

Les crises biologiques et extinctions de masse

Laurent DUBOIS

Introduction

Les phases d'extinctions et celles de renouvellement des faunes et des flores au cours des temps géologiques ont été suggérées à partir du XVIII^{ème} siècle par deux grands noms du domaine : Georges-Louis Leclerc de Buffon (1707-1788) et Georges Cuvier (1769-1832). Cuvier défendait la théorie du catastrophisme, tandis que d'autres, comme Lyell étaient uniformitariste, c'est-à-dire qu'ils pensaient que les choses se faisaient lentement, sans à-coups. Par la suite, ces notions sont un peu tombées en désuétude, mais furent relancées ensuite. En effet, les phases d'extinctions et crises biologiques par catastrophismes furent utilisées par Newell par exemple, au début des années soixante (1963), mais c'est surtout grâce aux travaux d'Alvarez qui travailla sur la limite Crétacé-Tertiaire au début des années 1980 et qui élaborera la théorie de l'impact météoritique. Ces travaux ont relancé de manière importante les recherches sur les extinctions biologiques.

I) Qu'est ce qu'une extinction ?

1) Définition

Une extinction de masse, une crise majeure ou une crise biologique, définit logiquement la disparition d'une espèce ou d'un groupe. Cette disparition est considérée comme étant "une augmentation d'extinction" (Sepkoski) et doit répondre à plusieurs critères : il faut toucher un grand nombre de taxon, sur une vaste surface géographique et sur une période qui apparaît comme instantanée. Ces critères sont sujets à discussions (cf. II, Les problèmes de définitions). Il existe 5 grandes crises biologiques (c'est ce terme qui semble être le plus juste), elles sont aussi connues sous le nom de 'big five' (fig. 1) : limite Ordovicien-Silurien, Frasnien-Famennien (fin Dévonien), Permien-Trias, Trias-Jurassique, et la plus connue du grand public, la limite Crétacé-Tertiaire (K-T) (cf. Echelle chronostratigraphique).

Remarque : nous pouvons remarquer que ces crises correspondent souvent avec la fin des systèmes ou des ères. Cette coïncidence n'est pas le fruit du hasard, mais le fait que les biostratographes se basent sur les fossiles pour déterminer les limites entre les unités chronostratigraphiques.

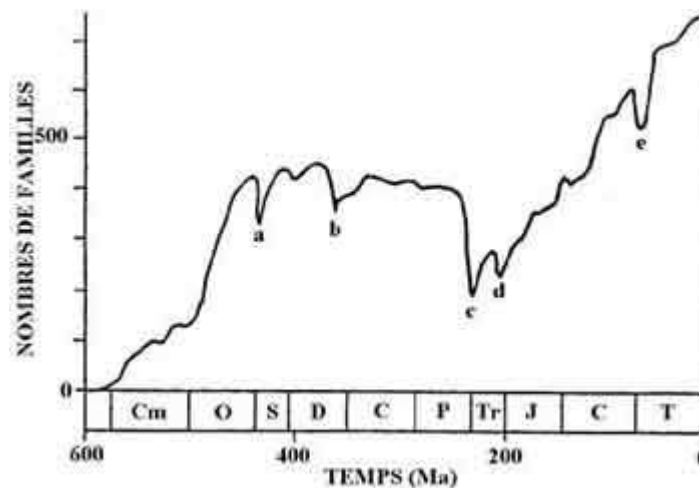


Fig.1 : représentation de la biodiversité des familles marines au cours des temps géologiques

Bien entendu, les 5 grandes crises biologiques ne sont pas les seules. Il existe un grand nombre de crise qui n'affectent que certains organismes, ou certaines régions du globe. C'est notamment le cas de la crise qui touche les Trilobites pendant le Cambrien qui fait diminuer leur biodiversité sans l'extinction totale, celle Brachiopodes à l'Ordovicien supérieur ou celle des Ammonites à la base du Crétacé supérieur.

2) Caractérisation

Une crise biologique peut être subdivisée en trois phases distinctes (fig. 2) :

- la période d'extinction en elle-même qui correspond à une accélération de la disparition des espèces, donc de la biodiversité.
- la période de survie, correspondant au minimum de la biodiversité.
- la période de reconquête qui correspond à la radiation adaptative, donc l'augmentation de la biodiversité. Il s'agit d'une réadaptation aux niches écologiques laissées vides.

L'enregistrement de ces trois phases dans les données géologiques n'est pas obligatoire. En effet, il se peut que la

série soit incomplète, car faussée par une lacune sédimentaire ou érodée lors d'une régression.

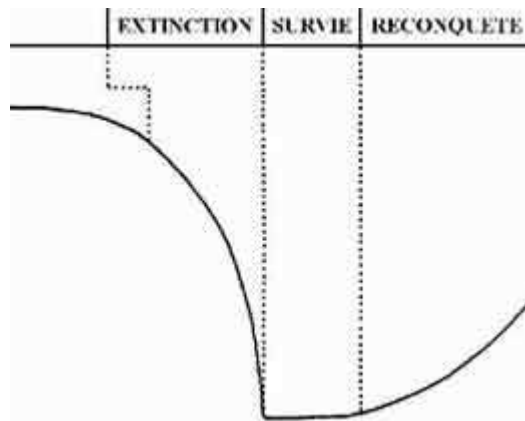


Fig. 2 : variation de la biodiversité lors d'une crise biologique

Cette succession s'explique par la capacité des organismes à être pré-adaptés aux variations des conditions du milieu. Il en ressort une caractérisation des organismes en parallèle des trois phases définies (fig. 3) :

- taxon d'extinction : ces taxons ne vont pas survivre car non-adaptés.

Remarque importante : un organisme ne décide pas d'évoluer, c'est le résultat de mutations génétiques ou d'une sélection naturelle qui les favorise (par exemple, des changements environnementaux). L'exemple le plus connu est celui des girafes : si nous avons une espèce de girafe à longs cous et une autre à petits cous, placés dans un milieu en pleine sécheresse qui décime les arbres de petites tailles, les girafes à petits cous ne vont plus pouvoir se nourrir et disparaîtront petit à petit laissant la place au développement des girafes à long cous.

- taxon holdover : il s'agit d'organismes eurytypiques, c'est-à-dire qui s'adaptent à de faibles variations écologiques. Lorsque la variation est trop forte, ils disparaîtront également.

- taxon progenitor : ces taxons sont pré-adaptés, ils possèdent des caractères prédestinés à la survie. Par exemple, pendant la crise Crétacé-Tertiaire, seuls les petits vertébrés (- de 10 kilos) ont survécus. Cet embranchement sera à l'origine de la radiation, c'est-à-dire l'apparition de nombreuses espèces liées aux niches écologiques libres.

- taxon disaster : ces organismes sont des " opportunistes ". Ils se développent au milieu de l'extinction lorsque le stress écologique est au maximum, puis ils disparaissent quand réapparaît la concurrence.

- survivors : ce sont des survivants pré-adaptés qui participeront à la radiation biologique.

- taxon Lazare : ces organismes semblent s'éteindre mais en fait, il s'agit d'une migration, ou le taxon est préservé dans un bassin, puis ils réapparaissent.

- taxon Elvis : ces taxons portent ce nom car il existe un grand nombre d'imitateurs d'Elvis. Il s'agit donc de taxons qui se ressemblent morphologiquement.

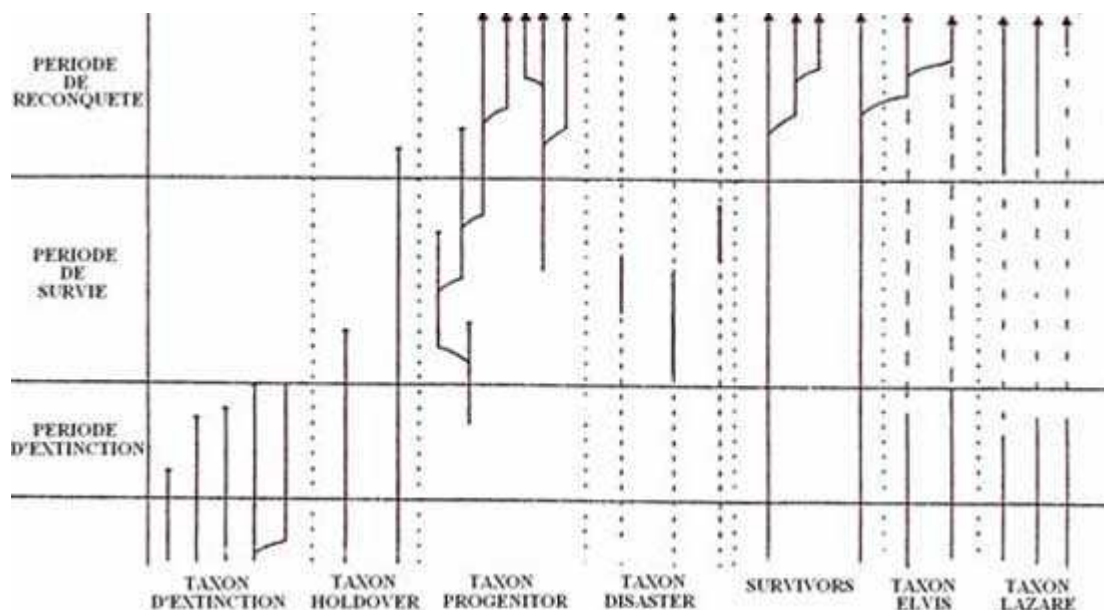


Fig. 3 : caractérisation des réponses des taxons selon les phases de la crise biologique

Les extinctions ne touchent pas tous les organismes de la même manière. Par exemple, les taxons représentés sur une large surface géographique possèdent souvent une durée de vie plus importante. La taille des organismes joue également un rôle : les espèces de grandes dimensions corporelles ont des fréquences d'extinction plus importantes. Il

en est de même pour le milieu de vie. En effet, de manière générale, les espèces tropicales sont plus fragiles, et les espèces terrestres sont plus touchées que celles des environnements marins.

3) Quantification

Pour pouvoir estimer la quantification des extinctions, il faut dans un premier temps tenir compte du fait qu'il existe un taux d'extinction moyenne. Donc, comme le définissait Sepkoski : " une extinction c'est une augmentation des extinctions ", c'est un dire un taux plus élevé que la moyenne. Un taux d'extinction se définit par rapport à une durée de temps, c'est pourquoi il faut subdiviser les couches stratigraphiques le plus finement possible pour déterminer la quantité de famille disparues par étage.

II) Les problèmes de définitions

Les contraintes dans la définitions des extinctions sont nombreuses :

- les enregistrements paléontologiques sont loin d'être complets. On parle souvent de la paléontologie comme étant un 'puzzle incomplet'. C'est pourquoi les valeurs des pertes lors des extinctions ne sont pas toujours représentatifs et varient souvent les différents auteurs.
- la difficulté dans l'estimation de la durée de l'extinction en fonction de la résolution temporelle. Par exemple, la crise Crétacé-Tertiaire est daté à 65 millions d'années avec plus ou moins 1 million d'année de marge d'erreur liée aux problèmes de datation. De ce fait, cette crise peut-elle être considérée comme échelonnée ou brusque ? Cette question pose d'autant plus problème s'il s'agit de terrains très anciens.
- il existe également un problème dans l'échantillonnage. En effet, il est plus simple d'étudier une extinction chez des microfossiles que chez les dinosaures, car ils sont plus petits et plus nombreux. Lorsque l'on échantillonne tout les 10 mètres, la crise peut paraître massive alors que si l'on regarde tout les centimètres on peut observer une extinction échelonnée (fig. 4).

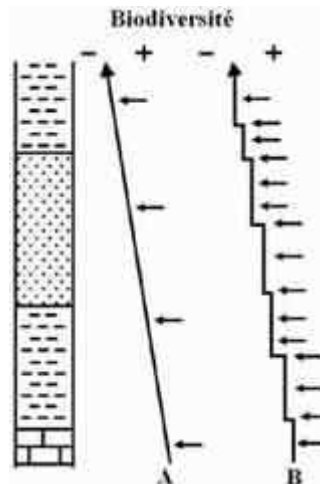


Fig. 4 : illustration des problèmes d'échantillonnages. A) échantillonnage espacé exprimant une extinction brusque. B) échantillonnage plus précis exprimant une extinction échelonnée.

- les pièges : comme vu dans le chapitre précédent, des pièges existent, notamment ceux des taxons Lazare et taxons Elvis.

III) Les causes

Les causes de ces extinctions massives peuvent avoir trois origines : terrestre, extraterrestre ou biologique.

1) Les causes biologiques

Un groupe peut disparaître par le développement d'un groupe prédateur (cf. III B du chapitre 'explosion cambrienne'). Un des exemple le plus connu concerne est le recul des Trilobite face au développement des Nautiloïdes et ensuite des Malacostracés. Cette cause ne permet pas d'expliquer les crises biologiques impliquant la disparition de plusieurs groupes. Dans ce cas de figure, il s'agit surtout de causes terrestres ou extraterrestres affectant les conditions environnementales.

2) Les causes extraterrestres

Comme dit dans l'introduction, les recherches ont surtout explosées grâce aux travaux d'Alvarez dans les années 1980, sur la concentration en Iridium à la limite Crétacé-Tertiaire. A Gabbio, il a découvert une concentration très élevée de ce métal lourd et extrêmement rare sur Terre. C'est à la suite de ces observations qu'il émis l'hypothèse de la collision entre notre planète et une météorite, l'Iridium étant courant dans ces dernières. Une telle rencontre aurait provoqué la mise dans l'atmosphère d'un nuage de poussières qui obscurcirait la planète. Ce phénomène interviendrait directement à la base de la chaîne alimentaire, en altérant la photosynthèse. Cet impact aurait aussi provoqué des Tsunamis, un échauffement de

l'atmosphère causant des pluies acides également dangereuses pour la végétation, des rejets toxiques de métaux lourds dans les eaux et des feux de forêts gigantesques. Cette théorie est souvent acceptée car les preuves sont nombreuses : l'Iridium présent en de nombreux endroits du globe, la présence d'un astéroïde à Chixulub à l'Est de l'Amérique centrale, la présence de quartz choqués, de microsphérules de feldspaths potassiques, des traces de Tsunamis. Si l'impact d'un astéroïde est un scénario très connu, il existe d'autres causes extraterrestres. Par exemple, une augmentation des radiations cosmiques affectant la couche d'ozone. Il existe également une hypothèse intéressante, bien que discutable, selon laquelle les extinctions des 250 derniers millions d'années seraient soumises à une certaine cyclicité. Avec une période de 26 à 32 millions d'années, cette théorie appelée Civa (déesse hindou), serait la cause de phénomènes astronomiques cycliques : Nemesis (mouvement périodique du système solaire), ou le nuage de Oort envoyant des météorites.

3) Les causes terrestres

Il existent trois causes principales : le volcanisme, les variations eustatiques et les variations climatiques. Le volcanisme a quelques conséquences identiques à celles d'un impact, il est d'ailleurs aussi au rang des hypothèses dans l'explication de la crise biologique à la limite Crétacé-Tertiaire. Des témoins de grandes phases d'activités volcaniques sont connues, notamment celle des trapps de Deccan et celles de Sibérie. Ces fortes activités auraient également causé la projection de poussière causant une baisse de luminosité et donc de la photosynthèse, de la température et une augmentation de gaz à effets de serre tel que le CO₂, et de pluies acides. Les variations du niveau marin jouent un rôle très important dans les extinctions, car elles influencent le nombre de niches écologiques sur les plateformes continentales, lieu abritant une grande partie de la vie océanique (cf. chapitre III A 1 du chapitre 'explosion cambrienne'). Mais une question se pose : doit-on considérer les variations eustatiques comme étant la cause de l'extinction, ou alors accuser le refroidissement du climat ? En effet les principales baisses du niveau marin sont liées à une baisse des températures et à la formation de glace. Les variations du climat peuvent être la cause d'extinction, notamment lorsqu'il s'agit de faunes tropicales marines qui nécessitent des environnements stables, qu'il s'agisse de la température, de la salinité ou turbidité des eaux.

IV) Le big five

L'échelle des temps géologique est subdivisée en trois grandes phases pour caractériser la biodiversité (fig. 5) : la radiation Cambrio-Ordovicienne (cf. chapitre l'explosion cambrienne) avec l'apparition de quasiment tous les phylums, le plateau paléozoïque qui présente une certaine stabilité, puis la radiation Mésozoïque-Cénozoïque avec une augmentation du nombre d'espèces et de genres hyperspécialisés. Ces trois phases définissent un aspect général du développement biologique, mais il existe des crises intervenant dans ce développement. Il en existe 5 majeures : à la limite Ordovicien-Silurien, Frasnien-Famennien (fin Dévonien), Permien-Trias, Trias-Jurassique, et la limite Crétacé-Tertiaire (K-T). Certaines de ces crises sont sujettes à discussions, non pas sur leur existence mais sur leur aspect 'instantané'.

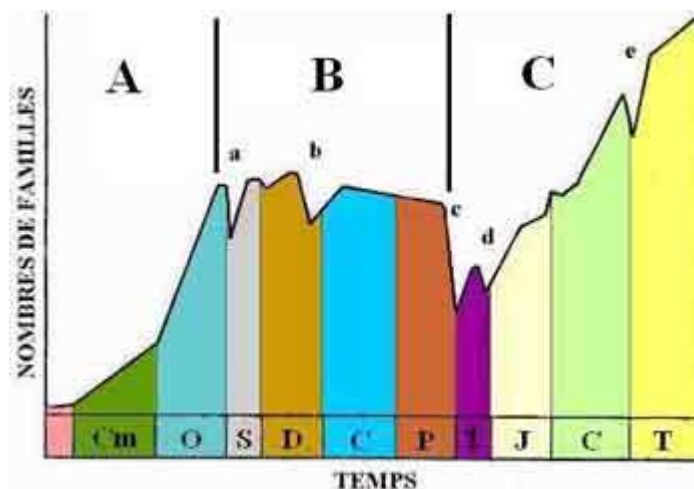


Fig. 5 : évolution de la biodiversité au cours des temps géologiques. A) radiation cambro-ordovicienne, B) plateau paléozoïque, C) radiation Mésozoïque-Cénozoïque.

a) Ordovicien Silurien

Selon les estimations, une centaine de familles ont disparues pendant cette crise. Les groupes les plus atteints sont les Bryozoaires, Brachiopodes, Coraux solitaires, les Trilobites qui sont particulièrement touchés (figure 6), Graptolites, Echinoïdes, Crinoïdes. En tout, les chercheurs estiment qu'un tiers de faune marine à disparue.

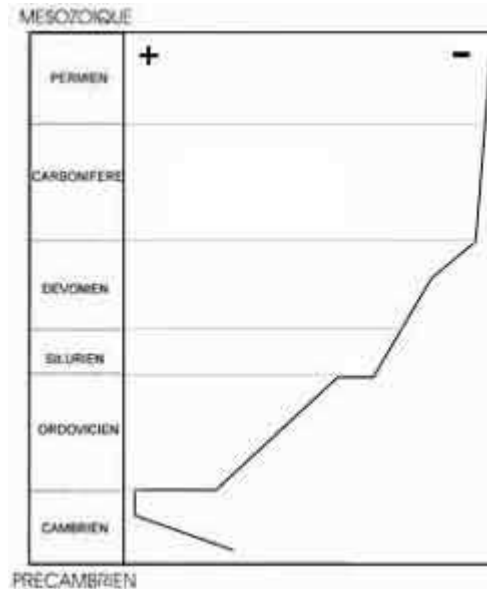


Fig. 6 : évolution de la biodiversité des Trilobites

Les causes prennent en compte une grande glaciation avec la présence d'une calotte au pôle Sud (cf. paléoclimatologie), et la taille des plateaux continentaux. Le refroidissement qui cause la présence d'une calotte de glace au pôle Sud entraîne également une baisse du niveau marin d'une centaine de mètres. Les plateaux continentaux sont à cette époque, immenses et forment des grandes mers épicontinentales qui abritent 90% des espèces marines. De ce fait, la baisse du niveau marin a provoqué la destruction de ces niches écologiques et notamment une extinction massive des organismes récifaux. A noter que certains chercheurs émettent l'hypothèse d'un impact météoritique.

b) Frasnien-Famennien

Les taxons les plus affectés sont ceux des eaux chaudes et tropicales, notamment les écosystèmes récifaux, qui sont encore fortement touchés (Stromatoporidés, Rugueux et coraux Tabulés), ainsi que les poissons primitifs marins nettement plus touchés que les poissons d'eaux douces. Les groupes les plus atteints sont les algues flottantes, les Trilobites (une seule famille survit, figure 6), les Brachiopodes, les Conodontes, les Acritarches et les Ammonoïdes. En tout, environ 70% des taxons invertébrés marins sont morts. Les causes avancées sont multiples : un milieu marin anoxique (encore mal connu), une glaciation ou refroidissement suggérés par la mort des espèces d'eaux chaudes et une baisse du niveau marin, ou un impact météoritique (hypothèse).

c) Permien-Trias

Il s'agit de la plus grande crise jamais connue :

- plus de la moitié des familles d'organismes marins (57%) présentes au Permien ne se retrouvent plus au Trias.
- les vertébrés terrestres sont touchés : 70 à 77% des familles disparaissent, dont 78% des reptiles et 67% des amphibiens.
- les insectes qui connaissent un pic de diversité au Permien supérieur voient le nombre de famille chuter de 63% au Trias inférieur (ceci est encore très discuté).
- 91% des espèces d'invertébrés marins disparaissent : 98% des Ammonoïdes (extinction des Goniatites), 93% des Ostracodes, 85% d'espèces de bivalves, 98% des Echinodermes (Crinoïdes, Cystoïde, Blastoïde), ainsi que les Trilobites, Brachiopodes (mort de 50 familles, soit 90% des genres), Bryozoaires, Coraux tabulés et rugueux, Foraminifères fusulinidés.

La principale cause évoquée est celle du volcanisme. Une forte activité volcanique est enregistrée à ce moment là, elle dépose une épaisseur de 3700 mètres et 350000 km² de lave en moins d'un million d'années. Ces coulées sont nommées : les trapps de Sibérie. Bien entendu, ce volcanisme a libéré de grande quantité de gaz carbonique qui ont du augmenter l'effet de serre. Rien ne prouve qu'il est à l'origine de la crise biologique, mais les effets précédemment cités et le SO₂ et aérosols émis (certainement retombés sous formes de pluies acides, dévastant une partie de la végétation) ont du jouer un rôle important. D'autres causes sont avancées. Notamment la présence du super continent appelé 'Pangée' qui a pu conduire à une mauvaise circulation, et donc une détérioration du climat, une anoxie du milieu, ainsi qu'une baisse de la superficie pour les organismes benthiques. Une variation de la salinité est également envisagée, ce qui aurait été fatale aux organismes sténohalins qui ne tolèrent qu'une faible variation de la salinité, dont les fusulinidés, trilobites, coraux, brachiopodes articulés, ammonoïdes et crinoïdes font partis.

d) Trias-Jurassique

Les principaux groupes touchés sont les Ammonoïdes, Nautiloïdes, Brachiopodes, Mollusque bivalves (taxodontes), Gastéropodes et Conodontes. Les Amphibiens et Reptiles sont également décimés. C'est la crise la moins connue. Pour l'expliquer, les arguments et hypothèses avancés sont surtout un refroidissement global, un impact, le volcanisme ou un changement de la salinité (hypersalinité).

e) Crétacé-Tertiaire

Il s'agit de la crise biologique la plus connue du grand public car elle met fin au règne des dinosaures. Avec eux ont disparu une grande partie du plancton marin, les ammonites et presque tous les habitants des fonds marins incluant les rudistes et les mollusques bivalves. Étonnamment, la plupart des mammifères, des oiseaux, des tortues, des crocodiles, des lézards, des serpents, des poissons, certains coraux et des amphibiens ne furent que peu affectés.

Il existe différentes causes :

- l'hypothèse de l'astéroïde : elle aurait projeté des tonnes de matériaux dans l'atmosphère qui se seraient rapidement dispersés tout autour de la planète, voilant le soleil et créant une sorte d'hiver nucléaire. Ceci aurait eut pour conséquence un profond bouleversement des conditions de vie à la surface de la planète et des chaînes alimentaires. Ceci expliquerait la disparition rapide des gros organismes comme les dinosaures qui dépendent d'une nourriture abondante, de même que celle du plancton (élément important de la chaîne alimentaire) qui dépend de la photosynthèse. Les arguments en faveur de l'impact sont nombreux : la concentration anormalement élevée en iridium (voir causes extraterrestres), présence de quartz choqués, de sphérolites dans les feldspaths, de magnétites nickélicifères qui se forment lorsqu'une météorite riche en nickel entre en contact avec l'atmosphère oxygénée de la terre, et surtout la présence d'un astéroïde de Chixulub. Cet astéroïde de 260 km de diamètre suggère une dimension de la météorite évaluée à 10 km et à une énergie cinétique dégagée de 100 millions de mégatonnes.

- le volcanisme : comme pour la crise Permien-Trias, il existe la présence de trapps sur le continent indien nommées 'trapps de Deccan'. Celles-ci sont beaucoup plus importantes que celles de Sibérie. Les trapps de Deccan devaient avoir un volume initial de 3 000 000 de km³. Un tel volcanisme a pu avoir un impact non négligeable sur l'atmosphère par des émissions importantes de CO₂ et/ou de SO₄, causant une intensification de l'effet de serre.

Conclusions

Les crises biologiques sont généralement admises par tous les scientifiques, mais de nombreuses questions restent posées.

En effet il est difficile de savoir si une crise est instantanée ou échelonnée, et ce à cause des moyens techniques. Il est également difficile de connaître la cause exacte d'une extinction car de nombreux facteurs sont à prendre en compte et interagissent entre eux : c'est notamment le cas d'une régression marine liée à un refroidissement, et est ce le volcanisme ou l'impact d'un astéroïde qui est à l'origine de la crise KT, les deux, ou l'impact qui a causé le volcanisme ? Tant de questions qui ne trouveront peut être jamais de réponses...

L'auteur se présente :

La paléontologie est une discipline intrigante qui a réussi à capter mon attention depuis de nombreuses années. Comment ne pas être émerveillé devant le squelette d'un Tyrannosaure ou d'un Brontosaurus lorsque vous avez une petite dizaine d'années ? Étrangement, et malgré l'engouement du 7ème art pour faire revivre les dinosaures (de bien belle manière je dois l'admettre), ce ne sont pas ces gigantesques carcasses aux griffes et dents acérées qui m'ont attiré dans ce domaine. Au contraire, lors de visites scolaires dans des musées d'histoires naturelles, j'étais le seul élève à m'intéresser aux ammonites, trilobites et autres organismes nettement moins impressionnant qu'un T-rex.

Mais comment ne pas s'extasier devant un trilobite conservé dans les moindres détails daté de -470 millions d'années ? Toutes les questions que je me posais à l'époque m'ont poussé à continuer mes études après le BAC. Pendant cinq ans j'ai enchaîné un DEUG des Sciences de la Terre et de l'Univers (STU), une Licence STU, une Maîtrise STU et pour finir un DEA Biodiversité des Ecosystèmes Fossiles et Actuels (BEFA). Au cours de ces années j'ai eut l'opportunité de traiter plusieurs sujets géologiques (sismologie, tectonique, vulcanologiques...) et surtout, paléontologique (études de microfossiles de la Montagne Noire, de Trilobites juvéniles du Cotentin...).

Aujourd'hui, j'ai terminé mes études, mais tous les fans de paléontologie le savent : la paléontologie est une drogue, impossible de s'arrêter...

Dubois Laurent

D'autres articles sur <http://www.geopolis-fr.com/>