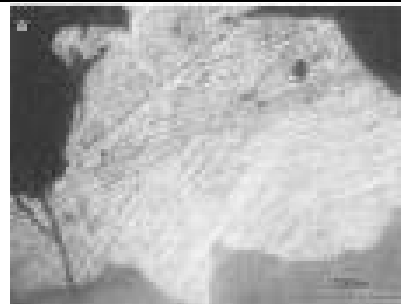
Depuis longtemps, la présence de tels « *minéraux choqués* » est reconnue dans de nombreux sites où est enregistrée la limite K-T. Les minéraux comme le quartz et le zircon étant typiques des roches de la croûte continentale, l'impact de la météorite s'est produit sur une portion de croûte continentale.

Les macles mécaniques du quartz se développent lors d'une déformation très rapide. Elles sont le résultat d'un mouvement d'ensemble des atomes sous l'effet d'une forte contrainte (supérieures à 3 GPa). La figure 8 montre le déplacement de la partie supérieure du cristal par rapport à la partie inférieure. La lamelle de la macle, limitée par deux parois, garde la même structure cristallographique, mais l'orientation du réseau est modifiée.



Source - © déc. 1996 La Recherche, n°293, p.57

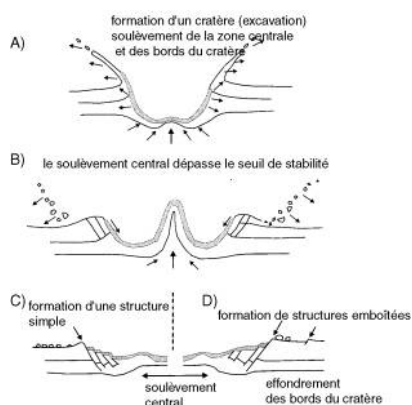
Figure 8. Réseaux atomiques d'un cristal de quartz avant et après développement d'une lamelle de maclage mécanique.



Source - © 2000 La valse des espèces p.110 - Dossier Pour la Science

Figure 9. Structures lamellaires observées au microscope dans un quartz récolté dans le cratère météoritique de Manson (USA).

La recherche de la trace de l'impact



Source - © 2000 [J. Morgan et M. Warner, Geology](#), modifié

Figure 10. Modèle général de développement d'un astroblème.

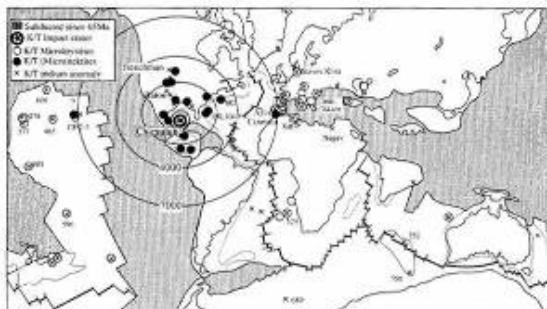
La répartition des tectites et des minéraux choqués n'est pas uniforme sur la surface du globe, une plus forte abondance est observée au niveau de l'Amérique du Nord, du golfe du Mexique et des Caraïbes (Figure 11). Dans les Caraïbes, l'âge des tectites est de $65,01 \pm 0,08$ Ma. La datation du cœur des zircons choqués indique des âges du socle de 540 Ma. Ces données permettent de concentrer les recherches du cratère d'impact dans le secteur Amérique du Nord / Golfe du Mexique, en privilégiant les domaines continentaux restructurés à 540 Ma.

La diamètre de la météorite responsable des anomalies observées à la limite K-T étant estimé à une dizaine de kilomètres, le cratère d'impact (diamètre environ 40 fois plus large que celui de l'objet) doit avoir une dimension de

l'ordre de 400 km.

Sur Terre trois cratères d'impact météoritiques ont un diamètre de l'ordre de 100 km :

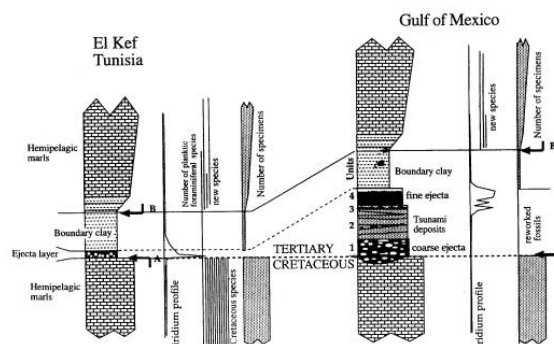
- Vredefort (Afrique du Sud), 2.023 Ma fortement érodé,
- Sudbury (Canada), 1.850 Ma, déformé par la tectonique,
- Chicxulub (Mexique), 65 Ma, cacheté par 1 km de sédiments carbonatés du Tertiaire.



Source - © 1999 [J. Smit, Annual Review of Earth and Planetary Sciences](#)

Figure 11. Carte de la répartition des tectites, des minéraux choqués et des anomalies en Ir au niveau des sites d'étude de la limite K-T.

Sur cette carte, la paléogéographie de la limite K-T (65 Ma) est respectée. Les cercles concentriques matérialisent les régions situées à 2.500, 4.000 et 7.000 km de distance par rapport au cratère de Chicxulub, Les nombres indiquent les numéros de sites ODP/DSDP. En Haïti et dans le golfe du Mexique -de l'Alabama jusqu'au Guatemala-, la limite K-T est soulignée par des formations gréseuses (2 à 3 m d'épaisseur) reposant sur des niveaux contenant des tectites et des minéraux choqués. Les analyses sédimentaires montrent que ces dépôts se sont mis en place en quelques jours, sous des courants marins puissants changeant de direction. Ces dépôts témoignent d'un raz-de-marée (ou tsunami). Au-dessus de ces sables, se sont déposées des argiles enrichies en iridium, témoignant d'une baisse du niveau d'énergie du milieu.

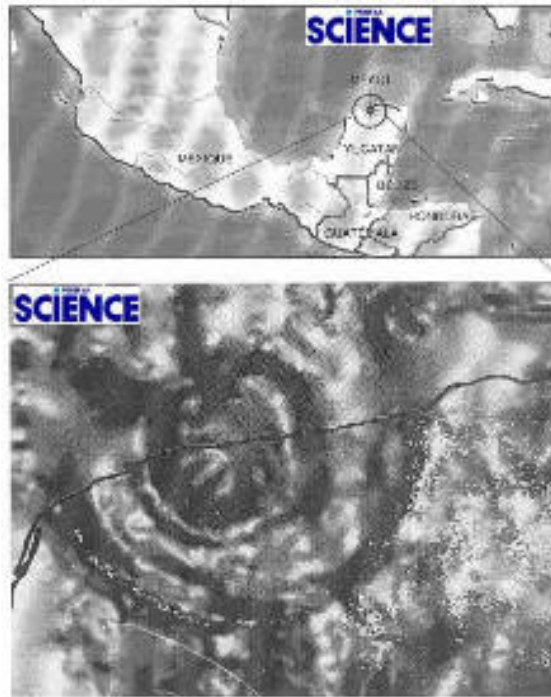


Source - © 2000 [J. Morgan et M. Warner, Geology](#), modifié

Figure 12. Comparaison de l'enregistrement des événements de la limite K-T au niveau d'un site distal (El Kef) et proximal (Golfe du Mexique).

A : niveau des extinctions massives ; B : niveau des premières apparitions de nouvelles espèces de foraminifères planctoniques. Mis en évidence par l'étude des anomalies gravimétriques et magnétiques, le cratère d'impact a été trouvé au Nord de la péninsule du Yucatan (Figure 11). Actuellement, cette structure est masquée par plus de 1000 m de sédiments tertiaires. La répartition des cénotes (puits remplis d'eau douce) qui correspondent à des zones de dissolution préférentielle des carbonates, souligne des zones fortement fracturées (circulation des fluides facilitée) au droit des failles qui limitent le cratère d'impact. 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

Le centre de la structure se situe sous le village de Chicxulub, sur la côte Nord du Yucatan. Selon les interprétations, le cratère a un diamètre de 180 à 350 km, ce qui en fait l'un des plus vastes cratères connus sur Terre. Une campagne sismique récente a montré que les failles associées à l'astrolème affectent la croûte continentale sur toute son épaisseur. Les sondages pétroliers effectués dans la région ont permis de remonter des roches fondues datées à $64,98 \pm 0,05$ Ma. Au niveau de la péninsule du Yucatan, l'âge du socle est bien de 540 Ma.

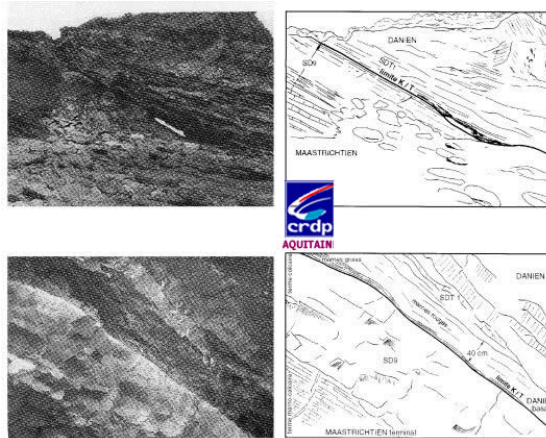


Source - © 2000 La valse des espèces p.110 - Dossier Pour la Science

Figure 13. Structures concentriques du cratère du Chicxulub révélées par l'étude des anomalies gravimétriques.

Trait noir épais : côte Nord du Yucatan ; cercles blancs : cénottes (trous remplis d'eau douce).

Enregistrement de la limite K-T dans la baie de Loya (Pointe Sainte Anne)



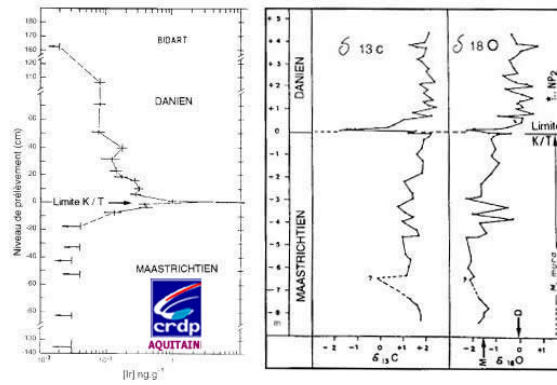
Source - © 1996 Lacazieu et al., [CRDP Aquitaine](#).

Figure 14. Structures concentriques du cratère du Chicxulub révélées par l'étude des anomalies gravimétriques.

a) Limite K-T dans la baie de Loya, au niveau d'une grotte naturelle entre les marnes rouges, puis bleutées du Maastichtien terminal (SD9) et les calcaires rosés bien stratifiés du Danien (SDT1). b) La limite correspond à un niveau de marnes grises (5 cm d'épaisseur) comprise entre un banc de marno-calcaire gris -bleuté (2 m) et un mince niveau marneux rouge brique (40 cm).

Source : A. Lacaziedieu, B. Peybernès, C. Seyve, 1996. *La limite Crétacé-Paléocène sur la côte basque*, CRDP Aquitaine

Attention ! Depuis 2005, il semble que la mini-grotte du passage K-T de la baie de Loya se soit effondrée, ce qui rend la visite périlleuse.



Source - © 1996 Lacazieu et al., [CRDP Aquitaine](#).

Figure 15. Distribution de l'iridium et évolution des rapports isotopiques du carbone et de l'oxygène au niveau de la coupe de Bidart.

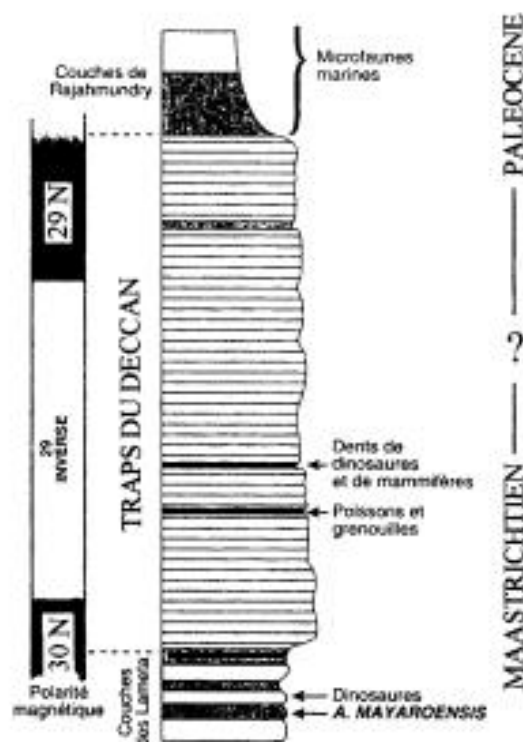
Source : A. Lacaziedieu, B. Peybernès, C. Seyve, 1996. *La limite Crétacé-Paléocène sur la côte basque*, CRDP Aquitaine

La crise Crétacé-Tertiaire : une conjonction d'événements catastrophiques

Un volcanisme exceptionnel

Les éruptions volcaniques majeures ont un impact reconnu sur le climat. Citons, par exemple, « l'année sans été » qui suivit l'éruption du mont Tambora (Indonésie) en 1815 (cf. [Aérosols et modifications climatiques](#)). Plus généralement, une activité volcanique intense tend à réduire la luminosité de l'atmosphère (effet des poussières et des aérosols sur la rétro-diffusion de la lumière au niveau de la stratosphère) ce qui conduit à un refroidissement global suivi d'un réchauffement par effet de serre lié à l'important dégagement de CO₂.

Or, on assiste à la fin du Crétacé à la mise en place au niveau du continent indien d'un plateau basaltique (trapp) d'une épaisseur moyenne de 2.400 m, sur une surface comparable à celle de la France ! L'âge radiométrique des laves correspond à celui de la limite K-T. En outre, les données du paléomagnétisme montrent que quasiment l'ensemble du plateau basaltique s'est édifié pendant l'inversion 29R, ce qui correspond à une durée étonnamment courte de 600.000 ans (Figure 16). L'effet sur la biosphère d'un tel volcanisme à la limite K-T est nécessairement considérable.



Source - © 1998 F. Lethiers

Figure 16. Coupe géologique des trapps du Deccan et l'échelle des inversions magnétiques

Source : F. Lethiers, 1998, *Évolution de la biosphère et événements géologiques*, Gordon and Breach Science Publishers, 321 pp. ISBN-13: 978-9056991241.

La corrélation forte entre l'âge des crises biologiques recensées depuis la fin du Permien et l'âge de trapps volcaniques connus (figure 17) constitue un argument fort validant l'hypothèse de l'effet prépondérant des épisodes de volcanisme intense sur les crises biologiques. Cette observation tend à minimiser l'influence de l'impact météoritique car si un tel événement est avéré pour la crise K-T, il n'y a pas d'« *effet météorite* » connu pour les autres crises.



Source - © 1995 V. Courtillot

Figure 17. Corrélation entre l'âge des grands trapps et des principales extinctions d'espèces depuis la fin du Permien.

Source : V. Courtillot, 1995. *La vie en catastrophe*, Fayard, 278 p, ISBN-13: 978-2213595115

Une régression du niveau marin

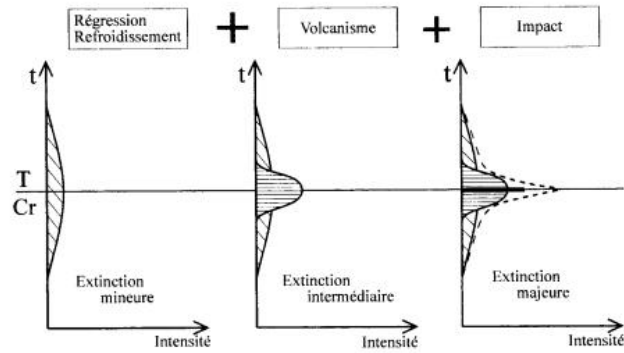
Dans le bassin de Paris notamment, les traces d'une régression marine ont été relevées. Ainsi, les lacunes de la base du Danien ainsi que le développement d'une surface karstique (émersion) dans la craie du Campanien sont des témoins de la chute du niveau marin. Plus généralement, les changements de paléogéographie en Amérique du Nord et en Europe qui s'observent à la fin de Crétacé montrent l'importance de la régression du niveau marin.

Un refroidissement global

Au niveau de la coupe de El Kef, la mesure des variations du $\delta^{18}\text{O}$ tendent à montrer qu'un climat globalement froid s'était installé juste avant la limite K-T. De telles mesures effectuées sur des sites pyrénéens suggèrent également que les conditions climatiques étaient alors favorables à l'installation d'une calotte glaciaire.

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 (figure 18).



Source - © 1998 F. Lethiers

Figure 18. **Superposition de phénomènes permettant d'expliquer les extinctions majeures à la limite K-T.**

Source : F. Lethiers, 1998, *Évolution de la biosphère et événements géologiques*, Gordon and Breach Science Publishers, 321 pp. ISBN-13: 978-9056991241.

Bibliographie

- [La valse des espèces](#), juillet 2000. Dossier [Pour la Science](#), hors série.
- *Évolution de la biosphère et événements géologiques*. Lethiers, F., Gordon and Breach Science Publishers, 1998. ISBN-13: 978-9056991241.
- La météorite, les dinosaures et le plancton, [La Recherche](#), n°293, déc. 1996.
- La limite Crétacé-Paléocène : phénomènes biologiques, événements géologiques d'après les sites de la côte Basque. Lacazedieu, A., Peybernès, B. et Seyve C. [CRDP d'Aquitaine](#) [BU 551.78 (447.95) LIM], juin 1996.
- *La vie en catastrophes*, V. Courtillot, 278 pages, Fayard, 1995. ISBN-13: 978-2213595115