

L'EXTINCTION DES DINOSAURES - Naissance d'un mythe -

Dominique VAN ESPEN

I. INTRODUCTION : Le règne des Dinosaurés

Etymologiquement, le terme de "Dinosauré" provient du grec *deinos*, terrible, et *saura*, ce qui signifie lézard.

Il fut inventé au milieu du XIX^{ème} siècle par le plus illustre des pionniers britanniques de la paléontologie, sir Richard OWEN, qui consacra ses recherches aux différentes espèces de Reptiles terrestres de l'ère Secondaire, dont il souligna les traits communs. C'était révolutionnaire pour l'époque si l'on considère que leur existence était quasiment inconnue du monde scientifique.

Aux découvertes faites initialement en France et en Grande-Bretagne succéda une véritable "chasse aux dinosaurés" dans les vastes territoires de l'Ouest des Etats-Unis. Les campagnes de prospection géologique entreprises par des pionniers comme Edward COPE et Othniel MARSH permirent la découverte d'une multitude de gisements fossilifères et la constitution de collections muséologiques d'une richesse exceptionnelle. Quoique moins spectaculaires, si l'on excepte - chauvinisme oblige - celui des célèbres *Iguanodons* de Bernissart, les gisements d'Europe sont eux-mêmes loin d'être négligeables, cependant que des découvertes très prometteuses ont récemment été faites en Afrique, en Asie et en Australie. A cet égard, la paléontologie ressemble, comme le souligne John OSTROM, à un gigantesque puzzle auquel chaque nouveau fossile apporte quelques modestes pièces...

Contrairement à l'idée largement répandue de monstres maladroits trop encombrants pour faire face à leur environnement, les Dinosaurés forment un groupe extrêmement diversifié et aux adaptations remarquables, qui domina notre planète pendant 135 millions d'années. Cette extraordinaire longévité à l'échelle géologique prouve leur indéniable succès biologique et contraste avec celle de l'espèce humaine qui fait quelque peu figure de balbutiements. Le groupe des Dinosaurés comprend en effet un ensemble de formes très variées, tant dans leurs dimensions que par leur structure. Répandus sur la totalité de la surface terrestre, ils s'étagaient du modeste *Compsognathus*, de la taille d'un poulet, au gigantesque représentant du genre *Brachiosaurus*, qui pesait une centaine de tonnes et qui fut probablement la plus grande créature terrestre à jamais ébranler le sol sur son passage. Certains étaient quadrupèdes, d'autres chassaient allègrement leurs proies sur leurs membres arrières. Si les uns étaient l'archétype du paisible végétarien, tels les *Brontosaurus*, d'autres étaient de redoutables carnivores, comme le féroce *Tyrannosaure*, qui fut le plus grand carnassier terrestre de tous les temps. Enfin, quoique certains étaient grêles et élancés,

d'autres développèrent une épaisse cuirasse protectrice.

Nonobstant de telles différences, les **Dinosaures** fondaient leur unité sur le fait d'être des Reptiles terrestres ayant une origine commune, le groupe des **Thécodontes**, qui apparut à l'aube de l'ère **Secondaire**. Au **Trias**, ce groupe servit en effet de souche aux ordres, non seulement des **Dinosauriens** eux-mêmes, mais également des **Ptérosauriens** et des **Crocodyliens**, ces derniers étant les seuls à subsister à l'heure actuelle. Dès le début de leur histoire, les **Dinosaures** se scindèrent toutefois en **deux lignées principales**, caractérisées par la disposition particulière des os de leur bassin : tandis que les **Saurischiens** conservaient le bassin typique des **Reptiles**, les **Ornithischiens** acquirent un du type de celui des **Oiseaux**. Ces deux lignées proliférèrent pendant tout le **Mésozoïque**, tant en nombre qu'en diversité, et conquièrent tous les milieux terrestres, faisant preuve de facultés d'adaptation peu compatibles avec l'idée d'un échec biologique.

Une controverse récente soulève le point de savoir dans quelle mesure les **Dinosaures** auraient pu être des **endothermes**, se différenciant ainsi des **Reptiles** actuels. Ceux-ci, tels les lézards, serpents et crocodiles, sont en effet des **ectothermes**, des "animaux à sang froid" qui ne produisent pas une quantité d'énergie suffisante à un métabolisme complémentaire qui leur est nécessaire. L'idée de "**Dinosaures à sang chaud**", semblables aux **Oiseaux** et aux **Mammifères** car capables de maintenir une température constante en dépit des fluctuations thermiques du milieu, fut défendue par divers paléontologues, dont les américains **BAKKER** et **OSTROM**. La principale argumentation en sa faveur repose sur l'anatomie et l'histologie osseuse, l'examen du tissu des os de certains **Sauropodes** semblant indiquer une croissance régulière et rapide telle que chez les gros **Mammifères**, ce qui attesterait dès lors d'une physiologie similaire. Cette conclusion est toutefois contestée par d'autres chercheurs comme **REID** et de **RICQLES**, qui interprètent la découverte d'anneaux de croissance comme la preuve que celle-ci était cyclique, alternant des périodes de rapidité avec des périodes de ralentissement. La question n'est pas définitivement tranchée mais il faut remarquer que la plus grande partie du **Mésozoïque** fut caractérisée par un climat chaud et stable et qu'il n'est pas nécessaire d'envisager une physiologie de type endotherme pour expliquer le mode de croissance des **Sauropodes**. La masse considérable de leur corps devait vraisemblablement leur permettre de conserver leur énergie face à des variations de température de courte durée, entre le jour et la nuit notamment.

Aussi hypothétique est le comportement social des **Dinosaures**. Les récentes découvertes, dans des sites du Montana aux Etats-Unis et de l'Alberta au Canada, de centaines d'œufs contenant des fœtus fossilisés, des restes de jeunes **Dinosaures**, ainsi que des squelettes proches d'adultes appartenant à la même espèce, ont suggéré que le comportement de ces animaux pouvait se différencier fortement de celui des **Reptiles** actuels. Il ne semble en effet pas du tout exclu que, ainsi que l'a souligné **John HORNER**, les parents - ou au moins l'un d'entre eux - aient eu à l'égard de leur progéniture le souci de prodiguer tant la protection rendue indispensable par leur vulnérabilité que la nourriture nécessaire à leur croissance et à l'accession au stade adulte. La surveillance des œufs, la communication vocale et le partage de la nourriture auraient dès lors été un comportement plus complexe que celui auquel les aurait limités leur nature présumée.

II. LES CONJECTURES

Plus encore que leur mode de vie, l'**extinction** des **Dinosaures** a fait couler beaucoup d'encre.

Quoique leur disparition, dans la plupart des régions du monde, ne puisse être datée avec la précision nécessaire à la vérification de certaines théories, elle coïncide globalement avec la **fin du Crétacé** - il y a quelque **63 millions d'années** - et apparaît comme survenue d'une manière relativement soudaine, du moins à l'échelle géologique.

C'est parce qu'il est malaisé de trouver une cause qui puisse justifier biologiquement l'extinction des "*Terribles Lézards*" que de nombreuses hypothèses ont été avancées, au fil des années. Il n'est évidemment pas exclu que certaines disparitions aient une explication ponctuelle satisfaisante : ainsi le paléontologue **WILD** attribue-t-il celle du ***Tanystropheus***, petit dinosaure vivant en milieu côtier à la fin de la période triasique, à son excentricité anatomique. Il avait en effet la singularité d'un cou démesuré, charpenté de douze vertèbres, qui pouvait dépasser la moitié de sa longueur totale, queue comprise. Cette particularité devait vraisemblablement l'obliger à vivre dans l'eau et lui imposer des problèmes de digestion et d'irrigation du cerveau, créant la nécessité d'une forte pression sanguine, comme pour les girafes actuelles. La régression du niveau de la mer et le changement de son environnement, auquel il était trop adapté, auraient donc condamné ce reptile, plus que les prédateurs ou les problèmes de reproduction.

Parmi la multitude d'hypothèses envisagées par les chercheurs, certaines n'ont que le tort de ne pas avoir été vérifiées, d'autres sont passablement farfelues. L'**extinction** des **Dinosaures** a été attribuée tour à tour à des perturbations de la chaîne alimentaire, tant marine que terrestre, à une altération générale de l'environnement par l'abaissement du niveau de la mer, à l'élévation ou la chute brutale de la température, à la salinité excessive ou insuffisante des océans, à l'inversion du champ magnétique terrestre, à l'activité tellurique ou aux éruptions volcaniques, à la variation de concentration de l'oxygène atmosphérique, à des épidémies ou à la destruction des œufs par de petits mammifères, ainsi que, *last but not least*, aux radiations nocives provenant d'une explosion stellaire... Citons également, mais vraiment pour mémoire, les opinions suivant lesquelles les **Dinosaures** auraient disparu en raison de leur trop grande lourdeur et inefficacité, qui les auraient empêché de s'accoupler, suite à leur empoisonnement par une nouvelle génération de plantes, au fonctionnement exagéré de leur hypophyse qui aurait entraîné leur stérilité, à la disparition de leur nourriture détruite par une invasion de chenilles géantes ou à la cataracte qui les aurait rendus aveugles...

La plupart des théories envisagées ne résistent pas à leur examen approfondi car elles ne rendent pas compte de la réelle nature des bouleversements survenus au terme de l'ère **Secondaire**.

III. LES EXTINCTIONS MASSIVES DE LA FIN DU CRETACE

L'**extinction massive** survenue à la **limite du Crétacé et du Tertiaire** est la plus connue de celles qui se produisirent au cours du **Phanérozoïque** (subdivision chronostratigraphique regroupant les trois ères postérieures au **Précambrien**) car les **Dinosaures** en furent les célèbres victimes. Aucun squelette n'a en effet été trouvé dans les

couches rocheuses formées immédiatement après le **Crétacé**. Ils n'en furent cependant pas les seules, loin s'en faut.

Tous les organismes marins et terrestres furent plus ou moins affectés et **75 pour 100** des espèces existantes furent totalement anéanties. A cette époque disparurent la plupart des **Reptiles** - *Mosasauriens*, *Ichtyosaurien* et *Plésiosauriens* dans les mers, *Dinosauriens* sur les terres, *Ptérosauriens* dans les airs - ainsi que nombre de végétaux et, dans le domaine marin, une myriade de micro-organismes, dont de nombreux types de *Foraminifères*. Il en fut de même pour une multitude d'Invertébrés: des familles entières de *Gastéropodes*, l'ensemble des *Rudistes*, des *Ammonites* et des *Bélemnites*, ainsi que de nombreux types de *Crinoïdes*, d'*Echinoïdes* et de *Crustacés*... organismes tous encore florissants jusqu'alors.

Si besoin est, cette évocation non exhaustive rend compte de la grande complexité du phénomène survenu à la **fin du Mésozoïque** et infirme plusieurs hypothèses limitant la disparition des **Dinosaures** à des causes qui leur auraient été spécifiques. Au demeurant, l'énigme ne porte pas tant sur le caractère soudain du phénomène des disparitions que sur son anormale ampleur. Ces **extinctions massives** ont, au contraire, semblé pour beaucoup de chercheurs accréditer des théories "catastrophistes" faisant intervenir un événement soudain tel qu'épidémique, atmosphérique ou cosmique.

IV. ELABORATION D'UNE THEORIE

A. Historique

A la **fin des années 70**, des chercheurs de l'Université de Californie à Berkeley - le géologue **Walter ALVAREZ** accompagné de son père, le physicien **Luis ALVAREZ** et de deux physico-chimistes, **Frank ASARO** et **Helen MICHEL** - entreprirent d'étudier les sédiments d'origine marine de la région de Gubbio, dans la chaîne des Apennins (Italie).

Ils s'attardèrent sur une couche d'argile comprise entre deux couches de calcaire marin, dans l'intention d'en mesurer la **teneur en iridium**, un élément qui ne se trouve qu'en faibles quantités dans la croûte terrestre mais qui est comparativement plus abondant dans les météorites. La surface de la Terre, et des océans pour **plus de 70 pour 100**, est en effet frappée d'une pluie continue de micrométéorites, ce phénomène connu provoquant la **concentration d'iridium** et d'autres éléments dits sidérophiles, c'est-à-dire qui "affectionnent le fer", dans les sédiments accumulés dans les bassins océaniques.

Les chutes de micrométéorites étant relativement constantes dans le temps, déterminer la **quantité d'iridium** contenue dans une couche de sédiments devait leur permettre d'en évaluer la durée de formation. Ils constatèrent, non sans surprise, que cet élément était environ **30 fois plus abondant** que dans les couches d'argile voisines. En l'absence d'un enrichissement comparable en d'autres éléments qui sont généralement associés aux minéraux constituant l'argile, ils exclurent une origine terrestre, de même que les taux normaux de concentration en **éléments sidérophiles** leur firent rejeter l'éventualité d'une soudaine précipitation chimique d'éléments qui auraient été en suspension dans le réservoir océanique. Au demeurant, **Charles ORTH** et les chercheurs du Laboratoire scientifique de Los Alamos découvrirent un **excès**

d'*iridium* semblable dans une formation sédimentaire du **Crétacé**, d'origine continentale cette fois. Des constatations similaires furent faites ultérieurement dans des sédiments marins datant de la même époque géologique, tant au Danemark, en Espagne et en Nouvelle-Zélande que dans certains fonds sous-marins de l'Atlantique et du Pacifique.

La couche d'argile étudiée par **Walter ALVAREZ** et ses collaborateurs constituait la ligne de séparation entre deux couches de calcaire marin, l'une datant de la **fin du Crétacé**, l'autre du **début du Paléocène**. Chacune d'entre elles contenait les fossiles d'organismes marins typiques de son époque respective. Dans leur rapport publié **en 1980**, les chercheurs de Berkeley émirent dès lors l'hypothèse suivant laquelle quelque **500 milliards de tonnes** de matière extraterrestre se seraient brusquement déposées sur la surface de notre planète, à l'époque de l'**extinction massive** de certains organismes marins et terrestres, dont les **Dinosaures**. Encore fallait-il en déterminer l'origine...

B. La thèse de l'impact météorique

Environ **63 millions d'années avant notre ère**, un **astéroïde** de **dix kilomètres de diamètre**, pesant **mille milliards de tonnes**, pénétra l'atmosphère à la vitesse de **plusieurs dizaines de kilomètres par seconde**. En percutant la croûte terrestre, il libéra une énergie équivalente à **un milliard de mégatonnes**, une mégatonne représentant l'unité d'évaluation d'une arme nucléaire dont la puissance correspond à **un million de tonnes de trinitrotoluène**. A titre de comparaison, la bombe atomique d'Hiroshima avait une puissance de **20 kilotonnes**, soit **20.000 tonnes de T.N.T.**!

Un tel **astéroïde** creusa un cratère de plus de **cinquante kilomètres de diamètre**, projetant dans l'atmosphère les résidus tant de sa propre désintégration que celle du lieu d'impact et créant ainsi un gigantesque nuage de poussière qui bloqua les rayons du soleil et plongea la terre dans une obscurité quasi totale. Outre une importante baisse de la température, la conséquence en fut l'interruption du processus de photosynthèse pendant **plusieurs années**. La mort instantanée du plancton photosynthétique entraîna la disparition de la chaîne alimentaire océanique tandis que la mort des grands végétaux terrestres provoqua celle des **Dinosaures** herbivores et de leurs congénères carnivores auxquels ils servaient de nourriture.

Accueillie avec scepticisme, la **théorie de l'impact météorique** énoncée par **Walter ALVAREZ** et son équipe a depuis lors été confortée par d'autres travaux.

La présence de **taux anormaux d'iridium** dans des lieux et des environnements différents des sites originellement étudiés tend à accréditer l'hypothèse d'un phénomène survenu à l'échelle terrestre. En outre, des découvertes récentes viennent étayer l'origine extraterrestre du bombardement décrit plus haut. Les biochimistes **Maxim ZHAO** et **Jeffrey BADA** ont identifié, au niveau de la couche géologique de transition, **deux acides aminés** - l'acide *aminoisobutyrique* et l'*isovaline* - sous forme racémique, c'est-à-dire dont les molécules sont parfaitement symétriques. Ces acides sont rares, sinon inexistantes sur terre, où les acides organiques sont lévogyres, soit orientés à gauche dans leur configuration spatiale. Dans le même ordre d'idées, les chercheurs **Bruce BOHOR**, **Peter MODRESKI** et **Eugenes FOORD** ont découvert, dans les couches sédimentaires de Nouvelle-Zélande,

d'Europe et du Pacifique qui renferment des **quantités inhabituelles d'iridium**, des **débris de quartz** dont les particularités structurelles n'ont pu résulter selon eux que de **l'impact d'un corps massif**. Une analyse détaillée de ces minéraux leur a révélé des fissures microscopiques dues à une seule pression brutale et non à une série d'éruptions volcaniques ou à d'autres phénomènes.

L'hypothèse de la **chute d'un corps céleste** pose toutefois le problème de la quantité de matière terrestre à avoir été arrachée lors de l'impact et qui devrait être nettement supérieure à celle qui fut trouvée dans la couche d'argile.

Différentes explications ont été avancées. **Richard GRIEVE** considère que

« Iridium ne serait déposé qu'ultérieurement, sous la forme d'une pluie de matériau météorique relativement pur, réinjecté dans la stratosphère par la violence de la collision. L'équipe de Berkeley, rejointe par le géologue Jan SMIT, propose une solution statistiquement plus probable selon laquelle l'astéroïde se serait abattu dans l'océan, seule une petite quantité de la croûte terrestre étant arrachée lors de l'impact. D'autres enfin, comme Frank KYTE et ses collaborateurs Zhiming ZHOU et WASSON, émettent l'hypothèse que le corps céleste ayant heurté la terre aurait pu être une comète. Les comètes étant de faible densité et principalement constituées de glace, celle-ci aurait été de grande taille, pour justifier l'importance des enrichissements sidérophiles trouvés. Elle se serait désagrégée sous l'effet des forces de gravitation en approchant de notre planète, dont la surface n'aurait reçu qu'une pluie de débris qui n'auraient creusé aucun cratère significatif. »

Au-delà de ces divergences, les tenants de la **thèse météorique** s'accordent pour attribuer à un tel événement des répercussions instantanées et catastrophiques sur la biosphère terrestre.

Selon les calculs de **Thomas AHRENS** et **John O'KEEFE** du *California Institute of Technology*, la chute de **l'astéroïde** dans l'océan vaporisa **des milliards de mètres cubes d'eau**, avant d'atteindre le fond principalement constitué de **carbonate de calcium** (CaCO_3). Sous une pression de **quarante à cinquante mille** fois celle de l'atmosphère, cette roche sédimentaire se volatilisa et se transforma en **oxyde de carbone** (CaO) et en **gaz carbonique** (CO_2), la masse libérée de ce dernier représentant plusieurs fois la masse totale comprise à l'heure actuelle dans l'atmosphère terrestre. A l'"**hiver nucléaire**" décrit par **Walter ALVAREZ**, se substitue un "effet de serre" créé par le nuage de vapeur recouvrant toute la planète et dont la condensation ne se fit vraisemblablement qu'en **plusieurs mois sinon plusieurs années**. L'excès de **gaz carbonique** ne fut, quant à lui, résorbé par les océans et les sédiments marins qu'au terme de **plusieurs millénaires**. D'innombrables espèces ne purent dès lors survivre aux perturbations de la biosphère créées tant par le réchauffement de l'atmosphère et la modification du milieu océanique que par la

modification du taux d'oxygène et à la destruction massive de la végétation. Une autre répercussion de cette catastrophe aurait également pu être la formation de "pluies acides", conclusion à laquelle aboutit Douglas MACDOUGALL du *Scripps Institute of Technology*. Il se fonde sur l'étude de la proportion de *strontium-87* qui est contenue dans les coquilles fossilisées de certains organismes marins pour affirmer que certaines roches auraient vu leur érosion accélérée par des pluies acides. C'est la chaleur intense dégagée par l'entrée d'une *météorite* dans l'atmosphère terrestre qui aurait provoqué une réaction chimique au cours de laquelle se seraient formés des *oxydes d'azote* qui, mélangés à de l'eau, se seraient retrouvés dans les précipitations atmosphériques.

Le chimiste Edward ANDERS et ses collègues de l'Université de Chicago suggèrent que les conséquences d'un *impact météorique* pourraient même avoir été plus importantes que ce qui fut envisagé par l'équipe du géologue ALVAREZ. Ils examinèrent la couche d'argile formant la *limite du Crétacé*, à la recherche de gaz rares associés au carbone, comme le *néon* et le *xénon*, qui auraient pu leur permettre d'identifier la nature de l'objet responsable de pareille catastrophe. Les échantillons étudiés se révélèrent contenir des quantités de carbone dix mille fois supérieures à celui rencontré dans les couches immédiatement inférieures et supérieures. Cet élément se présentant sous la forme duveteuse caractéristique de la suie, il s'agissait vraisemblablement des restes de végétation consumée par le feu, ce qui étayait l'hypothèse suivant laquelle la force de l'impact aurait propagé, à la vitesse du son, une immense boule de feu allant allumer des incendies de forêts de l'Amérique du Nord jusqu'en Asie. L'incinération de centaines de millions de tonnes de plantes et d'animaux aurait ajouté ses résidus au nuage de poussière formé initialement et accentué d'autant les effets précédemment décrits. Rares auraient dès lors été les végétaux et animaux à avoir survécu à l'onde de choc, aux incendies, aux émanations de *monoxyde de carbone* ainsi qu'aux changements climatiques qui en auraient résulté.

Autre conséquence non négligeable, la chute d'un *astéroïde* dans l'océan aurait vraisemblablement engendré un gigantesque *raz de marée* constitué de vagues de plusieurs centaines de mètres, sinon plusieurs kilomètres de hauteur. Dans le golfe du Mexique, les paléontologues Joanne BOURGEOIS, Patricia WIBERG et Thor HANSEN ont identifié, à la *limite du Crétacé et du Tertiaire*, une couche de sable contenant des coquillages, des dents de poissons et des débris de bois. Elle avait la caractéristique d'être "*grano-classée*", c'est-à-dire dont les particules étaient réparties en différents niveaux suivant leur densité. Cette strate sablonneuse indiquerait par le grano-classement produit sous l'action d'importantes forces de frottement et par la présence de débris de bois, le reflux d'une énorme vague. Ces chercheurs en ont déduit qu'un *tsunami* s'est formé dans l'océan Atlantique à la suite de l'*impact d'une météorite*. Cette hypothèse est toutefois contestée par d'autres, le paléontologue Bernard BATAILLE soulignant l'exemple japonais de l'origine sismique des raz de marée.

C. Les menaces de l'espace.

Dans la nuit du 23 mars 1989, un *astéroïde* d'une taille estimée à un demi-kilomètre et qui fut nommé 1989FC, en accord avec le système officiel d'appellation de l'Union Astronomique Internationale, frôla notre planète à une distance de quelque

800.000 kilomètres, qui équivaut au double de celle entre la Terre et le Lune.

Quoiqu'elle puisse paraître rassurante, cette distance représente virtuellement - du moins en termes cosmiques - un coup direct. Aucun astéroïde n'avait en effet été signalé aussi près depuis HERMES qui, en 1937, frôla notre astre dans les mêmes conditions. Selon les prévisions des astronomes, 1989FC repassera inévitablement à proximité, le danger étant d'autant plus grand que cet astéroïde tourne sur une orbite quasiment dans le plan de l'écliptique, celui de la Terre autour du Soleil. Quoique minime, la probabilité d'une rencontre malheureuse n'est dès lors pas nulle et n'est qu'une question de statistiques. S'il ne percute jamais notre planète, un autre qui lui est similaire - les astronomes ont regroupé dans une famille appelée Apollo-Amor tous les astéroïdes ayant précisément la particularité de couper l'orbite de la Terre - le fera finalement. Cet événement s'est produit tellement que la surface terrestre serait aussi marquée que celle de la Lune s'il n'y avait l'effet "cosmétique" de l'érosion.

Selon les estimations statistiques, les astéroïdes dont les dimensions sont supérieures au kilomètre seraient de 750 à 1000, la fréquence des collisions atteignant dans cette hypothèse le chiffre de 4 par million d'années. Cette probabilité est évidemment négligeable à l'échelle humaine mais elle prend toute son importance au regard des 4,5 milliards d'années d'existence du système solaire.

D'une manière générale, les spécialistes considèrent très approximativement qu'un corps céleste de l'ordre de 10.000 tonnes ne tombe sur la Terre "que" tous les cent mille ans et qu'un corps de 100.000 à un milliard de tonnes, tous les dix millions d'années. A cet égard, la surface terrestre ne se différencie de celles de la Lune ou de Mars qu'en raison du fait que les traces d'impacts ont été érodées, tant par les mouvements géologiques que par les effets conjugués du vent, de la pluie et des eaux de ruissellement. De fait, le nombre de cratères fossiles découverts est directement proportionnel aux dimensions des météorites et inversement proportionnel à leur âge. S'il ne reste aucune chance de déceler de très vieux petits cratères, ceux qui ont été créés par de grands impacts sont relativement repérables. Ce n'est que très récemment, avec l'observation de la surface terrestre par satellites, qu'une centaine de grands cratères météoritiques ont pu être recensés. Le plus célèbre est certainement le Meteor Crater situé près de Barrington, dans l'Arizona (Etats-Unis), très éloquent parce que resté intact tant par sa relative "jeunesse", estimée à quelque 40.000 ans, que par les conditions désertiques qui l'ont préservé de l'érosion. Le plus gigantesque est celui formé dans le Kazakhstan (Union Soviétique) il y a 400 millions d'années et dont le lac Tenghiz n'est qu'un vestige. De 650 km de diamètre, il équivaut en superficie celle de la France entière ! Près de la Mer de Laptiev, en Sibérie septentrionale, celui de Popigaï a été formé voici 20 millions d'années et mesure 70 km de diamètre. Sur le seul territoire canadien, vingt-trois cratères d'impacts confirmés ont été recensés, dont le Lac Manicouagan (Québec), une formation géologique à laquelle une origine volcanique avait d'abord été attribuée. Enfin, et plus près de nous, un astéroïde s'est écrasé à la fin de l'ère primaire dans la région de Rochechouart, en Haute-Vienne (France), creusant un cratère de 18 km de diamètre.

Reste un autre élément loin d'être négligeable: la différence de superficie entre les océans et les terres émergées. Si l'on ne peut en effet accrédi- ter la thèse de l'astronome soviétique CHKLOVSKI, selon laquelle une deuxième Lune serait tombée

dans le Pacifique, il n'en est pas moins vrai que d'énormes corps célestes sont peut-être - sinon certainement - venus s'abattre dans les océans. Ainsi, le cratère de 45 km de diamètre récemment découvert sur le fond marin au large de la Nouvelle-Ecosse (Canada)...

L'hypothèse d'un impact météorique comme cause, directe ou indirecte, de l'extinction massive des Dinosaures et d'autres organismes à la fin du Crétacé, apparaît dès lors moins aléatoire. Elle comporte toutefois quelques faiblesses.

1. Critiques et variantes.

Le fondement de la théorie développée par Walter ALVAREZ est la présence, dans les couches de séparation entre le Crétacé et le Tertiaire, d'une quantité anormalement élevée d'*iridium*, élément rare dans la croûte terrestre mais comparativement plus élevé dans les astéroïdes.

Cet élément constitue un indice sérieux quant à la cause de la disparition des Dinosaures, mais les détracteurs de la théorie "cométiste" considèrent qu'il n'est aucunement la preuve d'une origine extraterrestre à cette extinction. Il est exact que l'*iridium* est plus abondant dans les météorites que dans la croûte terrestre et le manteau supérieur, mais compte tenu de l'origine commune des astéroïdes et de notre planète, il faut admettre que cette dernière renferme dans son ensemble un pourcentage comparable d'éléments sidérophiles. C'est sous l'effet de la différenciation que les éléments lourds et inertes ont lentement migré vers son centre, s'enfonçant dans le noyau interne. A l'inverse, les astéroïdes conservèrent l'*iridium* dans toute sa densité initiale.

Sur base d'observations récentes, plusieurs spécialistes ont émis l'hypothèse selon laquelle les quantités d'*iridium* observé pourraient avoir une origine volcanique. Lors d'une éruption du volcan Kilauea survenue en janvier 1983 dans l'archipel des îles Hawaï, des prélèvements effectués dans l'atmosphère, dans le cadre d'un programme d'études sur les modifications climatiques, ont révélé que les particules éjectées par le dit volcan contenaient également des concentrations élevées de l'élément sidérophile. Les éruptions ne contenant, dans la plupart des cas, pas de telles éjections, les chercheurs W.H. ZOLLER, J.R. PARRINGTON et Phelan KOTRA, rejoints par Charles DRAKE et Anthony HALLAM, ont suggéré que, à l'instar d'autres volcans hawaïens, le Kilauea crache un magma basaltique dont la source serait située très profondément dans le manteau terrestre. L'enrichissement en éléments sidérophiles du niveau formant la limite entre le Crétacé et le Tertiaire aurait donc été produit par une activité volcanique très importante à cette époque, dont des traces ont été trouvées dans les Trapps du Deccan (Inde). Ceux-ci sont constitués d'énormes coulées basaltiques, que le Dr Vincent COURTILOT de PARIS a datées de 65 millions d'années et dont l'amplitude aurait été suffisante pour fournir l'*iridium* contenu dans les sédiments.

Au demeurant, cette théorie a le mérite de présenter un vecteur précis et daté, ce qui n'est pas le cas de celle qui fut développée par l'équipe de Berkeley. Il existe de nombreux impacts météoriques qui pourraient accréditer cette thèse, mais aucun n'est précisément daté de 65 millions d'années. En outre, se pose le problème d'autres impacts, plus anciens et apparemment causés par des

météorites gigantesques, sans que les **Dinosaures** ne semblent en avoir été particulièrement affectés dans leur ensemble...

A l'inverse toutefois, les tenants de la **théorie d'Alvarez** ont poussé la controverse jusqu'à avancer l'hypothèse suivant laquelle il n'y a pas eu une seule **extinction massive**, survenue **65 millions d'années** avant notre ère, mais **plusieurs extinctions** qui se produisent à des intervalles **de 2 à 30 millions d'années**.

Le chimiste nucléaire **Frank ASARO**, qui faisait partie de l'équipe de **Luis ALVAREZ** (décédé en **septembre 1988**), aurait ainsi identifié d'autres roches contenant des **quantités anormales d'iridium**, dans la Mer de Weddell, près de l'Antarctique, et dans la Mer de Tasmanie, près de la Nouvelle-Zélande. Ces roches seraient datées de **10 à 12 millions d'années**, d'autres présentant les mêmes caractéristiques, de **38 millions d'années** cette fois. Dans le même sens, le géologue **Edward PETUCH** de Miami a récemment suggéré que la région marécageuse et sauvage du sud de la Floride, connue sous le nom d'Everglades, constitue les restes remplis de vase d'un ancien **cratère d'impact** laissé par un **astéroïde** qui frappa la Terre il y a quelques **38 millions d'années**. Cet impact, dans un fond marin situé **à 200 mètres** sous la surface, pourrait avoir causé la **grande extinction** de la **limite Eocène-Oligocène**, similaire à celle qui avait anéanti les **Dinosaures 27 millions d'années** auparavant. Selon **Edward PETUCH**, l'**origine météorique** des Everglades est confirmée, tant parce qu'ils sont situés dans une dépression ayant la forme particulière d'un bassin que par la détection magnétique d'une masse souterraine de minerais, qui seraient les restes de l'astéroïde, de même que la projection dans l'atmosphère de matière terrestre expliquerait l'étonnante absence sur le site d'une formation rocheuse nommée Ocala qui est pourtant courante dans le sud de la Floride.

La **réurrence des extinctions** a amené certains chercheurs à émettre l'hypothèse suivant laquelle les **météorites** frappant régulièrement, du moins à l'échelle cosmique, la Terre pourraient avoir pour origine une vaste concentration de **comètes** et d'**astéroïdes** située à une très grande distance dans le système solaire et dont l'existence fut élaborée par l'astronome hollandais **Jan OORT** au **début des années cinquante**. Ce serait la force gravitationnelle d'étoiles passant à proximité de ce "**Nuage d'Oort**" qui en arracherait certains **astéroïdes** en les propulsant vers l'orbite terrestre. La répétition régulière de collisions trouverait ainsi son explication dans l'existence d'une hypothétique **étoile nommée Némésis**, "L'Etoile de la Mort". Petite et noire, elle accompagnerait le Soleil en des révolutions de **26 millions d'années**... Quoique son existence supposée ait été déduite d'observations indirectes telles que celles qui ont amené à formuler la théorie des "trous noirs", cet astre de la mort, compagnon du Soleil, n'a toutefois jamais été observé. Ce qui apparaît par contre moins douteux, c'est que le Soleil s'élève et s'abaisse alternativement au-dessus et en-dessous de la ligne médiane de notre Galaxie, entraînant la Terre et les autres planètes. Dans ses balancements, il franchit ainsi - tous les **33 millions d'années** - la ligne médiane, près de laquelle sont concentrés **quantité d'étoiles et de nuages de poussière**, lesquels pourraient être arrachés par sa pression gravitationnelle et projetés vers notre astre. Ces considérations nous mènent cependant bien loin des **Dinosaures** !

V. CATASTROPHISME ET GRADUALISME

A. Le rayonnement cosmique.

Les théories échafaudées pour expliquer l'extinction des Dinosaures s'insèrent dans le débat plus large qui tente de rendre compte des bouleversements répétés qui ont affecté la biosphère terrestre. Certains y voient une évolution graduelle, d'autres des événements catastrophiques. La querelle n'est pas récente. Au début du XIX^{ème} siècle, avant même l'essor de la géologie, Georges CUVIER avança l'idée que les époques passées avaient, à plusieurs reprises, été marquées par des bouleversements de l'environnement responsables de la disparition de certaines espèces animales, dont les mamouths de l'ère glaciaire, certains mammifères primitifs, ainsi que les reptiles géants d'époques encore plus anciennes. Toutefois, dans les décennies suivantes, les travaux du pionnier Charles LYELL établirent que les processus d'évolution s'étalent dans l'histoire terrestre sur une durée beaucoup plus longue. La thèse du catastrophisme tomba dès lors en désuétude au profit de celle du gradualisme.

Au demeurant, la controverse porte autant sur la question de savoir si l'extinction des Dinosaures fut d'origine terrestre ou extraterrestre. Ainsi, certains spécialistes s'accordent pour l'attribuer au rayonnement cosmique, mais tandis que les uns y voient un phénomène d'inversion du magnétisme de la Terre, d'autres le justifient par l'explosion d'une Supernova.

A l'échelle géologique, le champ magnétique terrestre est sujet à des variations importantes. Pour des raisons encore obscures, sa force peut changer d'intensité de même que sa polarité peut être inversée. Ce phénomène est connu depuis l'observation, dans les sédiments marins, de particules métalliques dont l'orientation changeait à plusieurs reprises suivant l'ancienneté des couches. Ces "boussoles naturelles" pouvaient apparaître complètement désorientées, indice d'une inversion. Au laboratoire René Bernas de l'Université d'Orsay, l'analyse au spectromètre de masse de sédiments prélevés dans l'océan Indien par une équipe franco-américaine de géologues a révélé une quantité double de la normale de béryllium-10, un isotope rare essentiellement formé par le rayonnement cosmique. Les inversions magnétiques supprimeraient momentanément le bouclier qui protège notre planète contre le bombardement de particules à très haute énergie, modifiant la composition des poussières atmosphériques dissoutes dans l'océan, et ce pour de nombreux milliers d'années. Selon le géologue canadien Grant RAISEBCK, le rayonnement cosmique influencerait l'ionisation de l'atmosphère, agissant dès lors sur la formation des nuages, de même qu'il pourrait influencer sur celle de la couche d'ozone, qui protège contre l'effet nocif des ultraviolets. La disparition du champ magnétique aurait donc exposé la surface terrestre à un ensoleillement plus agressif en provoquant un bouleversement écologique.

Une autre théorie visant à expliquer l'**extinction des Dinosaures** par l'émission de rayons cosmiques dévastateurs fut celle de l'explosion, à proximité de la Terre, d'une **Supernova**. Les radiations engendrées pourraient ainsi avoir été à l'origine de **mutations génétiques** au terme desquelles nombres d'espèces auraient disparu. L'**hypothèse d'un gigantesque cataclysme stellaire** survenu à l'extérieur du système solaire fut soutenue par **Malvin RUDERMAN** et **James TRURAN** qui ont suggéré qu'un **flux de rayons de gamma** provenant d'une telle explosion aurait arraché des micrométéorites à la surface de la Lune, recueillies ensuite par la Terre. Dans le même sens, **Paolo MAFFEI** de l'Observatoire d'Astrophysique de Catane (Italie) recherche les traces d'une éventuelle **explosion gigantesque** survenue vers la **fin du Mésozoïque** à quelque **mille années de lumière** de notre système solaire.

Cette hypothèse est toutefois très contestée, notamment suite aux travaux de **Walter ALVAREZ**. L'**explosion d'une Supernova**, même de grandes dimensions, n'aurait en effet pu rassembler suffisamment de matière interstellaire pour rendre compte des **concentrations d'iridium** aussi importantes que celles qui furent relevées dans les échantillons riches en **éléments sidérophiles** et constitutifs de la **limite du Crétacé et du Tertiaire**. En outre, un tel événement suppose une implosion initiale, c'est-à-dire un effondrement de l'étoile sur elle-même, au cours duquel il se forme une grande quantité de **plutonium 244**, un isotope radioactif que l'équipe de Berkeley chercha en vain dans les sédiments étudiés. Enfin, l'**iridium** découvert dans les couches d'argile se présentait sous la forme de deux isotopes courants dans le système solaire (**Ir-191** et **Ir-193**), tant dans la croûte terrestre que dans les **astéroïdes**, sans que les proportions en soient différentes comme ce serait le cas lors d'une explosion stellaire. Une constatation similaire fut par ailleurs faite concernant les deux isotopes de l'**osmium**, par **J. HERTOGEN** de l'Université de Louvain.

B. Les œufs.

Une des hypothèses fréquemment avancée pour expliquer la **disparition des "Terribles Lézards"** fut celle de la **destruction de leurs œufs**, par d'autres **Dinosaures** ou par de petits mammifères. Quoiqu'elle ne soit fondée sur aucun indice déterminant, cette thèse possède le mérite d'attirer l'attention sur le problème de leur reproduction. De récentes découvertes ont ouvert de nouvelles voies d'investigation.

Le Dr **Claude PIEUA**, de l'Institut de recherche en biologie du CNRS, a consacré une étude au mécanisme de différenciation sexuelle des tortues, en particulier de la tortue mauresque (*Testudo graeca*), la banale tortue des jardins, et de la cistude d'Europe (*Emys orbicularis*), une espèce aquatique. Il procéda à une longue série d'expériences, consistant à placer des couvées en incubateur, à des températures différentes. Il constata que, incubés à une température inférieure ou égale à **27° C**, les œufs de tortue ne donnaient naissance qu'à des mâles, tandis qu'à **31° C** ou plus, ils produisaient plus de

femelles. Entre ces deux extrêmes, les deux sexes étaient représentés, quoique les uns l'emportent sur les autres en fonction d'une certaine température critique, variable selon les espèces. La reproduction des tortues apparaissait comme tributaire des variations climatiques, contrairement aux mammifères où la différenciation sexuelle est régie par un mécanisme purement génétique. Par la suite, des expériences similaires furent réalisées avec des lézards et, par le **Professeur FERGUSON** de Belfast, sur les alligators.

Les **Dinosaures** étant des Reptiles, à l'instar des tortues, des lézards et des crocodiles, la particularité de leur mécanisme de différenciation sexuelle pourrait dès lors avoir été le facteur déterminant de leur disparition. Une variation de température de quelques degrés aurait suffi à compromettre leur cycle de reproduction en faisant apparaître sur plusieurs générations une prédominance soit de mâle, soit de femelles. Les mammifères auraient été les grands bénéficiaires de leur déclin, leur mode de reproduction les rendant notablement moins sensibles aux variations thermiques.

Une autre explication plausible envisagée par les chercheurs est un problème de **malformations des œufs**. Ainsi, l'examen par **E. FALLOT** d'œufs de **Dinosaures** provenant du Bassin d'Aix-en-Provence a permis de constater des anomalies de croissance au niveau des coquilles. Certaines d'entre elles étaient "stratifiées", leur structure attestant d'une ou plusieurs interruptions dans l'activité métabolique. Ces coquilles étaient anormalement épaisses, en raison d'une croissance exubérante au-delà des interruptions, qui seraient la conséquence d'oscillations thermiques. Manquant de régularité, ces dernières font envisager l'hypothèse qu'une succession de pointes de froid, différentes des habituelles variations saisonnières, auraient provoqué l'extinction des **Dinosaures** en un temps géologiquement réduit. Un phénomène semblable fut constaté par le paléontologue **D. MAHABAY** sur des coquilles d'œufs trouvées dans des couches calcaires de la région de Raholi, dans l'Etat du Gujarat (Inde). Un amincissement ou, à l'inverse, un épaississement anormal des coquilles aurait empêché le développement des embryons, avec la même conséquence.

Outre qu'elles sont basées sur des constatations précises, ces dernières théories présentent l'avantage de ne pas exclure, sinon de confirmer, d'autres hypothèses liant les bouleversements de la **fin du Crétacé** tant à une catastrophe d'origine météorique qu'à une évolution des conditions environnementales.

C. La régression océanique.

L'hypothèse de l'**impact météorique** comme cause de l'**extinction des Dinosaures** a séduit nombre de spécialistes, de même qu'elle fut abondamment relayée par les médias, avides d'informations "sensationnelles". L'équipe de **Walter ALVAREZ** concède toutefois qu'elle comporte des incertitudes. Elle rend en effet difficilement compte de l'apparente sélectivité du phénomène d'**extinction massive** survenu à la **fin du**

Crétacé. Si de nombreux groupes disparurent, tels les **Dinosaures**, les **Reptiles volants**, les grands **Reptiles marins**, les **Ammonites**, les **Bélemnites** et les **Rudistes**, d'autres ne furent guère affectés dans leur ensemble. Comment, par exemple, expliquer que les crocodiles, qui occupaient des eaux marines peu profondes, survécurent alors qu'ils côtoyaient dans ce même habitat des **mosasaures**, qui s'éteignirent? Un cataclysme à l'échelle du globe aurait vraisemblablement eu des répercussions similaires sur les **Oiseaux**, les **Requins**, les **Tortues** et les **Lézards**. Face aux agents de perturbation biologique, quels qu'ils aient été, la capacité de résistance de la biosphère fut manifestement très variable.

Compte tenu de l'extrême diversité des organismes atteints, tant herbivores que carnivores, et de la grande variété des milieux concernés, aquatiques et continentaux, certains spécialistes s'orientent vers une **explication gradualiste**, faisant appel à un ensemble de facteurs qui auraient agi progressivement et de manière cumulative.

En matière d'**extinction massive**, les géologues s'accordent généralement pour constater que chacune de celles qu'a connues la Terre s'est accompagnée d'un **abaissement du niveau des mers**. Avant la **fin du Crétacé**, l'unique masse continentale existante, la **Pangée**, se fractionna en masses plus réduites, ébauches des conditions actuelles. Suite à cette séparation et à une **transgression marine**, ces continents furent recouverts de mers peu profondes qui atteignirent une extension telle que les terres émergées ne représentaient alors que **moins de 60%** de celles de notre époque. Face à cet archipel d'îles et de continents séparés par des barrières écologiques et géographiques, caractérisés par une grande stabilité de milieux se développèrent des communautés d'une grande diversité, composées d'un nombre restreint d'individus pour chaque espèce et qui s'adaptèrent à des biotopes très spécifiques. **A la fin du Crétacé**, **65 millions d'années** avant notre ère, la brusque **régression des eaux marines** et l'éloignement des masses continentales subsista à ce régime de stabilité climatique un milieu de type radicalement continental, caractérisé par des variations quotidiennes et saisonnières extrêmes, facteur défavorable aux grands **Reptiles**. C'est donc la redistribution, à l'échelle terrestre, des milieux qui imposa à quantité d'organismes des conditions de vie qui leur étaient impropres.

Au-delà des **extinctions**, c'est une véritable **crise biologique** qui, selon **Giovanni PINNA**, conduisit à une **réduction du nombre des taxons** - espèces, genres familles,.. cette crise n'atteignant toutefois que des groupes de haute diversité taxonomique, qui étaient caractérisés par un grand nombre d'espèces différentes. Cette crise biologique s'explique dès lors sans référence à des événements catastrophiques mais s'inscrit dans les lois qui régissent normalement la Nature. **L'extinction des Dinosaures**, à l'instar de celle d'autres groupes, ne fut que le résultat des changements survenus dans l'équilibre du milieu à la **fin du Crétacé**, suite à la dérive des continents, à la redistribution des masses continentales par rapport aux masses aquatiques et aux variations de la superficie des terres émergées, un ensemble de

phénomènes enregistrés par la géologie.

Cette explication, à laquelle souscrit **Jean-Claude FISCHER** du Muséum National d'Histoire naturelle, apparaît certainement plus sereine que les visions apocalyptiques précédemment décrites. Ce qui n'empêcha pas **Stephen GOULD** d'émettre l'idée qu'un **impact météorique** survenu à la **frontière du Crétacé et du Tertiaire** aurait pu constituer le "coup de grâce" porté à des formes de vie déjà en voie d'extinction...

VI. CONCLUSION

Naissance d'un mythe

Refroidissement de la Terre à la suite d'un "hiver nucléaire", réchauffement dû à un "effet de serre", empoisonnement de la biosphère par la formation de "pluies acides", rayonnement mortel provoqué par une réduction de la "couche d'ozone",...

Autant de thèmes tristement portés à l'avant-plan de l'actualité et qui sont symptomatiques d'un certain malaise qui serait plutôt propre à l'espèce humaine ! Nul doute qu'à chaque apparition d'une nouvelle problématique liée à notre survivance et à la préservation de notre environnement, certains verront dans **l'extinction des Dinosaures** l'illustre et spectaculaire précédent venant confirmer leur théorie.

Quoique certaines des hypothèses présentées ne manquent certes pas d'intérêt, aucune ne paraît à l'heure actuelle totalement satisfaisante. Le grand mérite de l'équipe de **Walter ALVAREZ** fut de substituer à de vaines spéculations une véritable théorie fondée sur des données concrètes et vérifiables. Le moins que l'on puisse dire est que l'impact de ce rapport dans le monde scientifique fut directement proportionnel aux bouleversements qu'il décrit dans la biosphère terrestre.

Au demeurant, et quelle que soit l'issue - encore incertaine - du débat engendré autour des événements de la **fin du Mésozoïque**, **la seule véritable conclusion qui s'impose est que c'est l'homme qui en fut le grand bénéficiaire. Après avoir succédé aux Dinosaures, reste à savoir s'il en aura la longévité...**

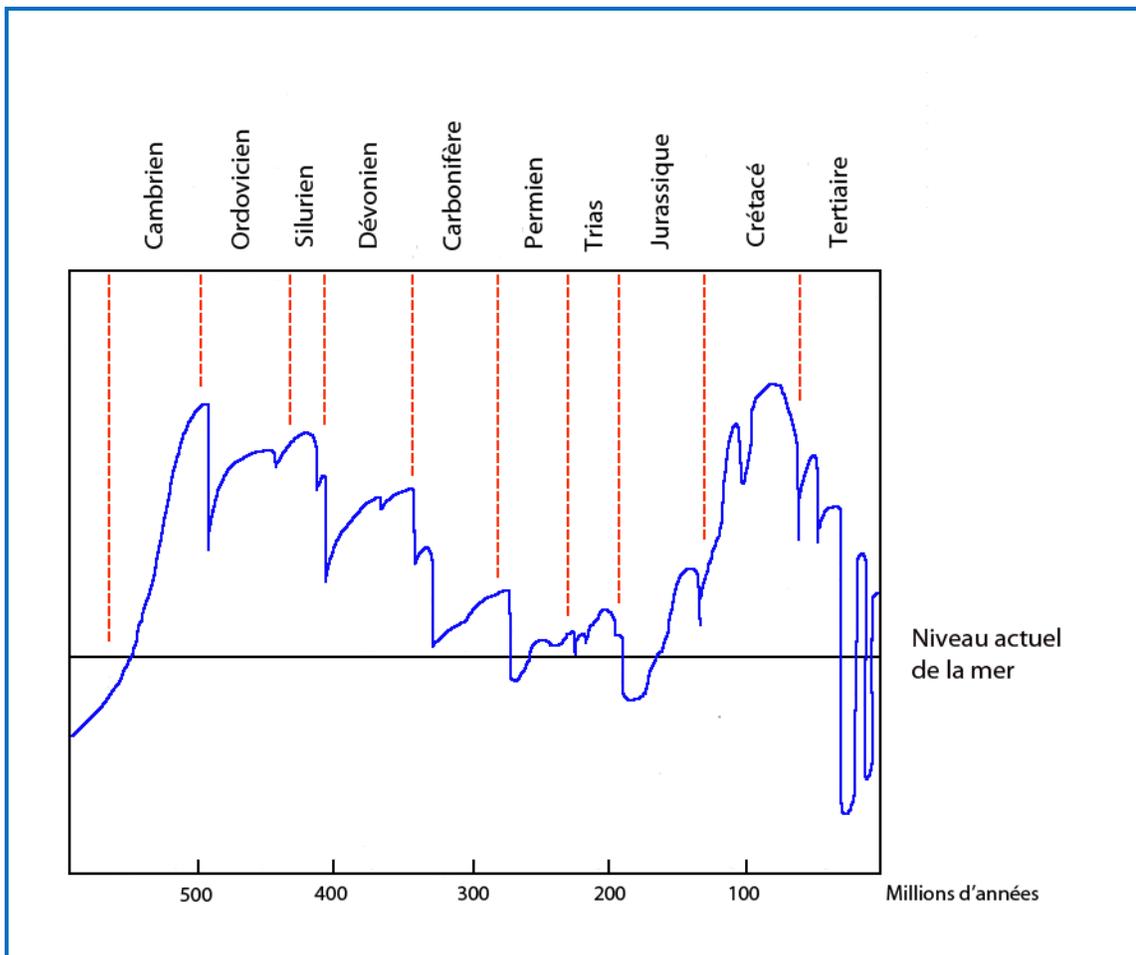
VII. BLIOGRAPHIE

- **ALVAREZ L.W., ASARA, A F., MICHEL H.** - *Extraterrestrial Cause of the Cretaceous Tertiary Extinction*, in *SCIENCE*, vol. 208, n° 4448, p. 1095, june 1980.
- **ANGIER N.** - *Comet fire : did it doom the Dinosaurs ?* , in *TIME*, october 14, 1985.
- **ASIMOV I.** (1989) - *Les comètes ont-elles tué les Dinosaures ?* , Père Castor,

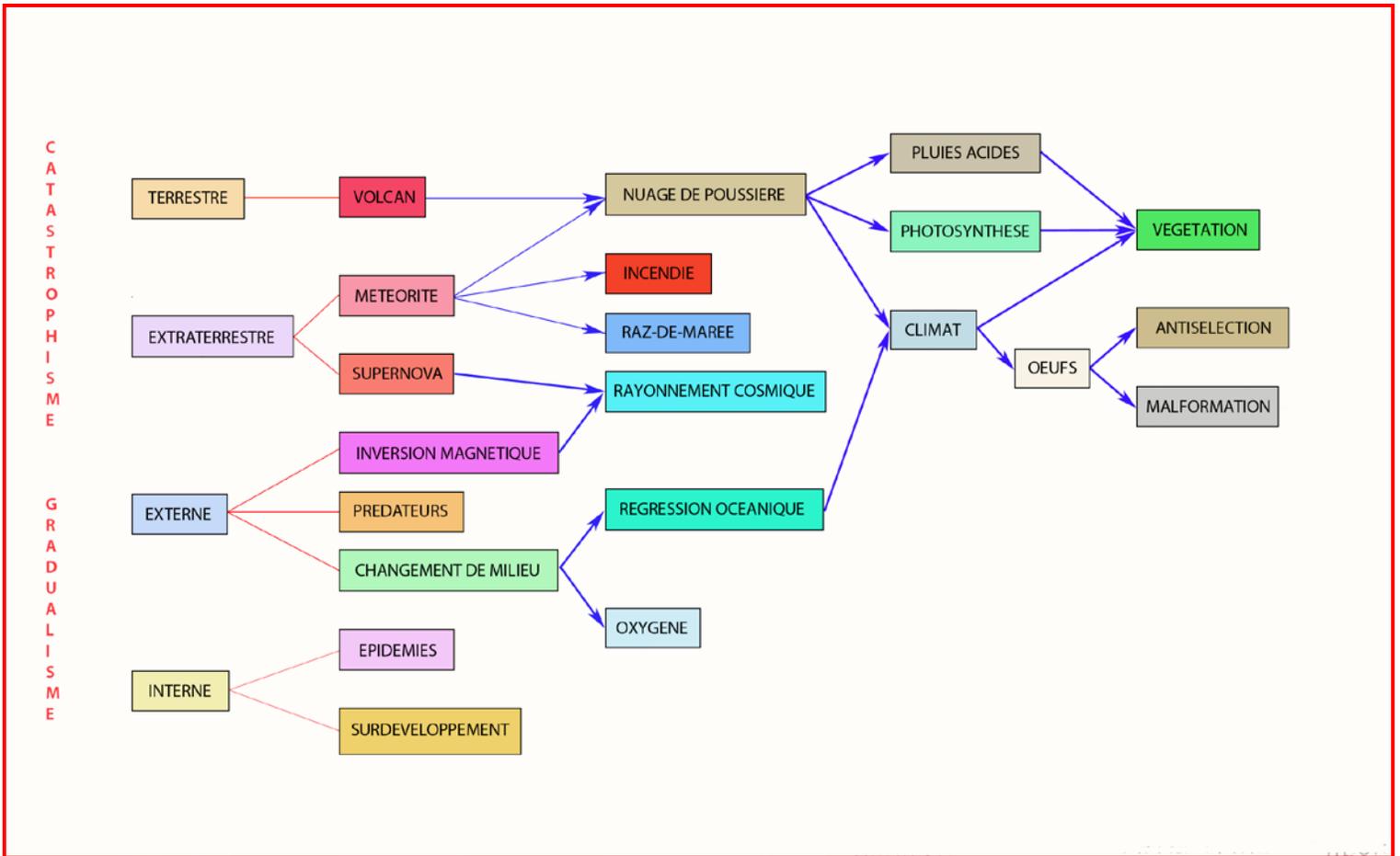
Flammarion, Paris.

- **BATAIL B.** - *Les Dinosaures, ces êtres aux adaptations étonnantes*, in *Pour la Science*.
- **BUFFETAUT E.** - *Vie et mort des Dinosaures*, in *Pour la Science*, mars 1984, p. 10.
- **DOROZINSKI A.** - *La Terre en a vu d'autres*, in *Science et Vie*, n° 863, août 1989, p. 34.
- **FALLOT E.J.** - *Œufs de Dinosaures (Maestrichtien-Danien) et œufs d'Oiseaux (Thanétien-Sparnacien) des terrains fluvio-lacustres du Golfe de Basse-Provence*.
- **FISCHER J.-C.** (1986) - *La Géologie*, collection *Le Monde de ...*, MA éditions, Paris.
- **GOLDEN F.** - *Bebunking Dinosaur Myths : an expert on the "terrible lizard" separates fact from fiction*, in *TIME*, october 17, 1983.
- **GOULD S.-J.** (1984) - *Quand les poules auront des dents - Réflexions sur l'histoire naturelle*, Fayard, Paris.
- **HORNER J.** - *Les oeufs et les nids de Dinosaures*, in *Pour la Science*, juin 1984, n° 80.
- **NORMAN D.** (1989) - *A discovery guide : Dinosaurs*, Salamander Books, London.
- **PINNA G.** (1985) - *L'encyclopédie des fossiles*, éd. française Atlas, Paris, 1987.
- **ROSSION P.** - *Des tortues expliquent la fin des Dinosaures*, in *Science et Vie*, n° 786, mars 1983, p. 28.
- **RUSSEL D.** - *Les extinctions massives de la fin du Mésozoïque*, in *Pour la Science*, mars 1982, n° 53.
- **SCIENCE ET AVENIR** - *Raz de marée chez les Dinosaures mexicains*, novembre 1988.
- **SCIENCE ET VIE** - *Et si les Dinosaures avaient perdu la boussole ?*, Echos de la Recherche, S.C., décembre 1985, n° 819, p. 60.
- **SCIENCE ET VIE** - *Pour quelques degrés de plus...*, Echos de la Recherche, G.M., février 1987, n° 833, p. 83.

- SCIENCE ET VIE - *Les cratères, vous dis-je...* , Echos de la Recherche, G.M., août 1987, n° 839, p. 98.
- **SMITH P. J.** (sous la direction de ...) (1985) - *La Terre*, éd. Française, A. Colin, Paris, 1987.
- **TAQUET P.** - *Les Dinosaures, petites histoires des découvertes*, in *Pour la Science*.
- TIME - *Florida bowl : an Everglades asteroid ?* , december 9, 1985.
- TIME - *Dealing with threats from space : could a meteor start a nuclear war ?*, june 9, 1986.
- TIME - *Whew! That was close. Earth's narrowest escape from an asteroid in 52 years*, may 1, 1989.



Variation du niveau de la mer à travers le temps (d'après P.J. SMITH).



Organigramme des principales théories – Variantes et recoupements (D. Van Espen, 1990)