ILLUSTRATIONS

J'avais prévu de nombreuses illustrations pour la version 1998 de ***LA TERRE BOMBARDÉE****, qui en définitive n'a pas vu le jour en version papier. Je les publie sur ce site avec les légendes prévues à l'origine.* ***En rouge, les figures actuellement disponibles*** *(****environ 150****) à partir de cette page. Le visiteur peut les consulter* ***pour s'informer, s'instruire et se distraire****,* ***pour réfléchir aussi*** *sur la réalité et les conséquences de l'impactisme et du catastrophisme d'origine cosmique. J'en rajouterai de nouvelles ultérieurement.*

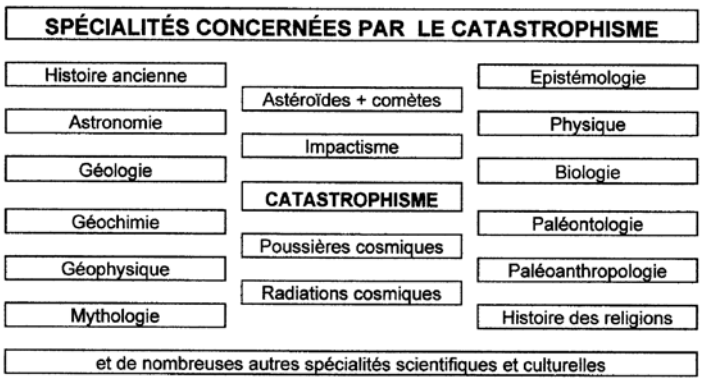


Figure Intro-1. **Une obligation : la multidisciplinarité des recherches**

L'impactisme et le catastrophisme doivent être étudiés d'une manière multidisciplinaire pour être appréhendés dans le détail. La figure rappelle quelques-uns des nombreux sujets concernés passés en revue dans ce livre. Il est bien évident qu'un chercheur ne peut connaître la totalité des phénomènes et données en cause d'une manière exhaustive. L'astronome, le géologue, le paléontologue, l'historien et leurs collègues des autres sciences doivent s'associer pour faire progresser la connaissance.

Figure Intro-2. **Le premier film catastrophe astronomique : *Meteor***

Paru en 1979, le film *Meteor* a eu un excellent effet pédagogique auprès d'une population totalement ignorante du sujet. Des personnes qui ne savaient même pas que la Terre peut être frôlée par des astéroïdes et des comètes ont appris que le ciel peut nous tomber sur la tête, comme il l'a fait durant l'Antiquité et la protohistoire.

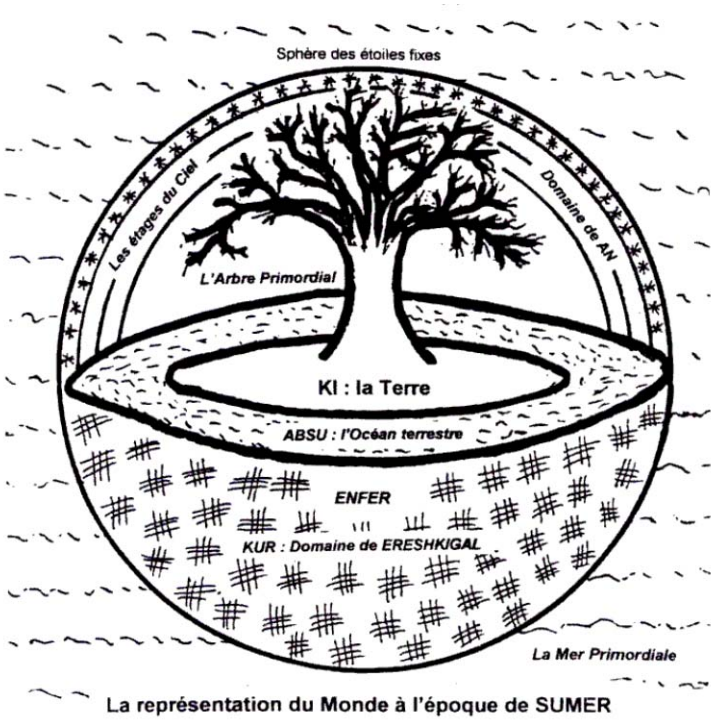


Figure 1-1. **La représentation du monde à l'époque de Sumer**

Cette représentation du monde est l'une des plus anciennes que l'on connaisse puisqu'elle remonte à l'époque de Sumer (3500-2000 avant J.-C.). L'arbre primordial faisait office d'axe du monde et soutenait les étages du ciel. La mer primordiale baignait totalement la Terre. Les Sumériens observaient les étoiles et notaient les cataclysmes et les phénomènes anormaux. Ils ont mentionné notamment le phénomène connu sous le nom d'*étoile de Sumer*, que certains ont cru pouvoir associer avec la supernova des Voiles (voir le chapitre 17).

Cataclysme et mythologie

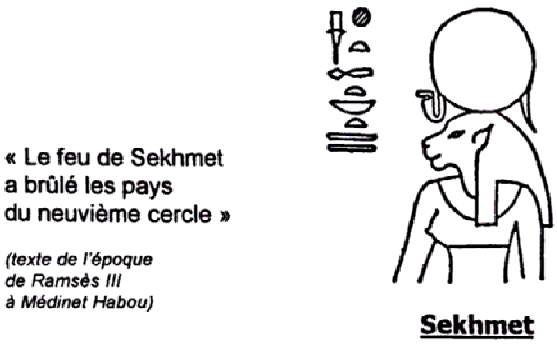


Figure 1-2. **Sekhmet : la déesse-lionne égyptienne**

Sekhmet est la déesse égyptienne à la face de lionne qui a détruit une partie de l'Égypte à la fin du XIIIe siècle avant J.-C. Chargée de châtier les hommes, elle était accompagnée d'un cortège de fléaux et de maladies. Aujourd'hui, les astronomes catastrophistes l'associent à Phaéton, Typhon, Absinthe, Anat et Surt.

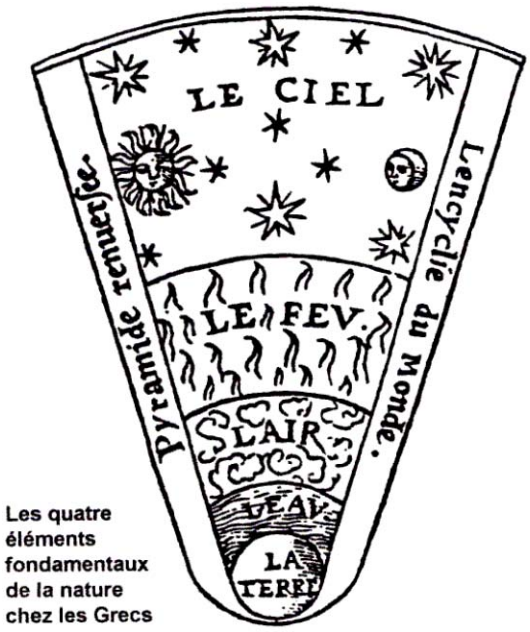


Figure 1-3. **Les quatre éléments de la nature chez les Grecs**

A partir de l'époque d'Empédocle d'Agrimente, au ve siècle avant J.-C., de nombreux philosophes enseignèrent que la combinaison ou la dissociation des quatre éléments fondamentaux de la nature : la terre, l'eau, l'air et le feu étaient à la base de tous les changements observés. L'eau et surtout le feu étaient considérés comme pouvant provoquer la fin d'un cycle cosmique, à travers le *kataclysmos* (déluge) et l'*ekpyrosis* (feu cosmique) et ramener ainsi la régénération périodique de la vie. 1500 ans plus tard, des savants du Moyen Age croyaient encore à la véracité de cette théorie des quatre éléments.

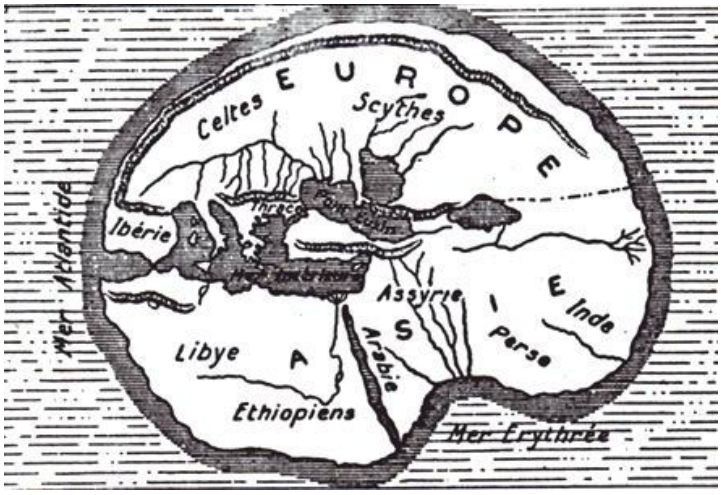


Figure 1-4. **Le Monde des Anciens à l'époque d'Hérodote**

Ce dessin, basé sur celui d'Hérodote (ve siècle av. J.-C.), rappelle combien la connaissance de notre planète était fragmentaire et approximative à son époque, et surtout *en recul* par rapport aux connaissances égyptiennes du xiiie siècle avant J.-C. Les Grecs croyaient alors à un continent unique baigné par la mer Atlantide à l'ouest et par la mer Érythrée à l'est. Le Bassin méditerranéen était le centre du monde. L'épopée de Sekhmet, vieille de déjà huit siècles, était totalement oubliée sur un plan historique et n'existait plus que sous forme de mythes.

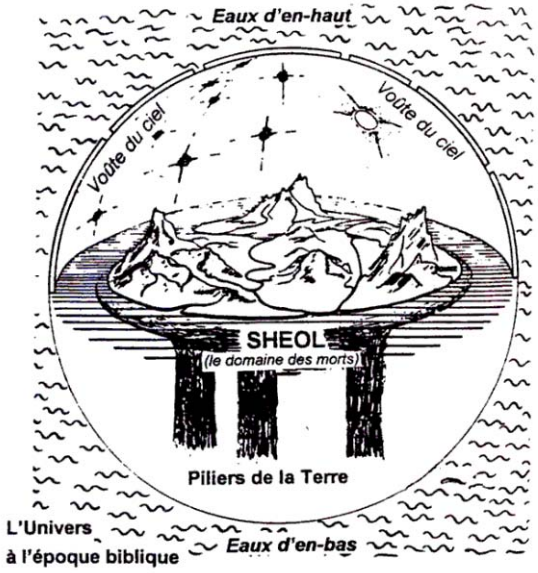


Figure 2-1. **L'Univers à l'époque biblique**

La conception que se faisaient du monde les diverses populations habitant les contours de la Méditerranée était à peu près la même durant les deux millénaires avant Jésus-Christ. Une Terre plate entourée de la voûte du ciel solide au-delà de laquelle circulaient les eaux d'en-haut. Sous la Terre était le royaume des morts (le Sheol pour les Juifs). Cette Terre était soutenue par les fameux piliers sur lesquels elle reposait. Dans certaines mythologies, on signale parfois la rupture de l'un de ces piliers, et donc un basculement partiel de la voûte céleste avec des étoiles qui changent de place.

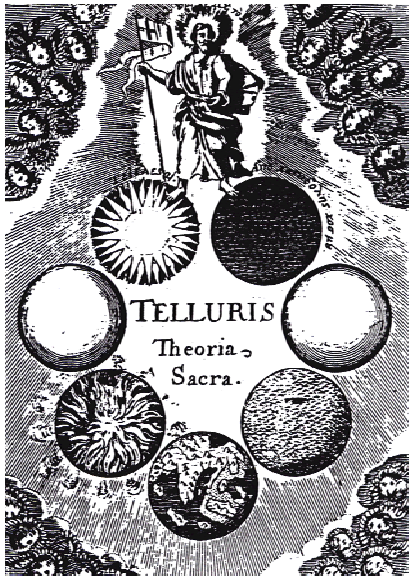


Figure 2-2. **Frontispice de *Telluris Theoria Sacra* de Thomas Burnet**

Entre 1680 et 1690, Thomas Burnet, dans sa *Telluris Theoria Sacra* (*La théorie sacrée de la Terre*), fut le premier à tenter de concilier religion et science. Pour ce faire, il imagina un cycle complet de l'existence de la Terre, en sept étapes, exécuté selon les plans de Dieu, l'architecte de la nature. L'histoire se lit dans le sens des aiguilles d'une montre. L'étape 3 est catastrophiste, c'est le Déluge biblique. L'étape 4 est l'époque actuelle. L'étape 5 est elle aussi cataclysmique : c'est l'Apocalypse par le feu à venir. Dans son livre *Les racines du temps*, Stephen Jay Gould a étudié en détail le catastrophisme de Burnet et a cherché à réhabiliter le travail de ce savant qui, le premier, a entrepris de donner un petit coup de vernis scientifique à la Bible, au texte jusque-là intouchable.

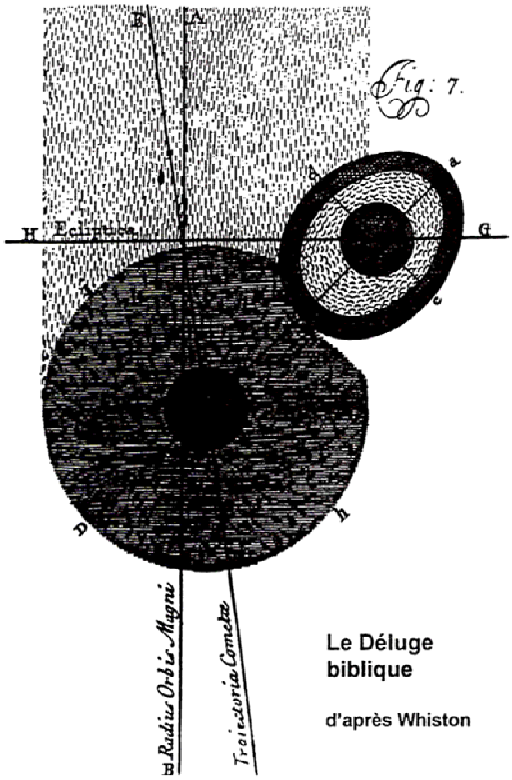


Figure 2-3. **Le Déluge biblique d'après Whiston**

Whiston, dans son livre *A new theory of the Earth*, paru en 1696, expliquait le Déluge biblique par une collision entre une énorme comète et la Terre. Ce n'est que plus tard qu'il associa son Déluge à la comète de 1680 (voir la figure suivante). Pour faire bonne mesure, il l'associa aussi à la Création et à l'Apocalypse à venir. Pour lui, les comètes pouvaient être des instruments de Dieu.

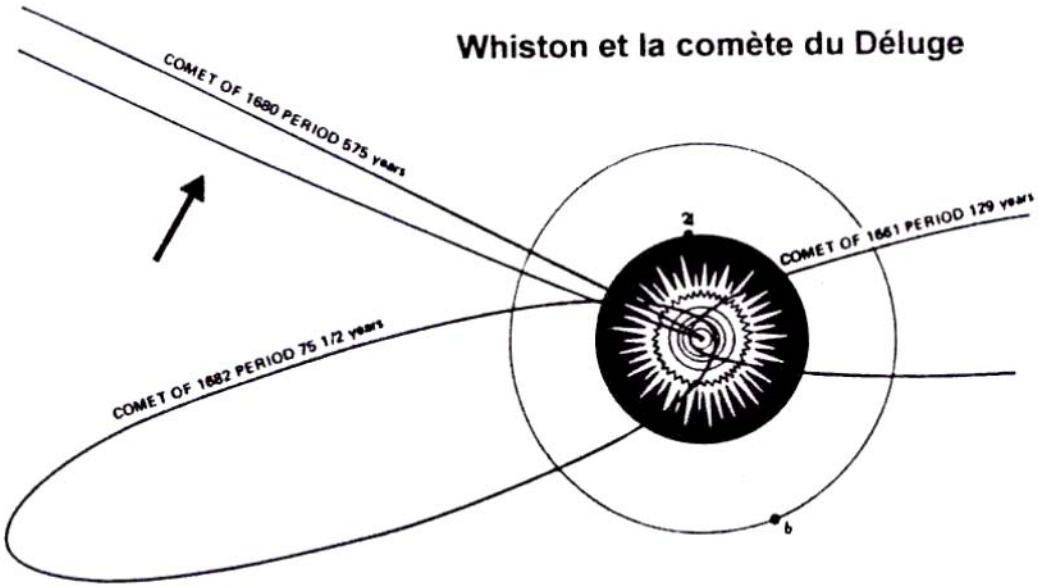


Figure 2-4. **La comète de 1680, la comète du Déluge**

C'est Edmond Halley qui suggéra la périodicité des trois comètes figurant sur ce dessin dû à Thomas Wright et datant de 1750. Seule celle de la comète de 1682 (qui n'est autre que P/Halley) est exacte. Whiston, en utilisant la période supposée de 575 ans (calculée par Halley et Newton) pour la comète de 1680 et en remontant dans le passé, trouva que c'est elle qui avait causé le Déluge biblique lors d'un passage précédent, exactement le 28 novembre 2349 avant J.-C.

Figure 2-5. **Le Déluge biblique vu par les créationnistes**

Dessin extrait d'un livre de propagande créationniste publié dans les années 1960 avec la légende suivante : *" Les mouvements d'énormes masses d'eau et de l'écorce terrestre ensevelirent de nombreuses formes de vie, dont certaines ont été conservées pendant des milliers d'années dans des amas de boue glacée. "*

Figure 2-6. **Le sixième sceau de l'Apocalypse d'après Dürer**

Le grand peintre et graveur allemand Albrecht Dürer (1471-1528), contemporain de Copernic, a publié une *Apocalypse* en quinze planches en 1498. Celle-ci concerne l'ouverture du sixième sceau qui parle d'un grand tremblement de terre, du Soleil qui devint noir, la Lune couleur sang et des étoiles du ciel qui tombèrent sur la Terre.

Figure 2-7. **La pluie d'étoiles filantes de novembre 1833**

Cette grandiose averse météorique, liée à l'essaim des Léonides, a fortement impressionné les témoins oculaires de l'époque. Ce dessin est l'un parmi d'autres qui rappellent ce phénomène exceptionnel, rarissime même par son intensité : il pleuvait littéralement des étoiles le 12 novembre 1833, puisque pas moins de 200 000 météores furent enregistrés dans un intervalle de six à sept heures. Miller, le fondateur de la secte fondamentaliste des *Millerites*, expliqua à ses disciples que ce phénomène était un signe avant-coureur de la fin du monde qu'il avait annoncé pour 1843, dix ans plus tard.

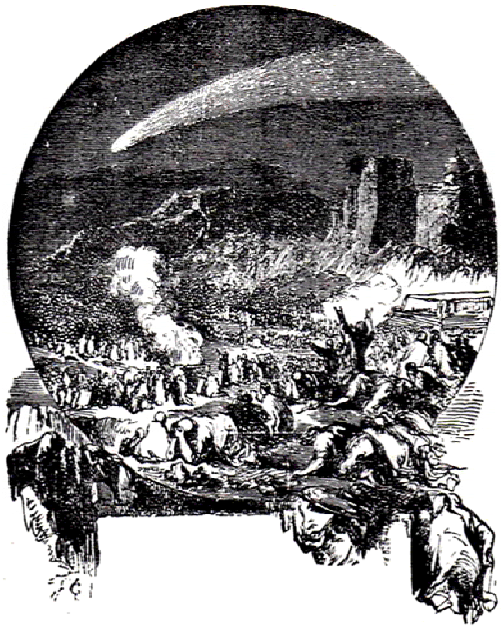


Figure 3-1. **Les comètes : un présage sinistre au Moyen Age**

Cette gravure anglaise ancienne représente une panique provoquée en Orient par l'apparition d'une grande comète au Moyen Age. A cette époque, et auparavant dans l'Antiquité, les comètes étaient étroitement associées à l'apparition d'épidémies dévastatrices dans l'esprit des populations.

Figure 3-2. **Dragons et serpents dans le ciel**

Ce célèbre dessin est extrait du *Theatrum Cometicum* de S. Lubienietzski, paru en 1682. Il montre un dragon dans le ciel associé à la grande comète de 1180 qui fut particulièrement spectaculaire, mais surtout effrayante pour les gens de l'époque qui craignaient les signes du ciel comme la peste.

Figure 3-3. **Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716)**

Il y a trois siècles, le génial philosophe et mathématicien allemand enseignait déjà que le cataclysme n'est pas toujours inutile et qu'il est même nécessaire comme *étape* vers la complexité. Pour lui, les grands cataclysmes de l'histoire de la Terre avaient été voulus par Dieu et programmés par lui, étapes obligatoires pour atteindre la perfection finale de la fin des temps. Le premier sans doute il avait compris que *le cataclysme est une force de création*.

Figure 3-4. **Le météore exceptionnel du 18 août 1783**

Le 18 août 1783, un formidable météore apparut dans le ciel d'Angleterre et se brisa en une vingtaine de fragments qui, eux-mêmes, se désintégrèrent sans toucher le sol semble-t-il. Les astronomes de l'époque donnèrent pour l'objet primitif un diamètre très exagéré, de l'ordre de 1 km parfois. Il pouvait peut-être s'agir d'un EGA cométaire d'une vingtaine de mètres, donc assez fragile, qui n'a pas supporté la traversée du bouclier atmosphérique. Plusieurs dessins d'époque, dont celui-ci, ont été croqués de mémoire peu après ce phénomène très spectaculaire. Celui-ci ne modifia pas pour autant l'optique dogmatique de l'époque : les pierres ne tombent pas du ciel. Au contraire, il la renforça encore puisque, apparemment, aucun de la vingtaine de fragments observés ne toucha le sol, ou en tout cas ne fut récupéré.

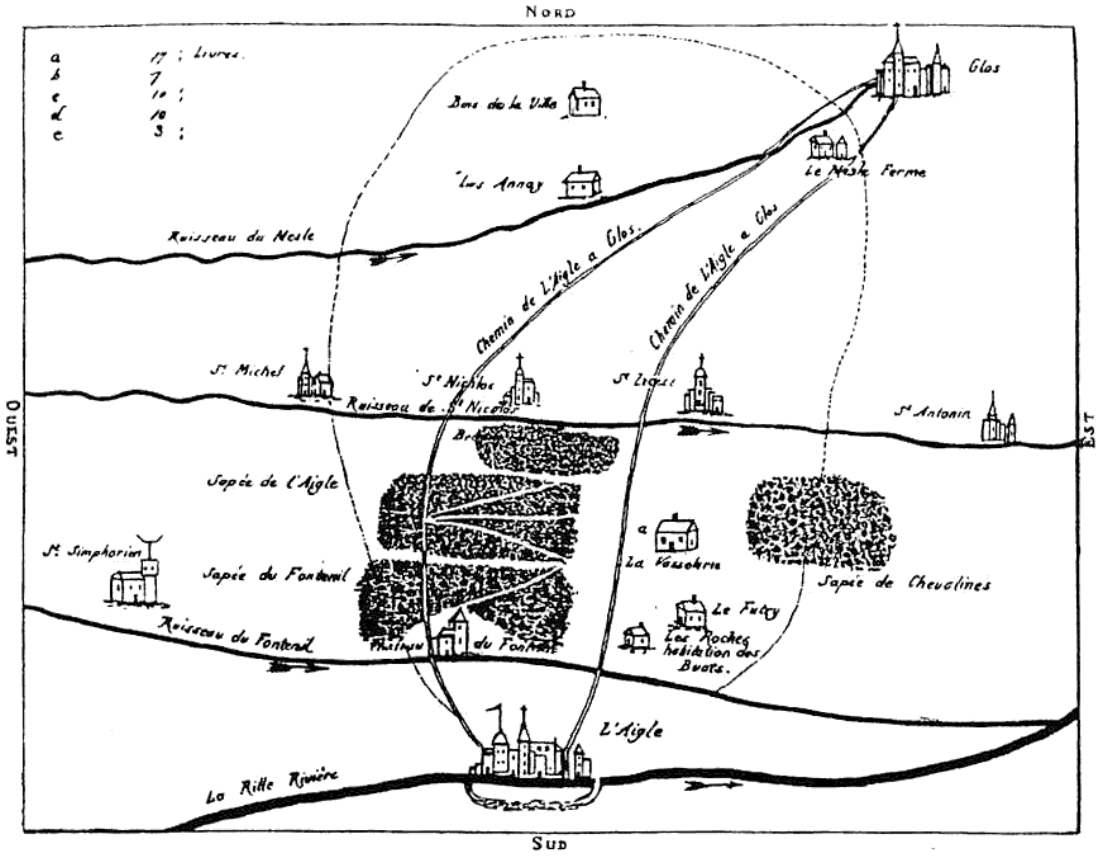


Figure 3-5. **Carte de la région de L'Aigle et zone de distribution des météorites**

J.-B. Biot, après son inspection sur le terrain, traça cette carte de la distribution des fragments de la chute de L'Aigle de 1803 et la fit figurer dans son célèbre rapport qui permit enfin d'accepter les météorites comme des objets d'origine extraterrestre. On voit que la distribution des météorites s'est faite selon un ovale, figure classique qui s'est très souvent confirmée par la suite.

Figure 3-6. **Deux grands savants catastrophistes : Laplace et Cuvier**

Laplace et Cuvier, plus que les autres savants de leur époque, personnifient le catastrophisme de la fin du XVIIIe et du début du XIXe sicle. Tous deux ont écrit des textes célèbres à ce sujet. Mais Laplace qui privilégiait l'observation et le raisonnement ne croyait pas en Dieu, alors que Cuvier était protestant et croyait à la véracité du texte biblique. Il fut par la force des choses fixiste et sectaire, et par là même précipita la fin du catastrophisme, qui devint après lui une théorie religieuse plutôt que scientifique.

Figure 4-1. **La destruction de la Terre par une comète**

Même si les idées catastrophistes de Cuvier connurent un déclin certain dans la deuxième partie du XIXe siècle, notamment chez les scientifiques partisans de l'uniformitarisme, elles furent entretenues par quelques savants plus perspicaces qui avaient lu Laplace. Flammarion, par exemple, aimait les histoires de fin du monde et il a écrit un livre avec ce même titre : " *La fin du monde* ". Il envisageait la destruction possible de la Terre par une comète. Sur cette gravure d'époque, l'atmosphère est perturbée par les fragments de la comète et prend feu, alors qu'une vague gigantesque (aujourd'hui on dirait un tsunami) submerge Paris et son Arc de Triomphe.

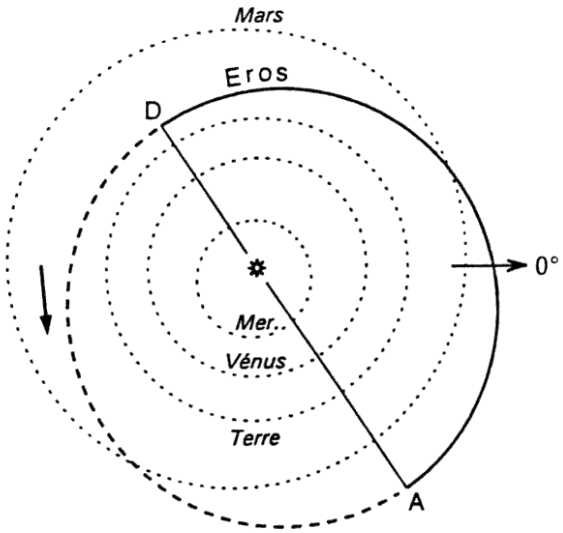


Figure 4-2. **Eros, l'astéroïde qui a tout changé**

En 1898, Eros fut le premier NEA découvert sur une orbite plus petite, mais plus excentrique, que celle de Mars. Le périhélie de son orbite vient juste à l'extérieur de l'orbite terrestre. Ainsi, pour la première fois, les astronomes eurent la preuve définitive que des astéroïdes, et non plus seulement quelques rares comètes, peuvent heurter la Terre à l'échelle astronomique. Sur le dessin, A est le nœud ascendant, D le nœud descendant et la flèche avec la position 0° indique le point vernal. On voit que l'approche à l'orbite terrestre a lieu près du nœud descendant.

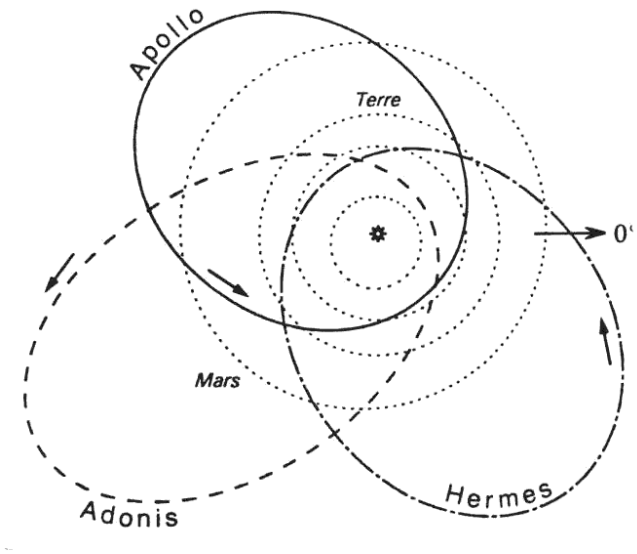


Figure 4-3. **Les orbites d'Apollo, Adonis et Hermes**

Dans les années 1930, les trois premiers EGA de type Apollo furent photographiés à quelques années d'intervalle, prouvant définitivement la crédibilité de l'impactisme planétaire. En effet, ces trois objets frôlent régulièrement Vénus, la Terre et Mars. Tous trois ont eu de fortes approches à la Terre l'année de leur découverte.

Figure 4-4. **The Spaceguard Survey**

Cette figure représente la première page du fameux rapport de la NASA (dit aussi rapport Morrison), paru en 1992, sur le danger réel des astéroïdes et des comètes pour la Terre. Il s'agit d'une brochure de 70 pages environ, remarquablement intéressante. Les orbites représentées sur la figure de gauche sont celles des NEA connus fin 1991. L'astéroïde représenté sur la figure de droite est 951 Gaspra, le premier à avoir été photographié par une sonde spatiale. Comme tous les autres astéroïdes, il est constellé de cratères d'impact.

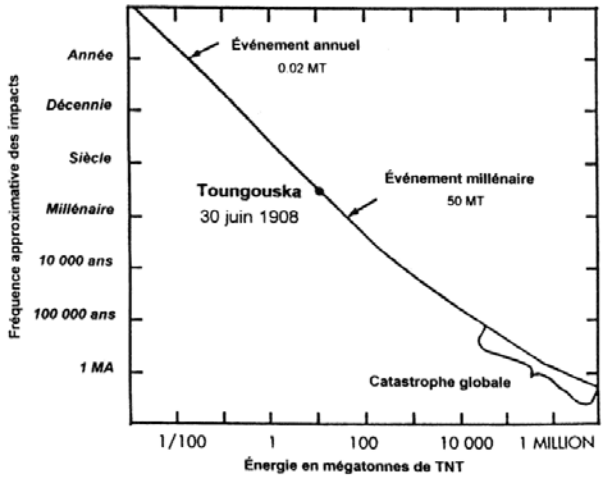


Figure 4-5. **Le diagramme fréquence et énergie des impacts**

Ce graphique, que l'on trouve dans tous les livres sur le sujet, montre le rapport entre la fréquence des impacts et l'énergie dégagée en mégatonnes de TNT. Même s'il est approximatif, il est intéressant et instructif. Chaque millénaire, on table sur un impact de 50 mégatonnes. Un cataclysme comme celui de la Toungouska se produirait tous les 300 ans alors qu'une catastrophe globale demande au moins 100 000 ans pour se reproduire. (D'après C. Chapman et D. Morrison).

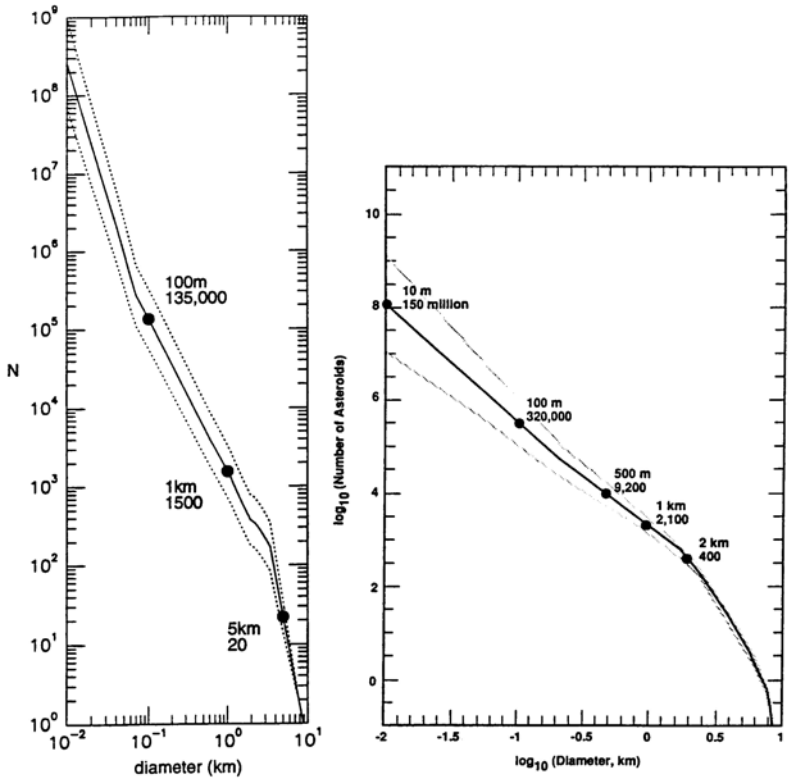


Figure 4-6. **Le nombre estimé des NEA selon leur diamètre**

La figure donne deux estimations du nombre de NEA selon leurs diamètres. La différence entre les deux ne doit pas surprendre. Chaque spécialiste a son estimation, basée sur des données différentes et qui ne recouvrent pas toujours les mêmes objets : nombre de NEA (avec q < 1,381 ou 1,300 UA), d'EGA (avec Dm < 0,100 UA), de géocroiseurs (avec q < 1,000 UA), de PHA (avec Dm < 0,050 UA). Seul l'ordre de grandeur est important : 20 NEA ont 5 km de diamètre, près de 2000 ont 1 km. Pour les objets de 100 m, on voit que les deux estimations diffèrent : 135 000 et 320 000. Ceux de 10 m sont supérieurs à 100 millions. Mais il faut se rappeler que moins de 1 NEA sur 2 est un géocroiseur. (Figure de gauche : document C. Chapman et D. Morrison ; figure de droite : document E. Bowell).

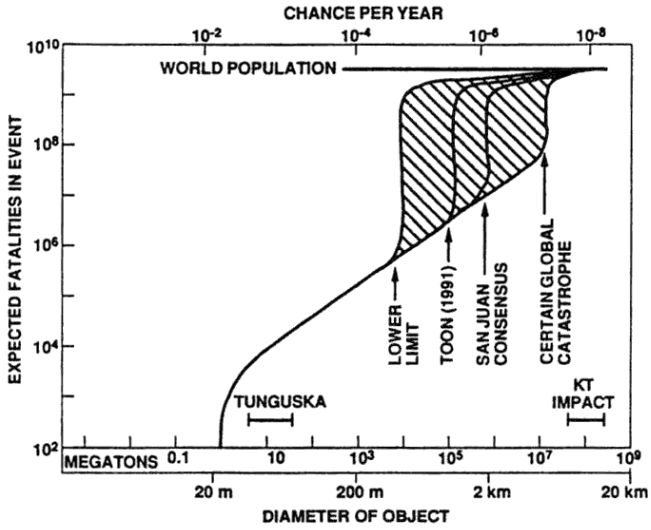


Figure 4-7. **Le danger humain des collisions**

Cette figure, qui a convaincu les autorités américaines de la nécessité du *Spaceguard Survey*, indique le nombre de victimes possibles suite à un impact, selon le diamètre et l'énergie de l'impacteur. Ainsi un objet de 2 km pourrait exterminer (directement et indirectement) nettement plus du quart de la population humaine mondiale, ce qui montre et justifie l'obligation de connaître les NEO dangereux pour pouvoir les rendre inoffensifs (destruction ou détournement) en cas d'urgence. (Document *The Spaceguard Survey*/C. Chapman).

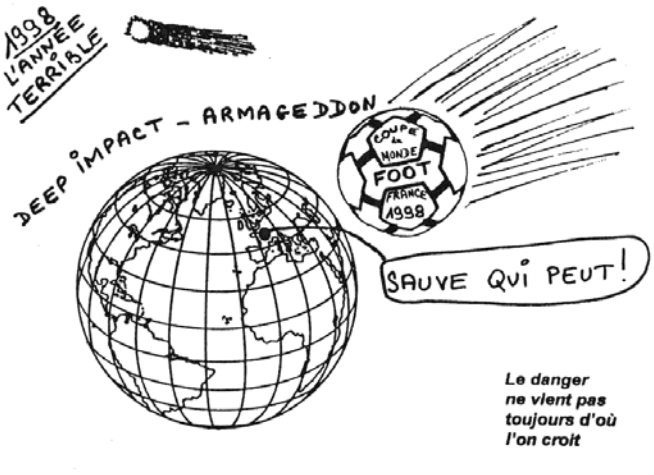


Figure 4-8. **Le foot : un danger plus immédiat qu'un impact !**

Ce dessin a été conçu à l'occasion de la Coupe du Monde de football de 1998 qui a eu lieu en France. Il montre que pour une grande partie des Terriens les méfaits terrestres (ici le foot et son omniprésence dans les médias : 64 matches télévisés en un mois, un supplice pour certains) sont un danger beaucoup plus immédiat qu'un impact cosmique comme celui décrit dans le film *Deep impact*, sorti sur les écrans peu avant la Coupe du Monde et dans *Armageddon*, sorti juste après, d'où l'association de ces trois événements.

Figure 5-1. **La Galaxie, une formidable source de cataclysmes**

La figure rappelle la structure spirale de la Galaxie, gigantesque réservoir de matière et d'énergie. Étoiles, poussières, gaz sont en perpétuelle évolution. Chaque siècle, quelques étoiles terminent leur existence sous forme de supernovae, mais elles ne sont pas en général observables de la Terre qui occupe une position très excentrée entre le bras du Sagittaire et de Persée. Une multitude d'autres cataclysmes moins cataclysmiques se succèdent sans interruption et nous rappellent sans cesse que *l'Univers est violence*. C'est le leitmotiv de ce livre : *le cataclysme est la règle, partout, toujours*.

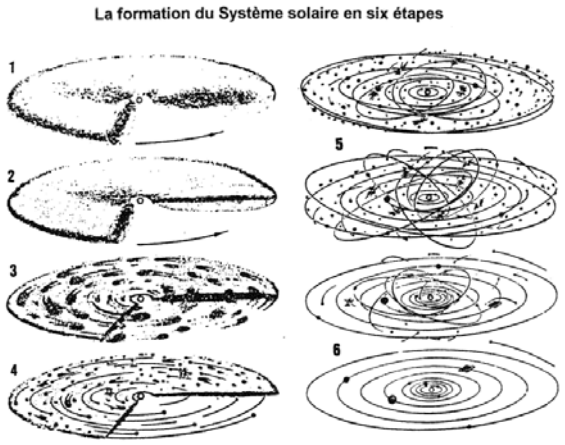


Figure 5-2. **La formation du Système solaire**

O.J. Schmidt et V.S. Safronov, et avec eux les savants de l'école soviétique de la période 1940-1980, ont résumé la formation du Système solaire de la façon suivante : 1. La poussière du nuage présolaire sédimente et se condense dans le plan de l'écliptique – 2. Ces grumeaux de poussière se regroupent progressivement en une multitude de planétésimales – 3. Leur interaction entraîne d'importantes instabilités gravitationnelles et des collisions – 4. Un morcellement débouche sur des protoplanètes d'une centaine de km – 5. A cause des perturbations gravitationnelles, le système s'épaissit durant la période "guerre des mondes" – 6. C'est la période du nettoyage avec les grandes collisions de planètes qui conduit aux huit planètes principales. (Document B.Y. Levin).

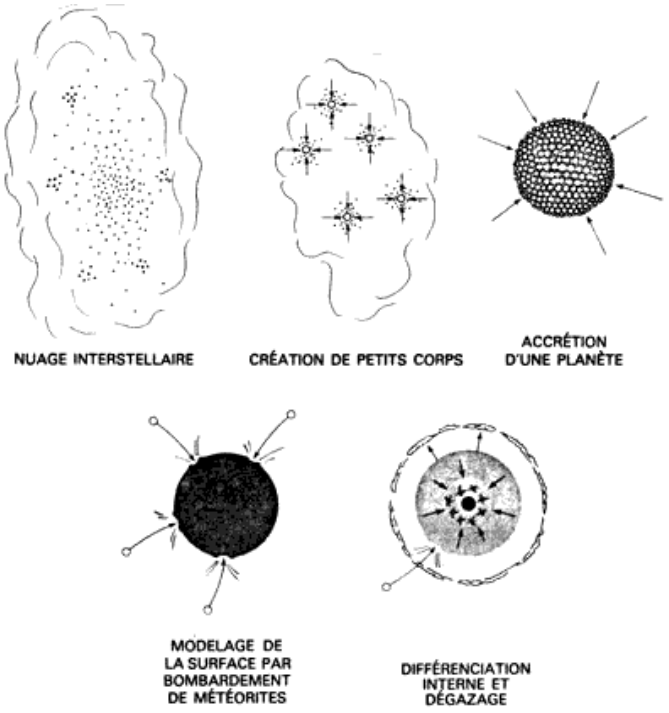


Figure 5-3. **La formation des planètes**

La figure montre les cinq grandes étapes de la formation des planètes et recouvre en partie la figure précédente. 1. Existence d'un nuage interstellaire, formé de gaz et de poussière, débris de générations antérieures d'étoiles – 2. La poussière cosmique s'agglomère en grumeaux de matière hétéroclite – 3. Ces grumeaux se regroupent à leur tour pour former des planètes – 4. Durant la "guerre des mondes", il y a un remodelage permanent de ces planètes, et notamment formation de cratères et de mers – 5. La différenciation interne s'effectue par gravité, ce qui entraîne un dégazage et la formation d'une atmosphère provisoire pour les planètes peu massives et définitive pour les autres..

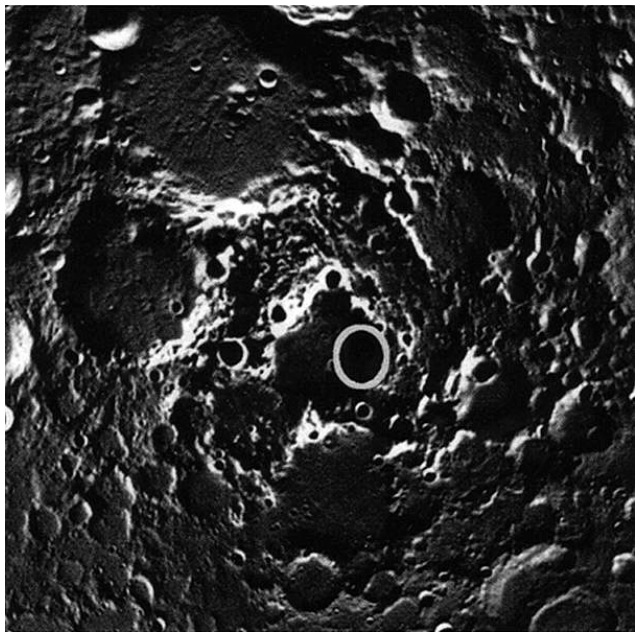


Figure 5-4. **L'impactisme lunaire : astéroïdes et comètes**

Cette photographie du pôle nord de la Lune a été obtenue en 1998 par la sonde lunaire *Lunar Prospector*. On y voit l'extraordinaire densité de cratères de toute taille. L'ovale blanc représente la fameuse région dans laquelle le spectromètre à neutrons de la sonde a trouvé des traces d'eau sous forme de glace. Cette glace d'eau a presque obligatoirement été apportée sur la Lune à l'occasion d'impacts de comètes. Et comme les cratères du pôle ne sont jamais directement chauffés par le Soleil, la glace n'a jamais fondu totalement et existe encore en petite quantité. La sonde *Lunar Prospector* a fait d'une pierre deux coups. Elle a montré l'existence d'eau sur la Lune et la probabilité qu'une partie de l'eau terrestre a été également apportée par l'impact de comètes, ce que beaucoup de scientifiques refusaient de croire. (Document U.S. Department of Defense).

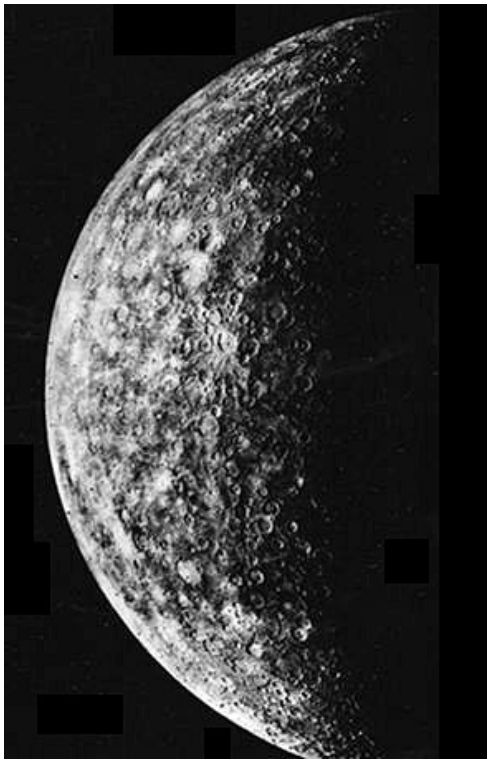


Figure 5-5. **L'impactisme planétaire : la planète Mercure**

Toutes les planètes à surface solide sont criblées de cratères, même Mercure, la planète la plus proche du Soleil dont la physionomie est assez ressemblante à celle de la Lune. (Document NASA).

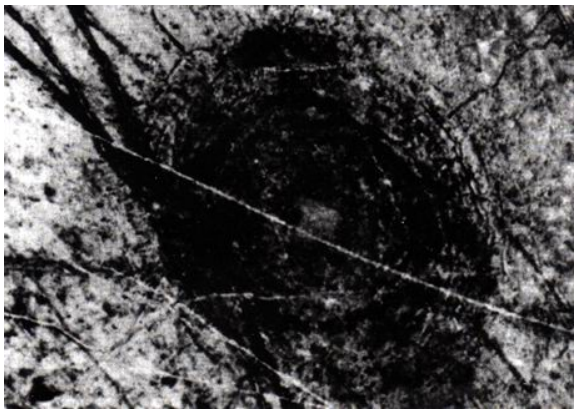


Figure 5-6. **L'impactisme planétaire : l'exemple d'Europa**

Ce cliché, pris en 1997 par la sonde *Galileo*, concerne le cratère Pwyll, que les Américains ont surnommé *bull's eye* (l'œil de taureau). Il a un diamètre de 26 km et son âge est compris entre 10 et 100 MA. Il est spectaculaire car il montre les effets d'un impact sur une surface glacée, avec de nombreuses fractures concentriques et un pic central. On sait qu'Europa, le deuxième satellite galiléen (et le plus petit : d = 3126 km) est totalement recouvert d'une carapace de glace et très peu cratérisé, contrairement à Ganymède (d = 5276 km) et surtout Callisto (d = 4820 km) dont la surface est totalement criblée par des cratères météoritiques de tous âges. (Document NASA).

Figure 5-7. **La violence de l'Univers : les étoiles variables**

Ce remarquable document, dû au spécialiste français des étoiles variables Michel Verdenet, montre l'amplitude de luminosité des différentes familles d'étoiles variables. Une amplitude de 5 magnitudes correspond à une augmentation de 100 fois pour la luminosité. Certaines novae atteignent une amplitude de 18 magnitudes et celle des supernovae est fantastique, dépassant les 25 magnitudes. L'énergie dégagée atteint des valeurs qui dépassent largement la compréhension humaine. (Document M. Verdenet).

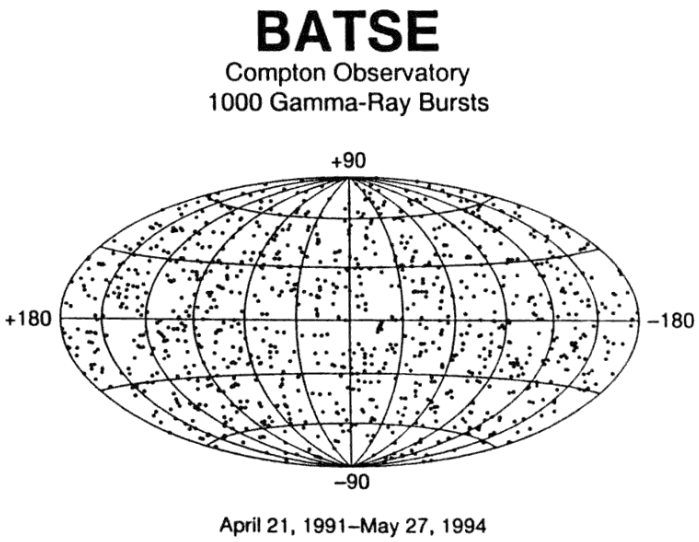


Figure 5-8. **Les sursauts gamma : une origine extragalactique**

Le formidable satellite *GRO*, et plus précisément l'un de ses instruments *BATSE*, a permis d'établir cette carte (en coordonnées galactiques) qui contient 1000 sursauts gamma enregistrés entre le 21 avril 1991 et le 27 mai 1994. Cette distribution a été totalement confirmée par les enregistrements ultérieurs. Le résultat est sans appel : les sursauts gamma sont distribués de façon isotrope, ce qui prouve définitivement leur origine extragalactique. Rien de plus logique : le cataclysme est une constante de l'Univers et les sursauts gamma ont lieu partout, aussi bien dans la Galaxie que dans les autres galaxies. L'univers est violence et cette carte en est une illustration. (Document NASA).

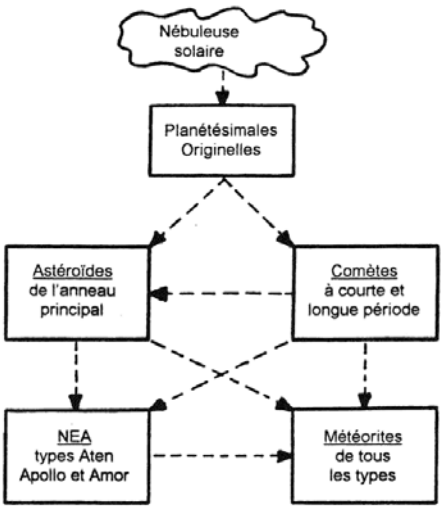


Figure 5-9. **Origine et évolution des petits corps du Système solaire**

De la nébuleuse solaire aux météorites terrestres, le parcours peut être très différent pour la matière originelle, selon sa position de départ dans la nébuleuse et l'évolution ultérieure aléatoire. Divers parcours évolutifs sont possibles comme le montre la figure. Mais à l'arrivée, tout redeviendra poussière, avant une nouvelle génération d'étoile qui poursuivra un cycle éternel.

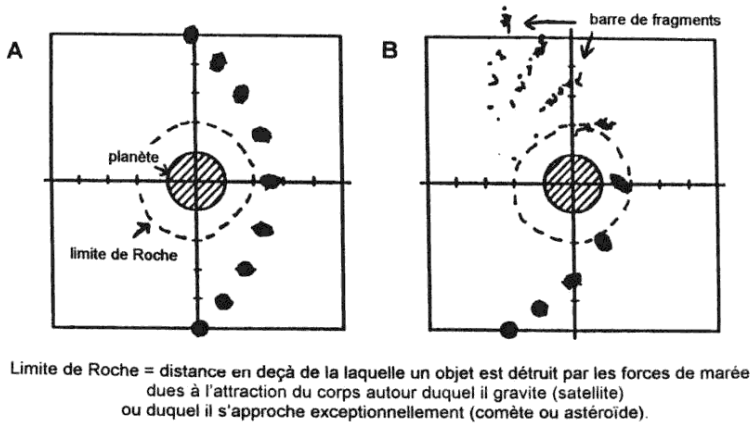


Figure 5-10. **La rupture d'un planétoïde due à une approche rasante**

Cette simulation qui date de 1985 est due à une équipe d'astronomes japonais. Elle montre la rupture d'un astéroïde, et à plus forte raison d'une comète plus fragile, passant très près d'une planète massive. En A, le planétoïde ne passe pas à l'intérieur de la limite de Roche et se trouve simplement déformé. En B, l'approche est plus serrée et a lieu à l'intérieur de la limite de Roche. Le planétoïde est brisé et ses fragments principaux s'alignent selon une barre. L'exactitude de cette remarquable simulation a été confirmée en 1993 avec la découverte des fragments de la comète Shomaker-Levy 9 tous alignés, mais s'éloignant progressivement les uns des autres. (D'après C. Hayashi *et al.*).

Figure 5-11. **SL9 : de l'objet unique au "collier de perles"**

Après sa rupture, la comète Shoemaker-Levy 9 a vu ses fragments se disperser progressivement au cours de la dernière orbite effectuée entre juillet 1992 et juillet 1994, c'est-à-dire en deux ans. Lors de sa découverte le 25 mars 1993, Eugene et Carolyn Shoemaker et David Levy ont annoncé que leur comète était "étirée". C'est surtout lors de son retour vers Jupiter que les fragments se sont de plus en plus dispersés, au point que les impacts successifs se sont étalés sur six jours (16-22 juillet 1994). Tous les observateurs ont noté que SL9 formait un extraordinaire "collier de perles", phénomène qu'on ne réobservera peut-être pas avant plusieurs milliers d'années. (D'après P. Chodas et P. Doherty).

Figure 5-12. **Les fragments de la comète SL9 en mai 1994**

Cette fantastique photo, prise le 17 mai 1994 par le télescope spatial *Hubble*, a fait le tour du monde. Elle montre les 21 fragments de la comète durant leur dernière révolution autour de Jupiter, deux mois avant l'impact final de juillet 1994. La nomenclature adoptée par l'Union Astronomique Internationale a été ajoutée pour personnaliser chacun des fragments. (Document NASA).

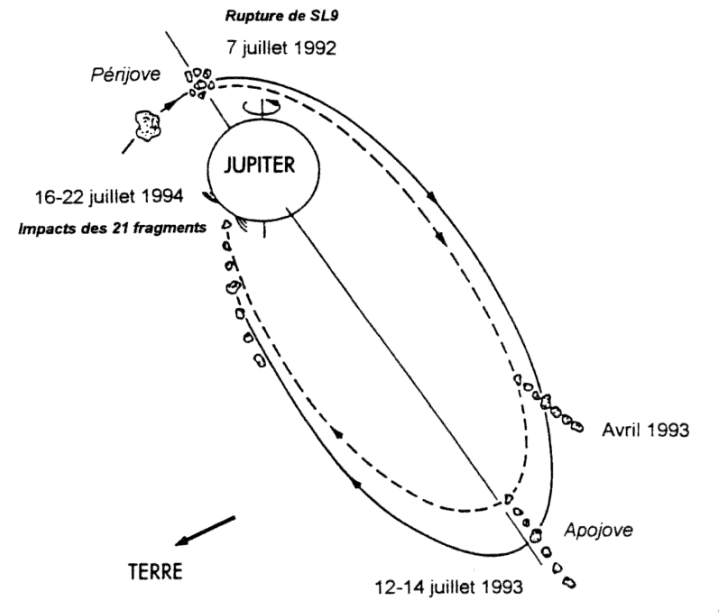


Figure 5-13. **La dernière orbite de SL9 entre juillet 1992 et juillet 1994**

Cette figure montre la dernière orbite de Shoemaker-Levy 9 autour de Jupiter dont elle était le satellite depuis la fin des années 1920. La rupture eut lieu le 7 juillet 1992 à l'occasion du passage au périjove. Le passage des divers fragments à l'apojove eut lieu entre le 12 et 14 juillet, un an plus tard. Les impacts eurent lieu encore un an plus tard entre le 16 et le 22 juillet 1994. Ainsi, en deux ans seulement, une comète a évolué du corps unique en une pluie de fragments sur Jupiter. Un événement exceptionnel. (D'après P. Chodas et P. Doherty).

Figure 5-14. **Traces d'impact de SL9 sur Jupiter**

Sur ce remarquable cliché du télescope spatial *Hubble*, plusieurs traces d'impact sont nettement visibles, causées par les fragments E, G, H, N, Q1, Q2 et R. Certaines de ces cicatrices resteront nettement visibles plusieurs semaines, avant de s'effacer progressivement et inexorablement. Sur la Lune, de tels impacts seraient restés visibles plusieurs milliards d'années. (Document NASA).

Figure 5-15. **La chaîne de craterlets Catena Davy sur la Lune**

Ce document pris par les astronautes de la sonde *Apollo 12*, en novembre 1969, montre la fameuse chaîne de craterlets lunaires alignés sur une cinquantaine de kilomètres et appelée Catena Davy (position 11° S et 7° W). Elle a été formée dans le grand cirque usé Davy Y par l'impact successif d'une vingtaine de fragments d'un même objet brisé peu avant la collision. Le cirque à gauche est Davy et le cratère récent qui rompt son enceinte est Davy A. Le nord est en haut à droite. C'est un phénomène analogue à celui qui a concerné la comète SL9 en juillet 1994, mais avec une sérieuse différence en ce qui concerne la trace des impacts. Dans l'atmosphère de Jupiter, elles ont été observables quelques semaines, se déformant sans cesse avant de s'estomper et de disparaître, alors que les craterlets lunaires seront observables tant qu'ils ne seront pas détruits à leur tour par des impacts ultérieurs. (Document NASA).

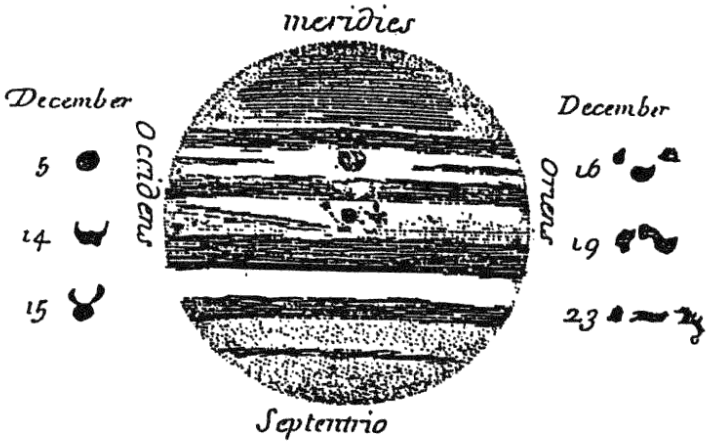


Figure 5-16. **Un impact de comète sur Jupiter en 1690 ?**

Ce dessin, dont l'original existe encore dans les archives de l'Observatoire de Paris, est dû à Jean-Dominique Cassini et date de décembre 1690. Le 5 décembre, Cassini observa un gros point noir suspect au centre de Jupiter, point qu'il réobserva déformé les 14, 15, 16, 19 et 23 décembre, et dont il dessina l'aspect successif. On pense aujourd'hui, suite à l'impact de la comète Shoemaker-Levy 9 en juillet 1994 sur cette même planète, qu'il pourrait s'agir déjà de l'impact d'une comète. C'est l'astronome japonais Isshe Tabe qui, à l'occasion d'une étude sur les phénomènes atmosphériques de Jupiter, a exhumé ce remarquable dessin de Cassini. Cette observation ancienne semble prouver que l'impactisme planétaire est une constante qui se renouvelle au fil des siècles, au hasard des approches et des captures de comètes et d'astéroïdes, non seulement avec Jupiter, mais aussi avec toutes les autres planètes du Système solaire. (Document *Sky and Telescope*).

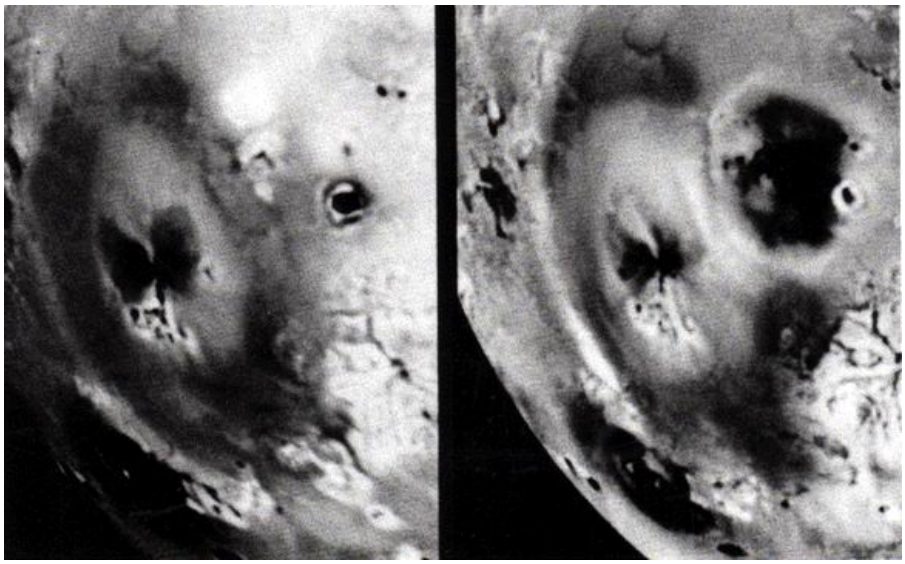


Figure 5-17. **Volcanisme dans le Système solaire**

Quand on parle de volcanisme dans le Système solaire, on pense évidemment à Io, le premier satellite galiléen de Jupiter (d = 3632 km) sur lequel la violence et le cataclysme sont permanents. Ces deux images obtenues par la sonde *Galileo*, la première en avril 1997 et la deuxième en septembre de la même année, montrent les transformations extraordinaires dues au volcan Pillan Patera. Durant cet intervalle de quelques mois, le volcan a créé une tâche de près de 400 km de diamètre avec les produits éjectés. La transformation de ce satellite est quasi journalière et Io est un excellent exemple de la permanence de la violence au niveau local, que l'on retrouve également sur la Terre mais avec une intensité moindre. (Document NASA).

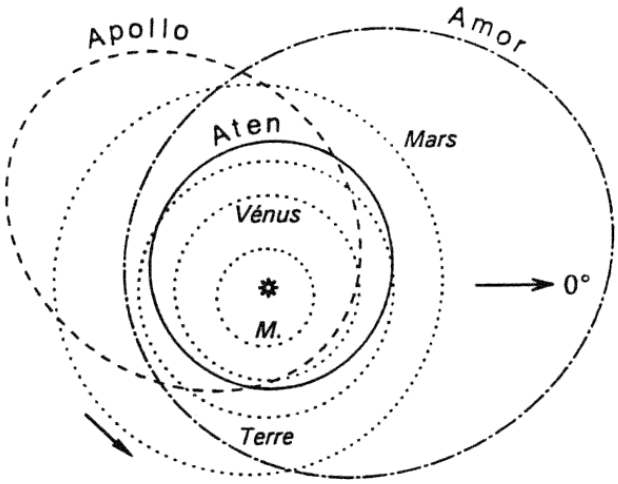


Figure 6-1. **Les trois types de NEA**

Aten, Apollo et Amor sont les prototypes des trois grandes catégories de NEA, appelés aussi objets AAA, du nom de ces astéroïdes. Les objets des types Aten et Apollo croisent l'orbite terrestre (on les appelle aussi les *géocroiseurs*), ce qui n'est pas le cas des objets du type Amor.

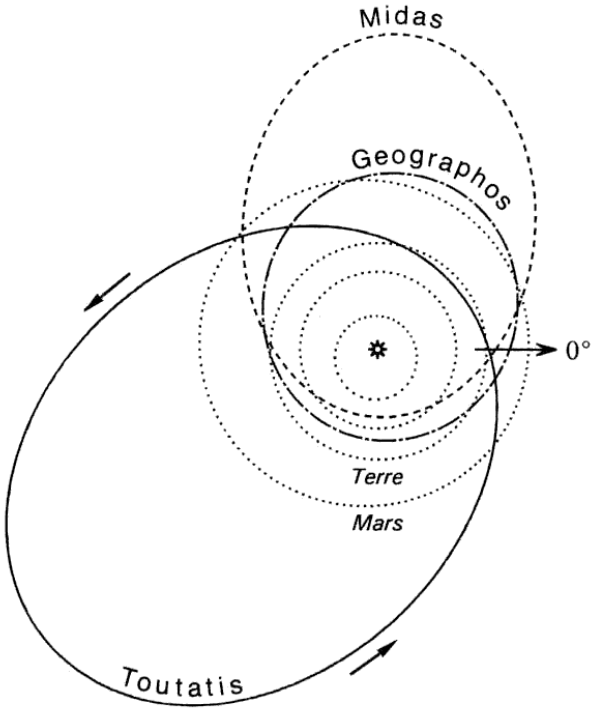


Figure 6-2. **Les sous-types de NEA de type Apollo**

Les sous-types sont fonction de la valeur des demi-grands axes des types Apollo et Amor. Geographos est de sous-type 1 (puisqu'il circule en moyenne entre la Terre et Mars). Midas est de sous-type 2 (il circule en moyenne entre Mars et l'anneau principal des astéroïdes). Toutatis est de sous-type 3 (il fait partie de cet anneau principal). Ces trois objets sont de type Apollo puisqu'ils pénètrent à l'intérieur de l'orbite terrestre.

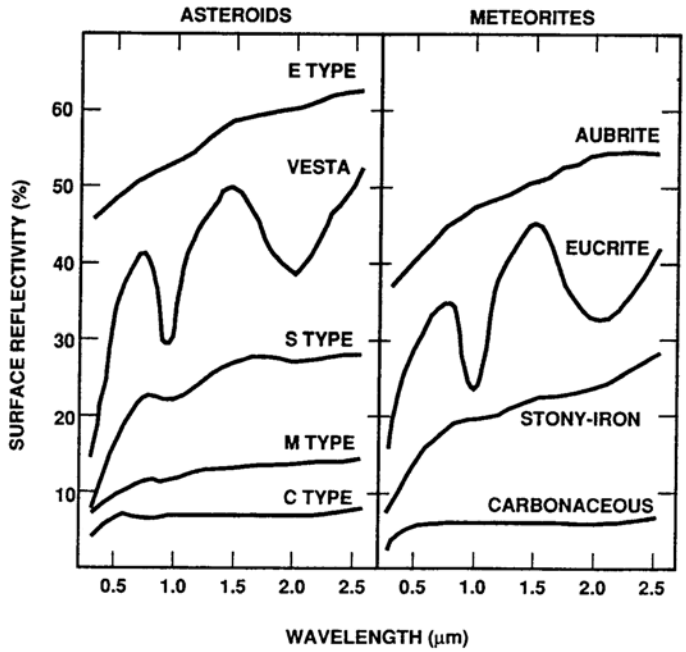


Figure 6-3. **Comparaison entre les spectres des astéroïdes et des météorites**

Depuis les années 1970, on sait que le spectre de certains astéroïdes est très proche des météorites terrestres et que l'origine est commune. Ainsi le spectre de Vesta et celui des eucrites est similaire, montrant que celles-ci sont des fragments de l'astéroïde parvenus jusqu'à nous. (Document *The Spaceguard Survey*/C. Chapman).

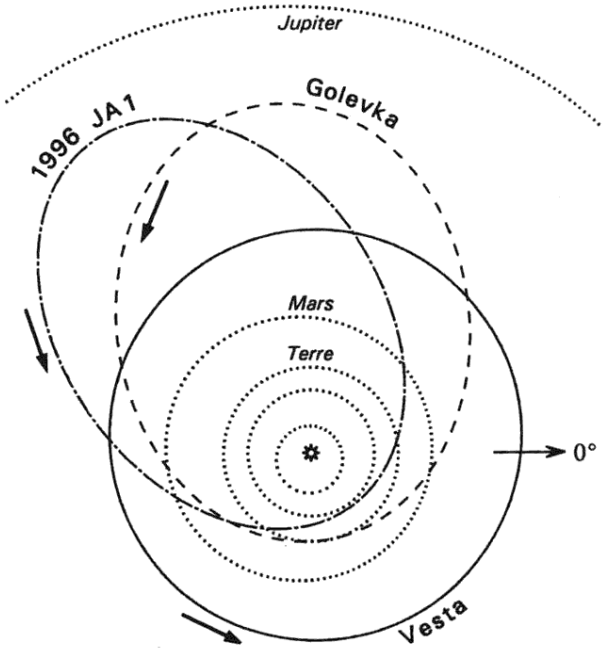


Figure 6-4. **NEA, éclats d'un astéroïde**

Golevka et 1996 JA1 sont des éclats de Vesta, l'astéroïde n° 4, générateur des eucrites de nos collections de météorites. Piégés dans la lacune 1/3, les deux NEA ont vu leur orbite devenir chaotique et leur excentricité augmenter dans des proportions telles que des fortes approches à la Terre deviennent possibles, puis réelles.

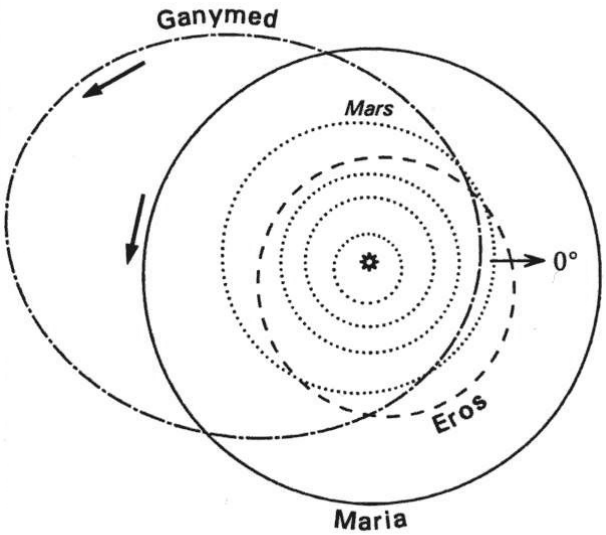


Figure 6-5. **NEA, fragments d'un astéroïde brisé**

Ganymed et Eros, les deux plus gros NEA connus, sont peut-être issus de la fragmentation du même astéroïde, le proto-MARIA, qui a également engendré une des familles d'astéroïdes, celle de Maria. Aujourd'hui, seules les propriétés physiques des uns et des autres permettent d'envisager une origine commune.

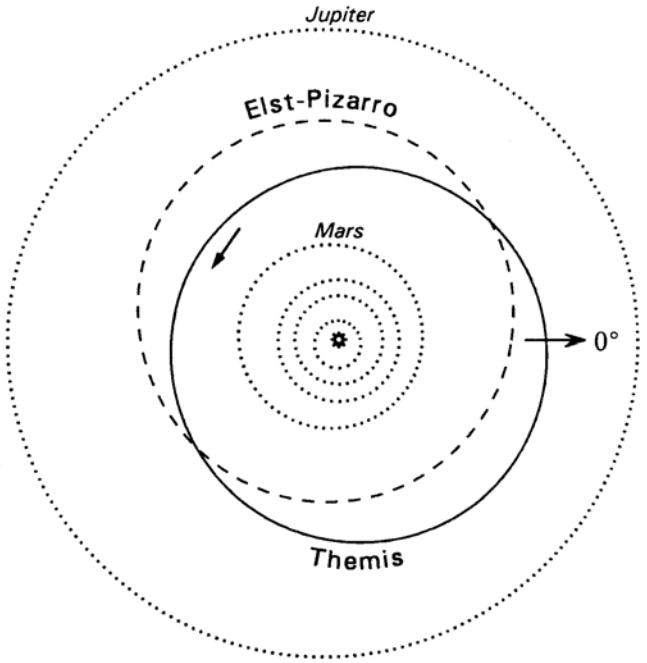


Figure 6-6. **Astéroïde cométaire, membre d'une famille d'astéroïdes**

Elst-Pizarro a eu un sursaut cométaire en 1996, suite à une collision dans l'espace, alors qu'en temps ordinaire, il s'agit d'un astéroïde de la famille Themis. Cet objet est la preuve que des astéroïdes cométaires peuvent rester *en sommeil* durant une longue période, mais que leurs éléments volatils ne sont pas totalement épuisés.

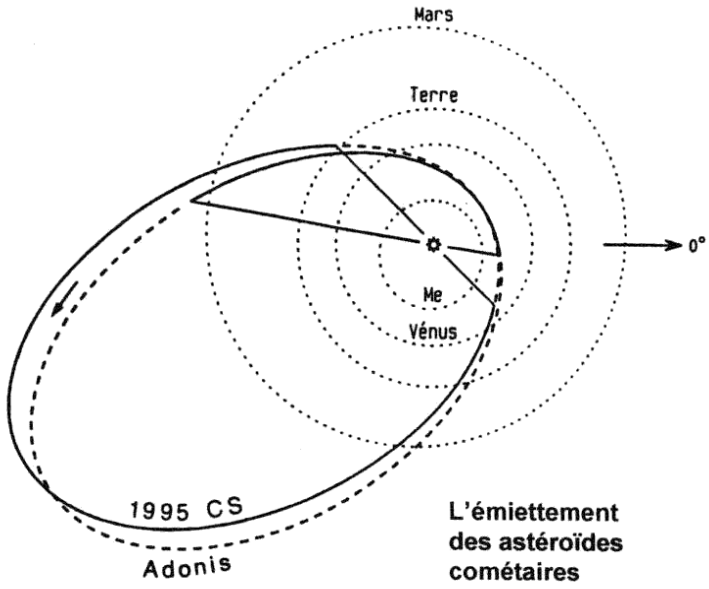


Figure 6-7. **L'émiettement des astéroïdes cométaires**

Adonis et 1995 CS sont deux astéroïdes jumeaux séparés l'un de l'autre depuis quelques milliers d'années seulement. Leurs éléments orbitaux sont quasiment identiques. On pense que 1995 CS qui a 30 mètres de diamètre pourrait être un fragment détaché d'Adonis, qui a 600 mètres de diamètre environ, à la suite d'une rupture due aux forces de marée subies à l'occasion d'une très forte approche à l'une des planètes intérieures, et non à la suite d'un choc dans l'espace. Tous les deux sont probablement des fragments d'un objet beaucoup plus gros, HEPHAISTOS, l'ancien centaure qui depuis sa fracture initiale s'émiette inexorablement au fil du temps.

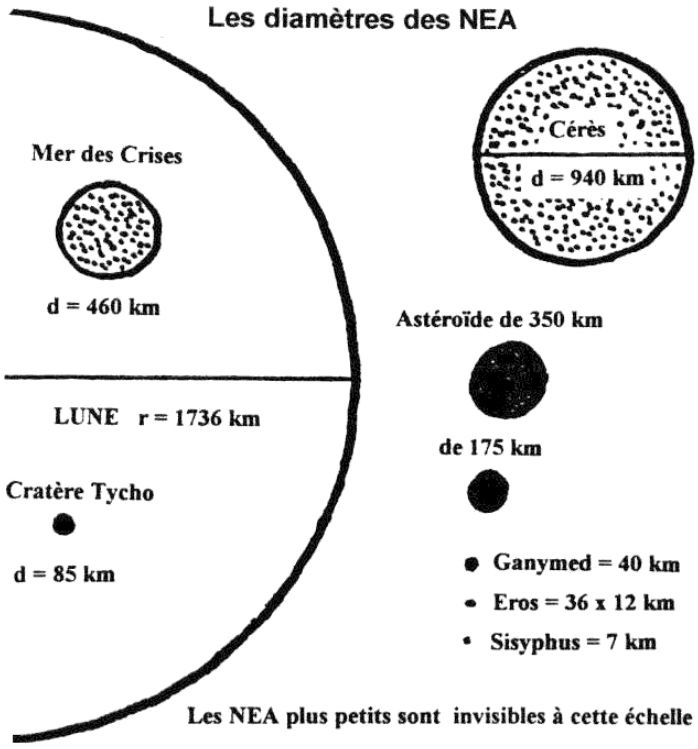


Figure 6-8. **Diamètres comparés de la Lune, Cérès et de NEA**

Les NEA sont des objets minuscules. Les deux plus gros : Ganymed (40 km) et Eros (36 × 12 km) sont insignifiants par rapport aux gros astéroïdes, et bien sûr à la Lune. Un cratère comme Tycho est creusé par un NEA de 2 ou 3 km de diamètre, la mer des Crises par un NEA comme Eros. Comme le rappelle le texte de la figure, les NEA ordinaires de taille kilométrique sont invisibles à cette échelle. Même si l'énergie qu'ils dégagent paraît colossale à l'échelle humaine, elle est nulle à l'échelle galactique.

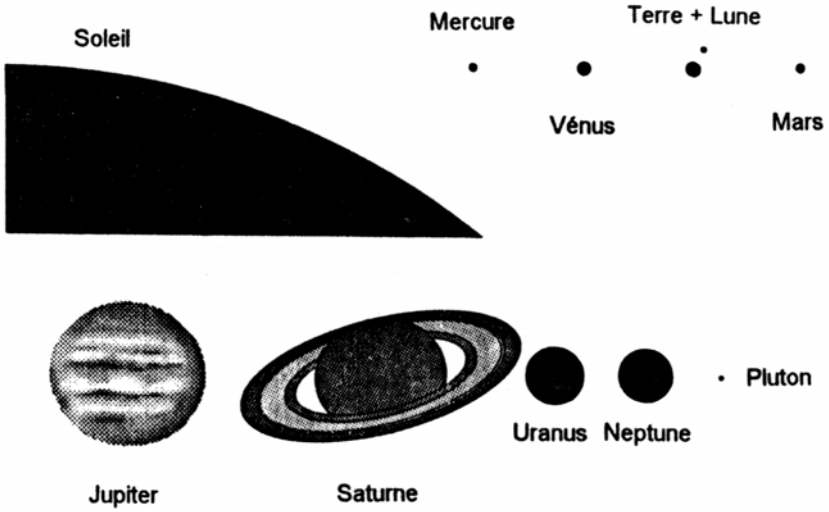


Figure 6-9. **Les NEA : de la poussière cosmique à l'échelle astronomique**

Tout est relatif en astronomie. La Lune qui prend la moitié de la figure précédente est réduite à un point dans celle-ci. Cela doit rappeler que tous les petits corps du Système solaire ne sont que de la poussière cosmique et que le Soleil est le seul objet d'envergure puisqu'il contient à lui seul 999/1000 de la masse totale. Soleil qui lui-même n'existe pratiquement plus à l'échelle de la Galaxie et n'existe plus du tout à l'échelle extragalactique.

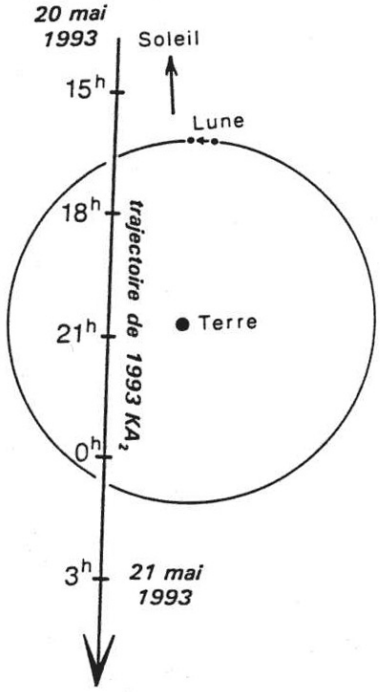


Figure 6-10. **L'approche de 1993 KA_2 à la Terre le 20 mai 1993**

La figure montre la trajectoire de 1993 KA2 du 20 mai 1993, 15 h, au 21 mai, 3 h, avec trois positions intermédiaires (tous les instants sont en Temps Universel). Il faut préciser que cette trajectoire est celle par rapport à la Terre, qui elle-même se meut autour du Soleil. Il ne faudrait pas croire que l'astéroïde s'éloigne presque radialement du Soleil ! La circonférence représente l'orbite de la Lune autour de la Terre. On voit ainsi que notre satellite a été frôlé (à 0,0013 UA, le 20,7 mai) avant la Terre (à 0,0010 UA, soit 150 000 km, le 20,9 mai). 1993 KA_2 est une poussière cosmique (5 mètres de diamètre environ seulement).

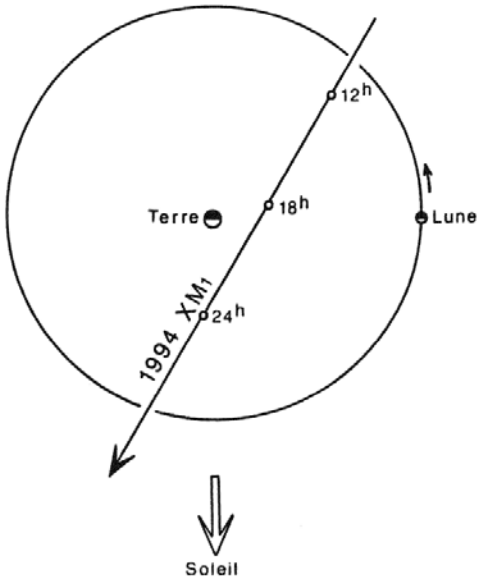


Figure 6-11. **L'approche de 1994 XM_1 à la Terre le 9 décembre 1994**

La figure montre la trajectoire de 1994 XM_1 dans le système Terre-Lune le 9 décembre 1994. Elle donne trois positions pour 12 h, 18 h et 24 h en Temps Universel. La plus forte approche à la Terre a eu lieu à 19,00 h à 0,0007 UA (105 000 km). A l'instant du minimum de distance entre l'astéroïde et la Terre, sa vitesse était considérable : 1 degré toutes les 3 minutes. Comme 1993 KA_2, 1994 XM_1 est une poussière cosmique de l'ordre d'une dizaine de mètres de diamètre seulement. Pour la clarté du dessin, les diamètres de la Terre et de la Lune (qui était en Premier Quartier le 9 décembre 1993) ont été exagérés.

Figure 6-12. **Les variations orbitales de Toutatis**

Toutatis est un EGA d'un très grand intérêt qui a six approches serrées entre 1992 et 2012. La figure due à l'astronome belge Edwin Goffin montre les variations des divers éléments orbitaux, variations consécutives à de sévères perturbations, notamment celles de 2004. Toutatis est un astéroïde en libration dans la lacune 1/3 et son orbite est chaotique. On ne peut prévoir son mouvement futur qu'à court terme, c'est-à-dire quelques centaines d'années seulement. A moyen terme, il s'agit d'un objet extrêmement dangereux pour la Terre, et nos successeurs devront peut-être le détruire dans l'avenir pour éviter une collision qui serait cataclysmique. (Document E. Goffin).

Figure 6-13. **Toutatis, un astéroïde binaire**

Ce remarquable document reconstitue la rotation de Toutatis en 30 images radar, obtenues par Scott Hudson et Steven Ostro en décembre 1992 aux observatoires de Goldstone et Arecibo, à l'occasion de sa très forte approche à la Terre. Il apparaît que Toutatis est un objet binaire oblong de 4,60 × 2,40 × 1,92 km. Sa rotation s'effectue en 5,41 jours autour du grand axe avec une précession de cet axe de 7,35 jours. Chaque rangée de 8 images couvre 2 jours et la séquence totale 7,25 jours. La lettre R (R1, R2, R3) représente les bosses et la lettre C (C1, C2) les cratères d'impact. Le grand lobe a été désigné L1 et le petit L2. La petite barre en bas à droite vaut 1 km. (Document S.Ostro).

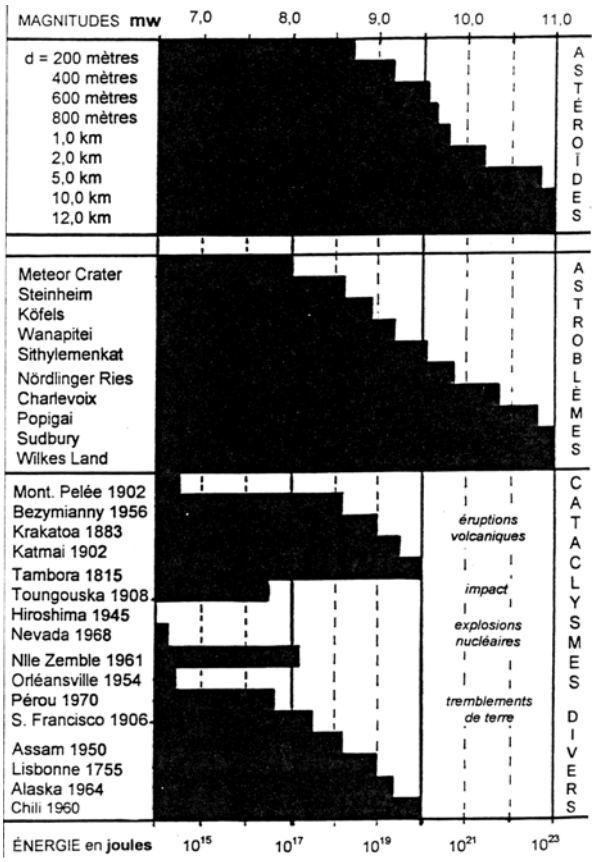


Figure 6-14. **L'énergie comparée des impacts et des cataclysmes terrestres**

Cette figure que nous avions déjà publiée dans *La Terre bombardée* (sous une forme un peu différente) montre l'énergie comparée des astéroïdes, des astroblèmes et de quelques cataclysmes terrestres et humains (explosions nucléaires). Pour approximatifs qu'ils soient, les chiffres sont clairs : les grands impacts n'ont pas d'équivalents terrestres. La frontière des cataclysmes terrestres se trouve à la magnitude mw = 9,5 et à l'énergie Ec = 10^{20} joules. Les références sont l'éruption du Tambora en 1815 et le séisme du Chili en 1960. En gros c'est l'équivalent d'un impact d'astéroïde de 600 mètres. On voit tout le mal que pourrait causer à notre planète et à l'humanité l'impact d'un objet de 2 km de diamètre.

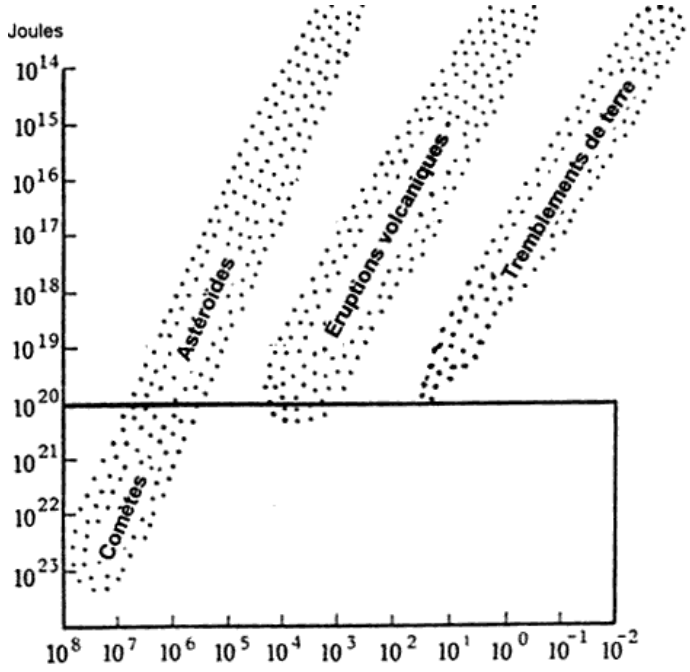


Figure 6-15. **Fréquence et énergie des grandes catastrophes naturelles**

Cette figure montre d'une façon schématique et approximative la fréquence et l'énergie des grandes catastrophes qui peuvent affecter la surface terrestre. Il est clair que les impacts d'astéroïdes et surtout de comètes sont plus rares et plus énergétiques que les grands cataclysmes terrestres comme les éruptions volcaniques et les tremblements de terre. Pour ces deux grandes familles, la limite supérieure en énergie est de l'ordre de 10^{20} joules, encore qu'exceptionnellement certaines éruptions cataclysmiques (comme celle de Toba il il y 75 000 ans) peuvent dépasser largement cette limite. Certaines comètes non périodiques venues du nuage de Oort et du disque de Kuiper peuvent à l'échelle de 10 MA dépasser les 10^{23} joules, surtout si leur orbite est rétrograde et leur vitesse de l'ordre de 60 km/s.

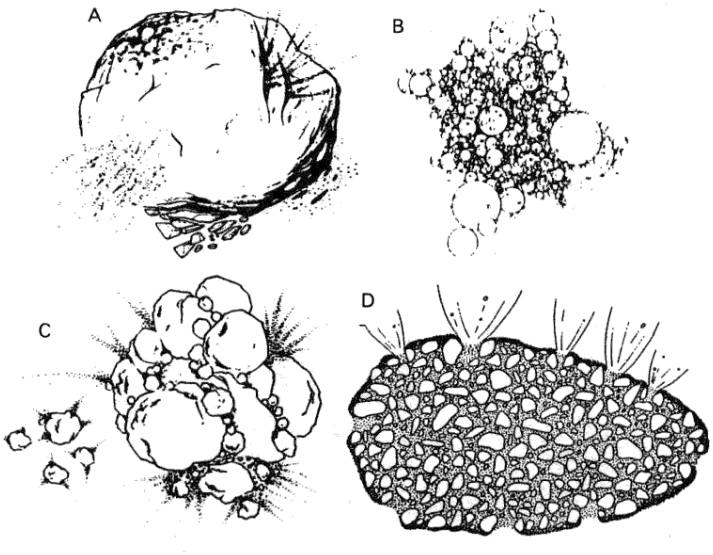


Figure 7-1. **Quatre modèles de structure de noyaux cométaires**

On sait que les noyaux de comètes peuvent être de composition et de structure assez diverses. La figure montre quatre structures considérées comme possibles, mais il en est d'autres : A = le conglomérat de glace ; B = l'agrégat de flocons à structure fractale ; C = l'amoncellement de débris primitifs ; D = le modèle composite formé de blocs réfractaires collés dans une matrice de glace. (Document B. Donn).

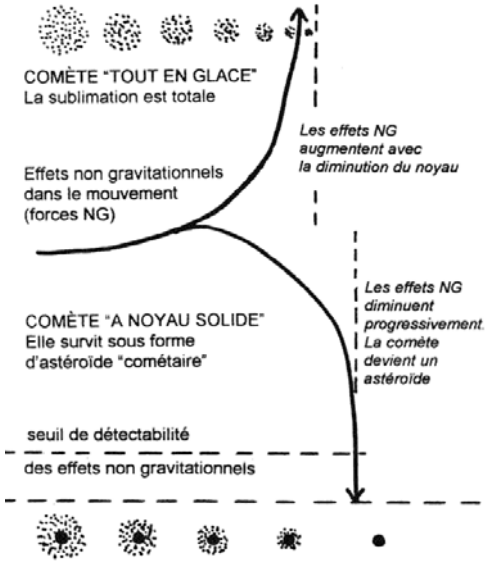


Figure 7-2. **L'évolution d'un noyau cométaire "tout en glace" et "à noyau solide"**

Dans le modèle "tout en glace", la comète n'a pas de noyau solide et la sublimation est totale. La comète ne survit pas. Dans le modèle "à noyau solide", au contraire, le noyau interne survit à la sublimation des éléments volatils. Ce noyau devient un astéroïde cométaire. (D'après Z. Sekanina).

Figure 7-3. **Première photographie du noyau d'une comète**

Cette célèbre photographie est celle du noyau de la comète de Halley, prise en mars 1986 par la sonde européenne *Giotto*. En fait, il s'agit d'un cliché composite regroupant six images séparées prises par la *Multicolor Camera* à des distances comprises entre 2730 et 14 430 kilomètres. Ce tour de force technique a été réalisé par l'équipe du Max-Planck-Institut für Aeronomie de Lindau/Hartz en Allemagne. Le résultat est impressionnant. On voit que la partie active, qui ne dépassait pas 10 % de la surface totale du noyau, est celle chauffée par le Soleil. (Document H.U. Keller/ESA).

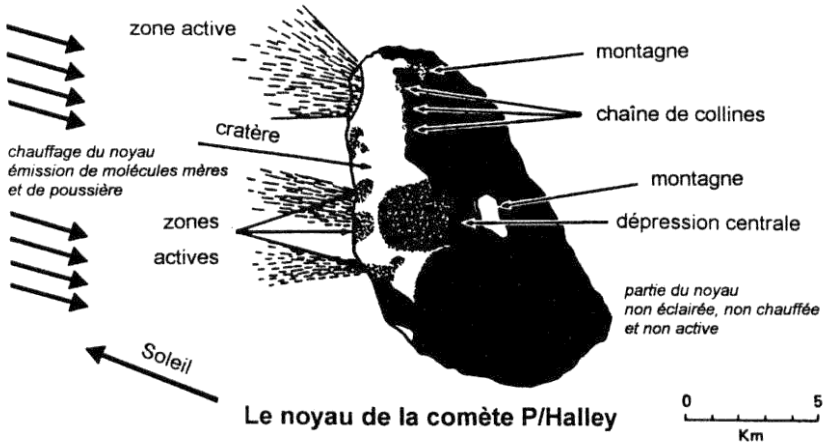


Figure 7-4. **Le noyau de la comète P/Halley**

L'examen attentif de la phographie précédente a permis aux spécialistes d'obtenir pour la première fois des renseignements très importants sur le noyau d'une comète. Celui de la comète P/Halley s'est avéré plus gros que prévu : 16 km sur 8 km, du fait d'un albédo très faible (0,04 seulement). La surface de ce noyau est très irrégulière et seules quelques petites zones éclairées étaient actives en mars 1986. Mais il est sûr que cette activité durera encore (sauf désintégration toujours possible) pendant plusieurs dizaines de milliers d'années. (D'après un document de l'ESA).

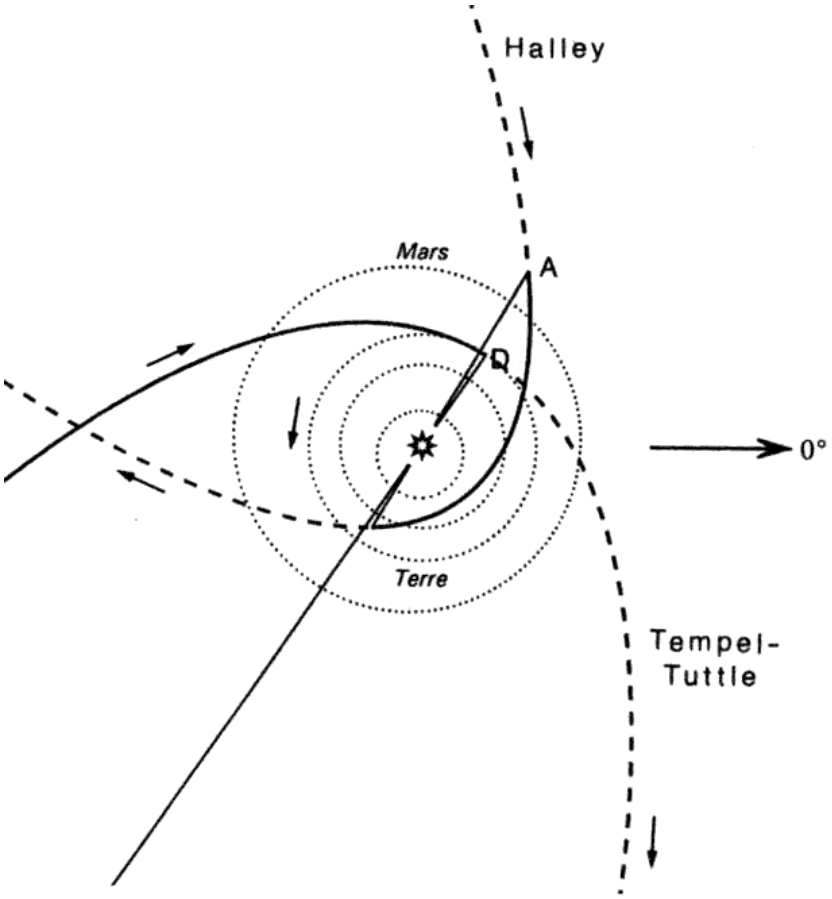


Figure 7-5. **Les orbites de P/Halley et de P/Tempel-Tuttle**

Ces deux comètes ont eu de fortes approches à la Terre : Halley en 374, 607 et 837 et Tempel-Tuttle en 1366 et 1699. Elles ont la particularité de se mouvoir dans le sens rétrograde. Les parties des orbites situées au sud du plan de l'écliptique sont dessinées en tirets. Les lignes des nœuds des deux orbites coïncident presque, mais les nœuds ascendants diffèrent de presque 180 degrés. ***A*** est le nœud ascendant de la comète Halley qui est passée au périhélie en février 1986. ***D***, le nœud descendant de la comète Tempel-Tuttle, qui est passée au périhélie en février 1998 et qui est la comète mère des Léonides, se trouve au voisinage immédiat de l'orbite terrestre.

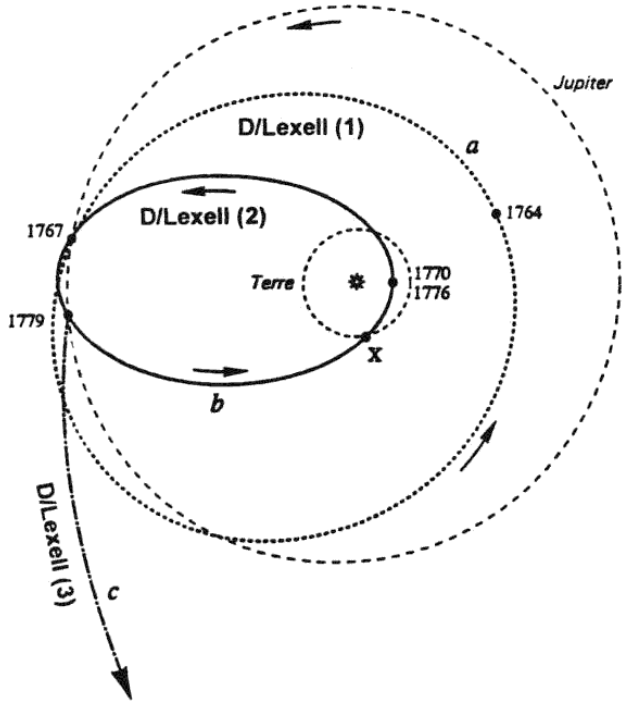


Figure 7-6. **L'orbite de la comète D/Lexell entre 1760 et 1780**

D/Lexell est une comète exceptionnelle et qui a joué un rôle important dans la montée des idées catastrophistes de l'époque, quand on apprit qu'elle avait frôlé la Terre le 1er juillet 1770. La figure raconte son histoire mouvementée.

Cette comète a changé trois fois d'orbite en moins de 20 ans. Avant 1767 *(Lexell 1)*, elle suivait l'orbite (***a***). Sa période de révolution était de 9,23 ans, et sa distance périhélique relativement grande (2,90 UA) l'empêchait d'être aisément visible depuis la Terre. Le dernier passage sur cette orbite eut lieu le 18 mars 1764 (position marquée 1764).

Le 27 mars 1767, la comète passa à 0,020 UA de Jupiter et son orbite fut profondément modifiée *(Lexell 2)*. La nouvelle orbite (***b***), beaucoup plus excentrique, amena le périhélie à l'intérieur de l'orbite de Vénus. Le 1er juillet 1770, la comète fit sa fameuse approche record à 0,015 UA seulement de la Terre (au point marqué X). Le passage au périhélie eut lieu le 14 août 1770. Sur cette nouvelle orbite, la période de révolution était de 5,60 ans. Il faut noter que l'approche record eut lieu *lors du premier passage* sur la nouvelle orbite. Lors du retour suivant (périhélie le 22 mars 1776), la comète ne fut pas observée parce que la Terre était mal placée.

Le 2 juillet 1779, la comète repassa près de Jupiter, et cette fois à 0,002 UA seulement (300 000 km). Son orbite fut donc une nouvelle fois profondément modifiée *(Lexell 3).* Le périhélie de la nouvelle orbite (***c***) prit la place de l'aphélie de l'ancienne, près de l'orbite de Jupiter, avec une distance aphélique de l'ordre de 80 UA. D/Lexell n'a jamais été réobservée, mais le sera peut-être dans le futur.

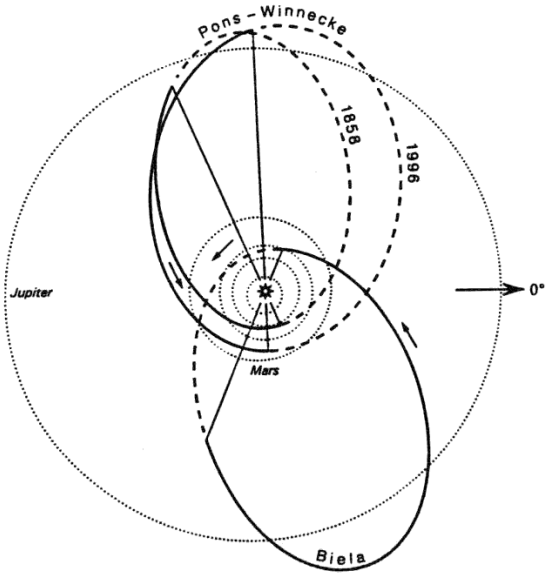


Figure 7-7. **Les orbites de D/Biela et P/Pons-Winnecke**

Ces deux comètes à courte période ont eu également de fortes approches à la Terre : Biela en 1805 et Pons-Winnecke en 1927. Les droites passant par le Soleil (l'étoile centrale) sont les lignes des nœuds. Pour la comète Biela, la figure montre l'orbite de 1852, celle de la dernière apparition observée : à ce moment, la comète était déjà scindée en deux morceaux. Pour la comète Pons-Wnnecke, la figure montre les orbites de 1858 et de 1996. En 1858, le périhélie se trouvait à proximité de l'orbite de Vénus (q = 0,77 UA). Depuis, en raison des perturbations très sévères subies par cette comète lacunaire, la distance périhélique a très fortement augmenté (de près de 0,50 UA).

Figure 7-8. **Variations orbitales pour quatre comètes périodiques**

Pour quatre comètes périodiques : 3D/Biela, 7P/Pons-Winnecke, 26P/Grigg-Skjellerup et 43P/Wolf-Harrington, on voit les très fortes variations orbitales subies à l'occasion d'approches aux planètes, de perturbations gravitationnelles et/ou non gravitationnelles. A noter surtout, en moins de 200 ans, les extraordinaires perturbations subies par P/Pons-Winnecke dont le mouvement est en résonance (1/2) avec celui de Jupiter. (D'après B. Marsden et G.V. Williams).

Figure 7-9. **Le disque de Kuiper : une nouvelle population d'objets**

Une multitude de corps célestes : comètes, astéroïdes, objets mixtes circulent dans le disque de Kuiper entre 38 et 100 UA. On commence à découvrir les plus gros, tous de plus de 100 km de diamètre. Les deux premiers découverts : 1992 QB_1 et 1993 FW figurent à l'endroit où ils se trouvaient le 1er janvier 1998. A noter qu'ils appartiennent à la partie interne du disque et donc sont plus faciles à observer.

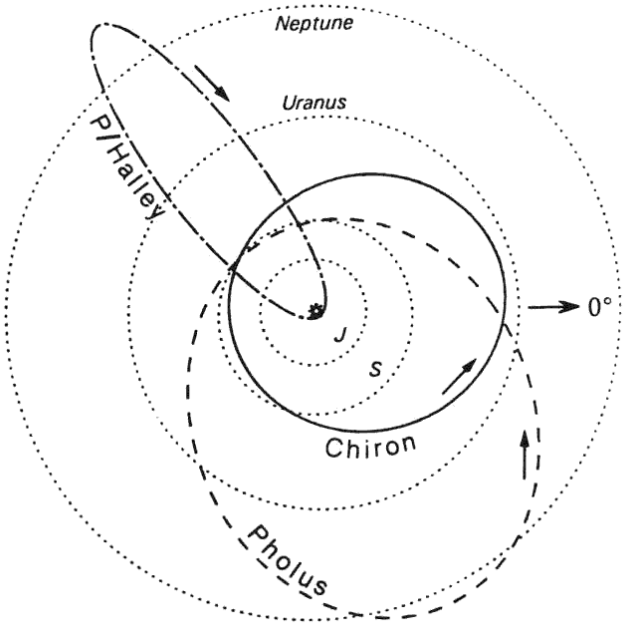


Figure 7-10. **La région des centaures et P/Halley**

La figure montre les orbites des deux premiers centaures recensés : Chiron et Pholus, qui circulent sur des orbites directes instables et chaotiques et qui verront leur période diminuer dans l'avenir. On peut comparer avec l'orbite de P/Halley, beaucoup plus excentrique et rétrograde, qui l'amène près du Soleil au périhélie, alors que Chiron et Pholus ne pénètrent pas encore à l'intérieur de l'orbite de Jupiter.

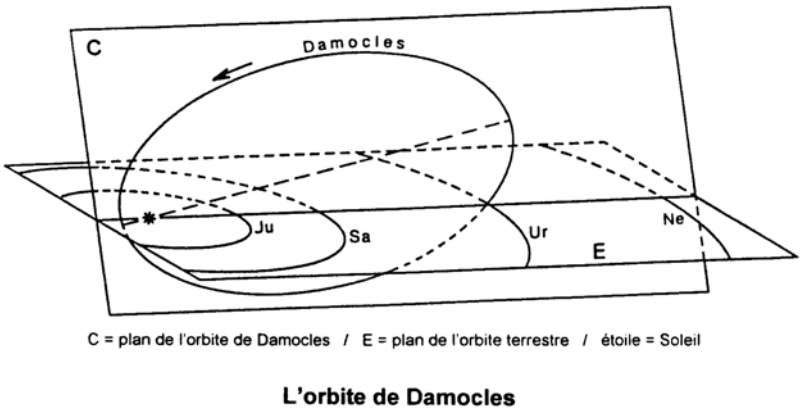


Figure 7-11. **Damocles : du nuage de Oort à la banlieue solaire**

Ce très remarquable objet, ancienne comète venue du nuage de Oort, a probablement été capturé par Uranus, planète dont il frôle l'orbite au nœud ascendant. Il est aujourd'hui totalement dégazé et donc catalogué comme un astéroïde. Il circule sur une orbite chaotique à très forte excentricité et très forte inclinaison. L'évolution prévisible de son orbite fera de lui un NEA dans l'avenir. Il est le prototype des " objets dangereux venus d'ailleurs " et pourrait bien s'avérer très dangereux pour les planètes intérieures d'ici quelques dizaines de milliers d'années. Il a environ 15 km de diamètre et, compte tenu de sa vitesse, sa force de destruction pourrait être prodigieuse.

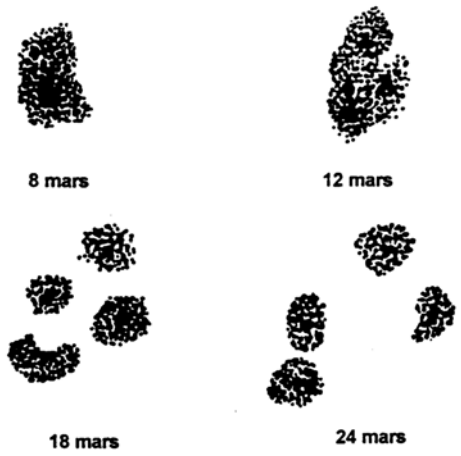


Figure 7-12. **Fragmentation de la comète West en 1976**

La fragmentation est un phénomène courant pour une comète qui s'approche trop près du Soleil. En mars 1976, la comète West s'est dans un premier temps scindée en quatre fragments qui ont chacun développé leur propre queue. Ces fragments avaient un spectre identique, ce qui signifie une composition chimique homogène pour la comète mère. Ils étaient obligatoirement voués à une désintégration ultérieure. Ainsi disparaissent certaines comètes, vieilles pourtant de plusieurs milliards d'années.

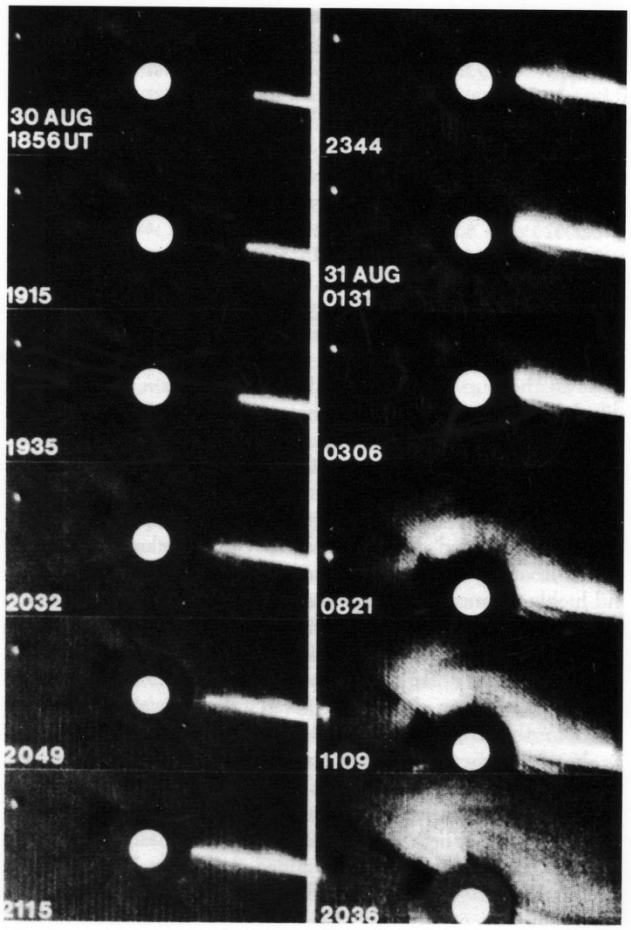


Figure 7-13. **La mort d'une comète : collision avec le Soleil**

Ce remarquable document montre, en douze photographies prises les 30 et 31 août 1979 par le satellite solaire *Solwind*, l'impact de la comète Solwind 1 avec le Soleil. Cette comète n'est en fait que l'un des innombrables fragments de la comète apparue à l'époque d'Aristote, fracturée une première fois en 371 av. J.-C., qui tous frôlent ou entrent en collision à leur passage au périhélie. (Document Naval Research Laboratory).

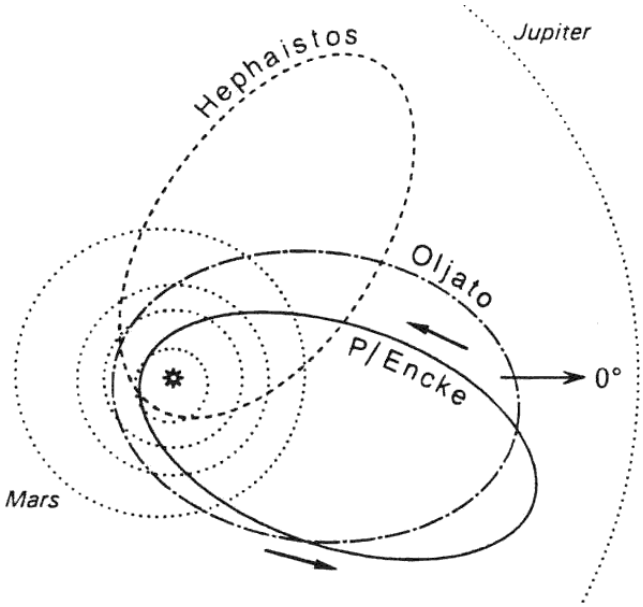


Figure 7-14. **Les orbites de Hephaistos, Oljato et P/Encke**

Ces trois objets (deux astéroïdes cométaires et une comète active) sont des résidus du proto-HEPHAISTOS, le centaure capturé dans le Système solaire intérieur et qui s'est fragmenté il y a quelques dizaines de milliers d'années. Hephaistos est le membre principal du groupe du même nom *HEPHAISTOS*. Les deux autres font partie du groupe *ENCKE* et ne formaient encore qu'un seul objet (cométaire) il y a 10 000 ans.

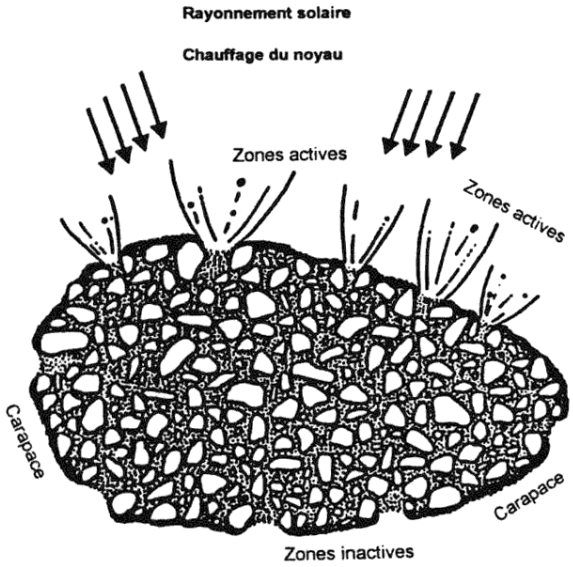


Figure 7-15. **Structure d'un noyau cométaire mixte**

Le modèle mixte est un noyau à l'intérieur duquel des blocs réfractaires de toute taille sont collés dans une matrice de glaces enveloppée d'une carapace de silicates. Seules certaines petites zones exposées au rayonnement solaire sont susceptibles de présenter une activité cométaire. Les zones non exposées restent inactives. En cas de désintégration, les blocs réfractaires reprennent leur autonomie et présentent un aspect astéroïdal. Ils n'ont jamais eu, en ce qui les concerne, d'activité cométaire. Ce modèle mixte pourrait concerner une partie des objets du disque de Kuiper, et donc par extension les centaures qui en sont originaires. Ce modèle est cohérent avec les composants hétéroclites du centaure HEPHAISTOS, dont certains fragments sont cométaires et d'autres non.

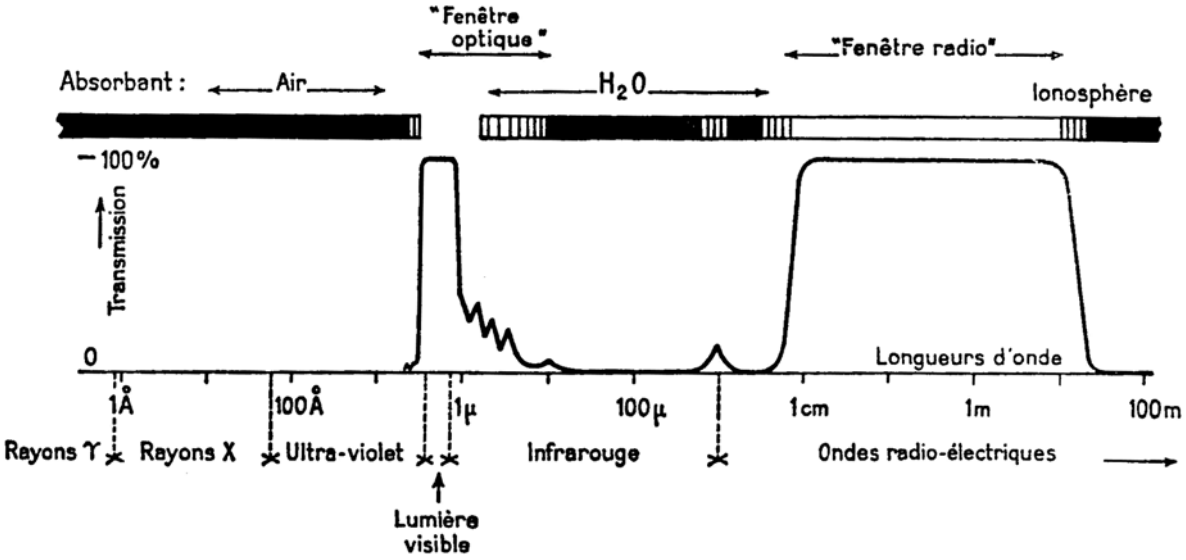


Figure 8-1. **La gamme des rayonnements électromagnétiques**

Cette figure montre toute la gamme des rayonnements électromagnétiques ainsi que les différentes fenêtres terrestres. On voit que la fenêtre optique est très étroite et que la grande majorité des rayonnements n'atteignent pas le sol.

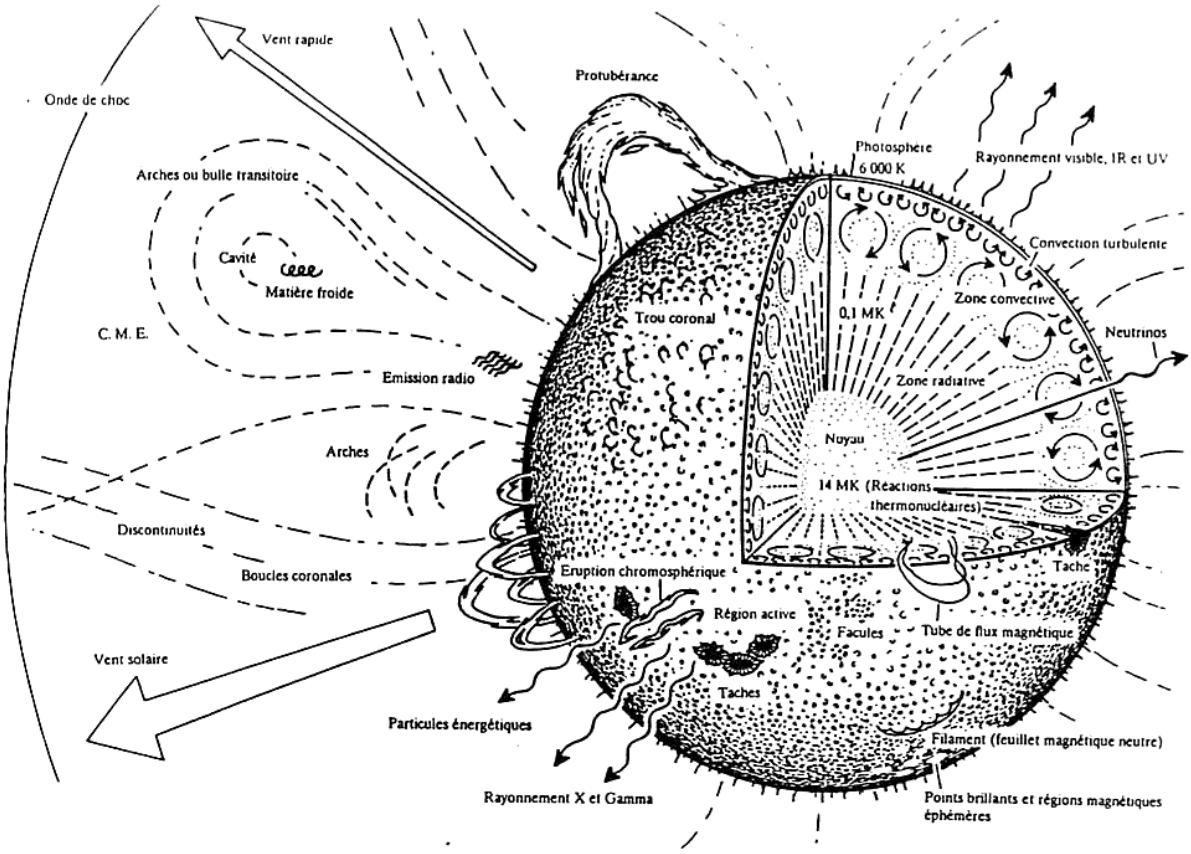


Figure 8-2. **La structure du Soleil et ses rayonnements**

Cette figure détaillée de notre étoile montre à la fois ses diverses zones internes (noyau, zone radiative, zone convective), ainsi que son activité de surface. D'innombrables rayonnements et particules diverses sont issus du Soleil et inondent le Système solaire, et parmi celui-ci la Terre. (Document S. Koutchmy et J.-C. Vial).

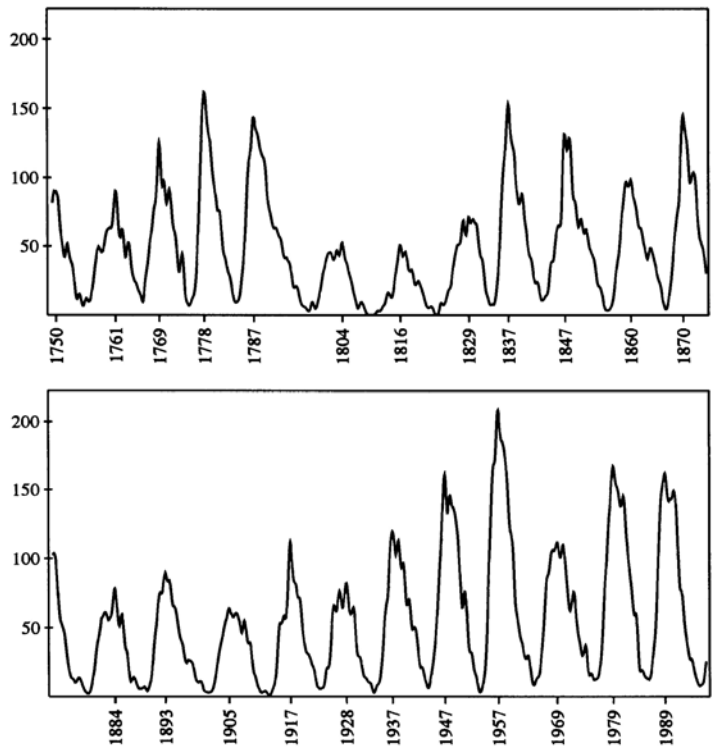


Figure 8-3. **Le Soleil et ses cycles d'activité**

Cette figure montre les cycles solaires pour un quart de millénaire (entre 1750 et 2000). Les années indiquées sont celles du maximum d'activité solaire. On voit ainsi que le fameux cycle de 11 ans n'est qu'une assez grossière approximation moyenne, puisque les maximums ont varié entre 8 ans (1761-1769) et 14 ans (1787-1804). Les chiffres à gauche sont ceux des nombres de taches solaires enregistrées mensuellement. (Document J. Meeus).

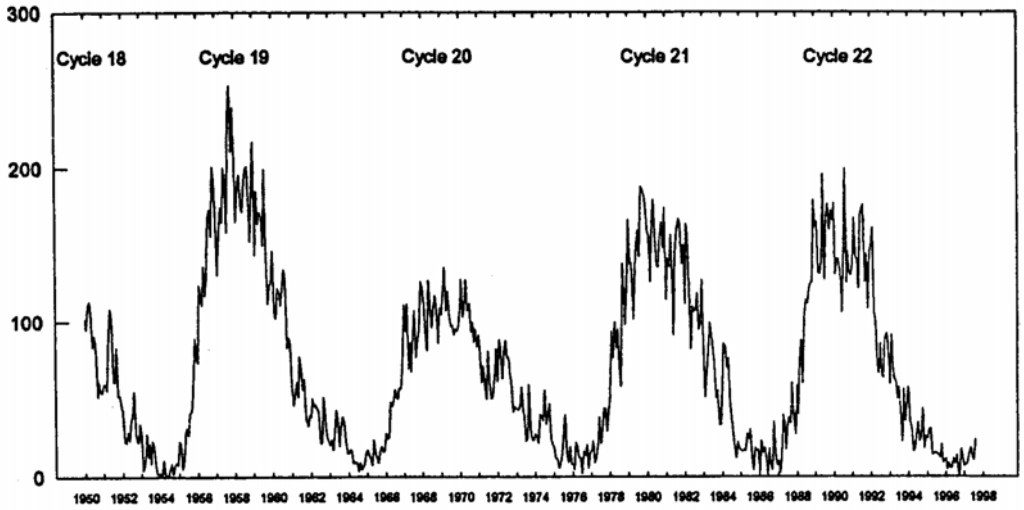


Figure 8-4. **Les quatre derniers cycles de l'activité solaire**

Cette figure montre d'une façon plus détaillée l'activité solaire relevée pour les quatre derniers cycles (cycles 19, 20, 21 et 22). On voit que cette activité varie sérieusement d'un cycle à l'autre. Le cycle 19, le plus énergétique connu, a été suivi par le cycle 20, le plus faible des six derniers cycles enregistrés. (Document NOAA).

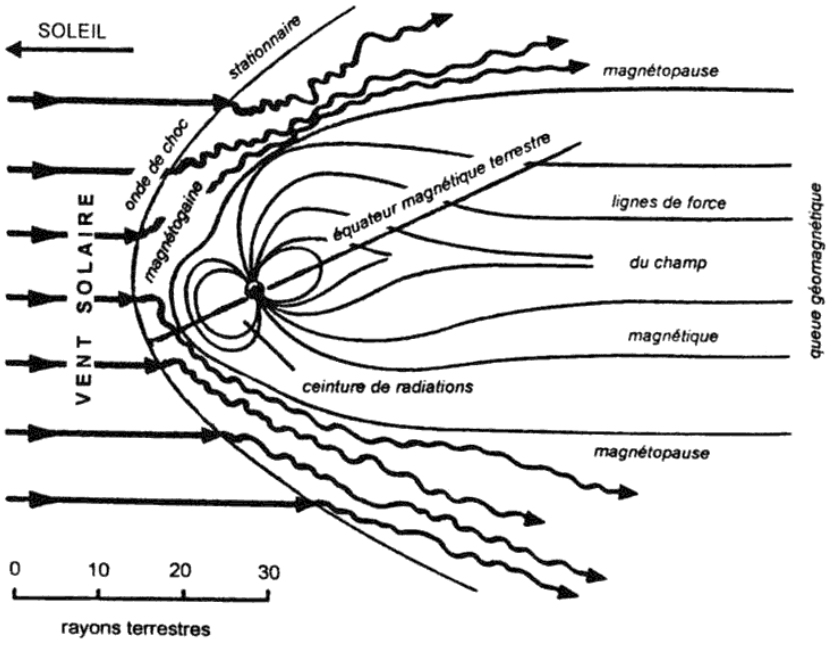
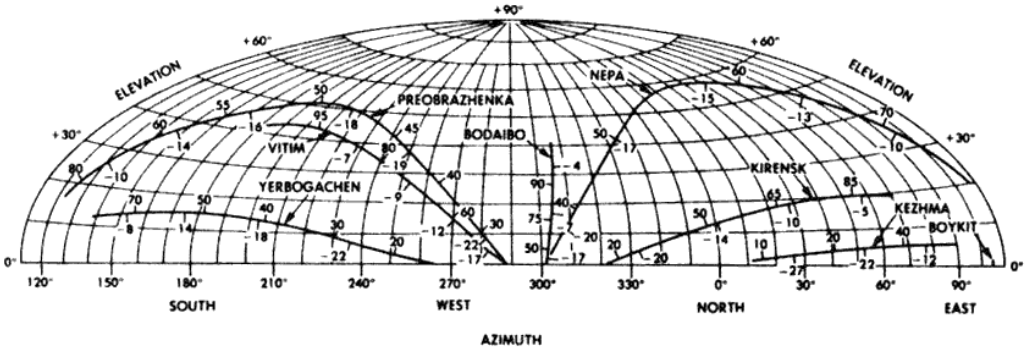


Figure 8-5. **La magnétosphère terrestre**

La figure montre la structure globale de la magnétosphère de la Terre et ses divers composants. Le vent solaire déforme ce champ qui est affublé d'une queue magnétique à l'opposé du Soleil et d'une intensité variable selon l'intensité du vent solaire lui-même. La magnétogaine est la zone de turbulence qui sépare l'onde de choc de la magnétopause. La limite basse de la magnétosphère terrestre se situe dans l'ionosphère supérieure.

Figure 8-6. **La lumière zodiacale**

Cette gravure japonaise du XIXe siècle montre une manifestation spectaculaire de la lumière zodiacale dans l'Archipel nippon. Depuis l'apparition des éclairages modernes, son observation est de plus en plus difficile et réservée à des sites encore préservés des nuisances lumineuses.



30 juin 1908 : Ogdy, le météore du siècle

Figure 9-1. **Visibilité et magnitudes apparentes d'Ogdy pour huit localisations**

La visibilité du météore avant la désintégration a été reconstituée pour huit localisations de la région sibérienne. Pour chaque lieu d'observation, les trajectoires indiquent l'altitude d'Ogdy (au-dessus) et sa magnitude visuelle (en dessous). La magnitude –20 a été atteinte partout. A Vanovara, la magnitude maximale fut de –32 (100 fois l'éclat du Soleil). (Document Z. Sekanina).

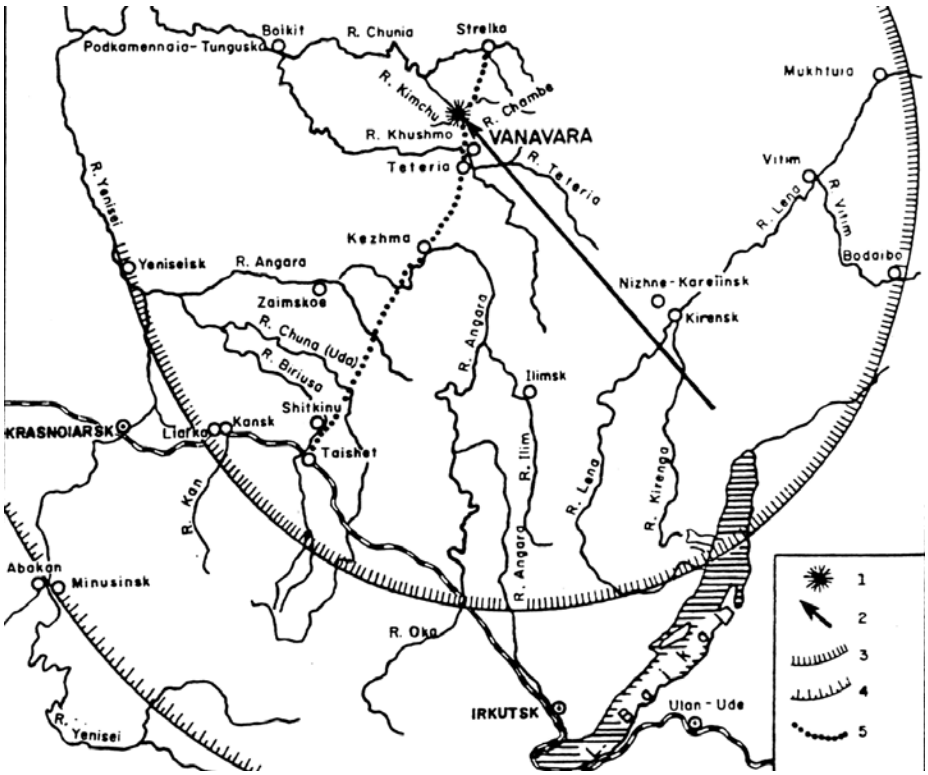


Figure 9-2. **Carte de la région concernée par la collision**

1. Site de la chute - 2. Trajectoire d'Ogdy dans l'atmosphère - 3. Limite de la zone de visibilité du phénomène - 4. Limite de la perception des phénomènes auditifs - 5. Route suivie par la première expédition dirigée par Kulik. On voit aussi le tracé du transsibérien qui était à l'intérieur du périmètre des phénomènes acoustiques. (Document E.L. Krinov).

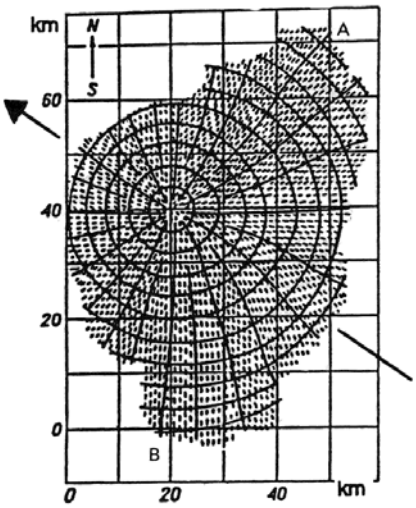


Figure 9-3. **La région sinistrée de la Toungouska**

La flèche indique la trajectoire suivie par Ogdy : sud-est/nord-ouest. On voit que si dans un cercle de 20 km autour du point d'explosion tout a été dévasté, l'effet de souffle a eu de sérieux prolongements latéraux, notamment vers le nord-est (45 km) et le sud (45 km). Entre les points A et B, pas moins de 85 km de forêt ont été totalement détruits. (D'après E.L. Krinov).

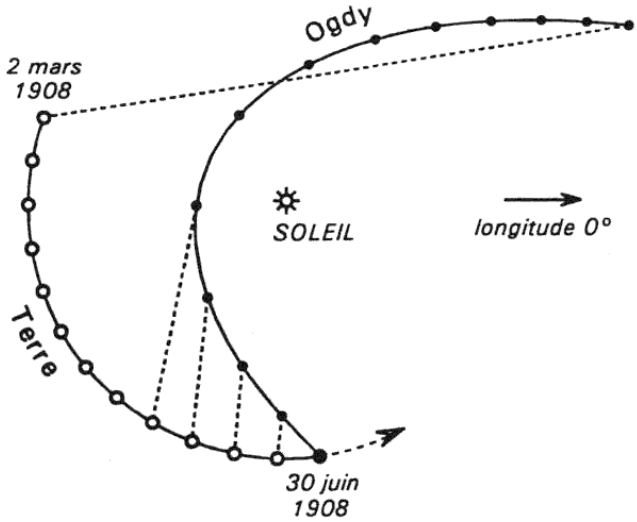


Figure 9-4. **La rencontre d'Ogdy avec la Terre**

La figure montre les différentes positions d'Ogdy et de la Terre pour les 120 jours qui ont précédé la collision. Chaque point représente une position de 10 en 10 jours entre le 2 mars et le 30 juin 1908. On voit que Ogdy n'était pas observable durant la période pré-impact, car il est resté noyé dans le rayonnement solaire. (D'après L. Kresák).

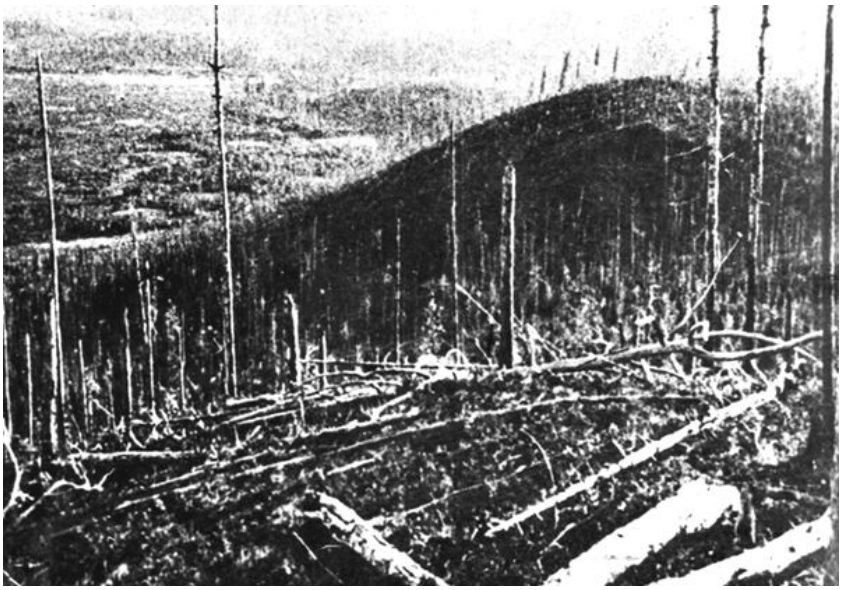


Figure 9-5. **L'étude photographique de la région dévastée**

Cette célèbre photo date de 1938. Elle a été obtenue lors de la première couverture aérienne destinée à cerner l'étendue exacte des dégâts. Trente ans après la collision, les spécialistes purent enfin constater la force de l'effet de souffle qui coucha une forêt de conifères sur plusieurs centaines de kilomètres carrés. A noter que les troncs de certains arbres sont restés debout.

Figure 9-6. **Autre photographie de la région dévastée**

Sur cette photographie, contrairement à la précédente, tous les arbres ont été couchés par l'effet de souffle dévastateur. Cette partie de la forêt, plus proche du point de l'explosion, fut plus exposée au souffle qui ne laissa rien debout.

Figure 9-7. **Matière cosmique piégée dans la résine des arbres**

Cette photo obtenue par une équipe de chercheurs italiens montre des gouttes de résine qui contiennent des milliers de particules microscopiques piégées lors de leur diffusion dans l'atmosphère sibérienne en 1908. Le verdict semble sans appel : cette matière d'origine cosmique est identique à celle des météorites à enstatite (type astéroïdal E). Ogdy était donc principalement de nature *astéroïdale*. (Document G. Longo et R. Serra).

Figure 9-8. **Le timbre du cinquantenaire**

En 1958, les postes de l'URSS ont commémoré à leur manière le cataclysme de la Toungouska en éditant un timbre. La partie gauche montre la boule de feu avant la désintégration, et la partie droite le savant russe A. Kulik qui dirigea les premières expéditions sur le terrain, expéditions au cours desquelles il essaya de rassembler un maximum d'informations sur le cataclysme.

Figure 10-1. **Une météorite sacrée : Elagabale**

Dessin fortement agrandi d'une monnaie impériale d'Émèse, en Syrie, datant du début de IIIe siècle et montrant la célèbre météorite sacrée portée sur un char tiré par quatre chevaux. L'empereur Elagabal l'amena à Rome et en fit la divinité suprême de l'empire romain. Cette météorite avait environ 90 cm de hauteur et 85 cm de diamètre.

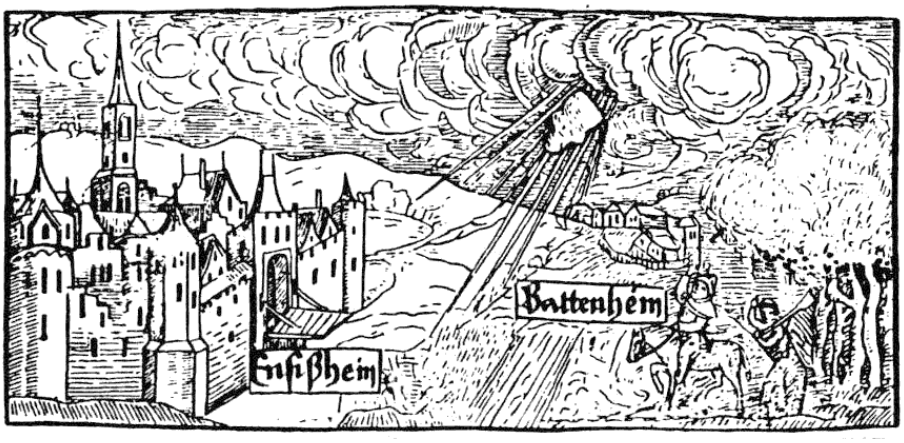


Figure 10-2. **Le "miracle" d'Ensisheim de 1492**

Ce dessin d'époque rappelle la chute de la fameuse météorite d'Ensisheim, considérée comme un "miracle". Un miracle bien réel puisque la météorite fut récupérée et existe encore de nos jours, ce qui n'est pas le cas des autres météorites de cette époque qui furent détruites bêtement au XVIIIe siècle par des "savants" eux-mêmes, au nom du "modernisme".

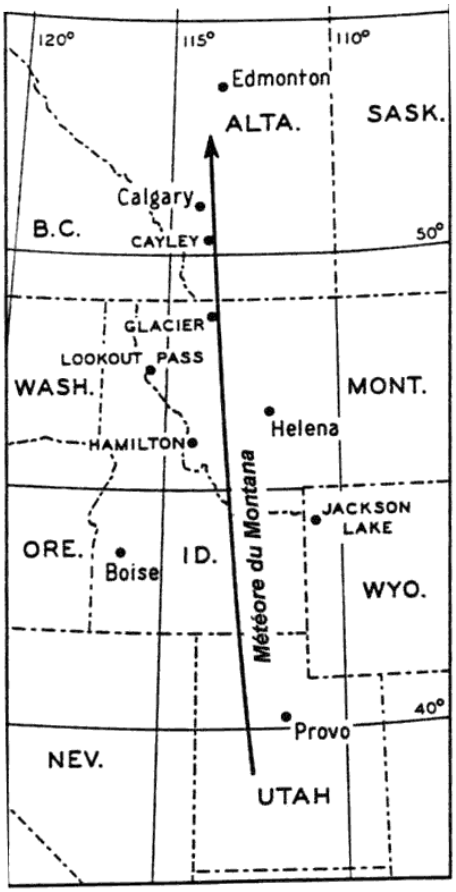


Figure 10-3. **Trajectoire du météore du Montana du 10 août 1972**

Le bolide du 10 août 1972, dit météore du Montana, est apparu dans le ciel de l'Utah. Il suivit une trajectoire sud-nord qui lui fit traverser les États de l'Idaho, du Montana et de l'Alberta au Canada, où il se serait écrasé s'il n'avait pas ricoché dans l'atmosphère avant de repartir dans l'espace. La photo suivante a été prise par Mrs Linda Baker dans les environs de Jackson Lake dans l'État du Wyoming qui, lui, ne fut pas traversé directement par le bolide. (D'après *Sky and Telescope*).

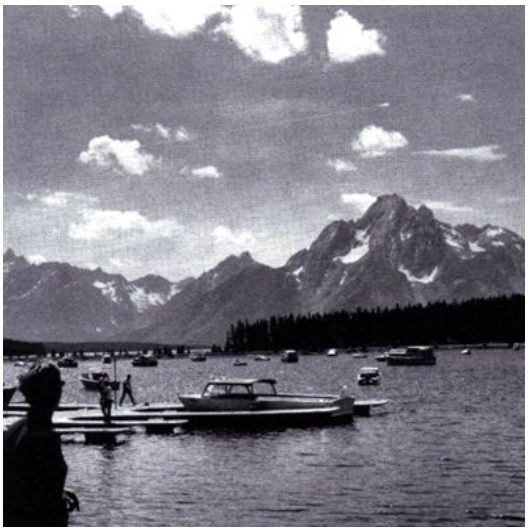


Figure 10-4. **Le météore du Montana du 10 août 1972**

Cette photographie est extraite d'un film d'amateur pris par Mrs Linda Baker, témoin de l'apparition du bolide et qui a eu le bon réflexe de le photographier en continu. On voit entre deux nuages la trace du météore (objet d'une quinzaine de mètres) qui fut observable moins de deux minutes et qui atteignit la magnitude –19. (Document *Sky and Telescope*).

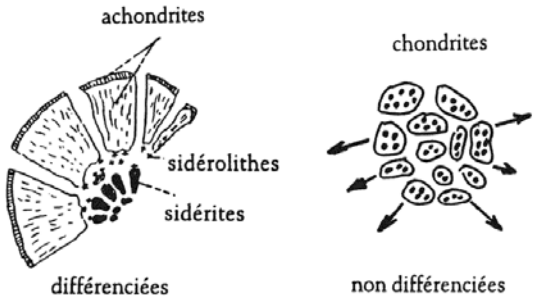


Figure 10-5. **Météorites différenciées et non différenciées**

Les sidérites sont des noyaux métalliques d'astéroïdes différenciés, les sidérolithes sont des objets intermédiaires, les achondrites sont de plusieurs types et concernent les couches externes d'objets différenciés. Les chondrites sont restées sans transformation depuis leur formation et sont des fragments de corps primitifs brisés non différenciés, avec des chondres bien identifiables. De plus en plus on arrive à associer avec précision astéroïdes et météorites.

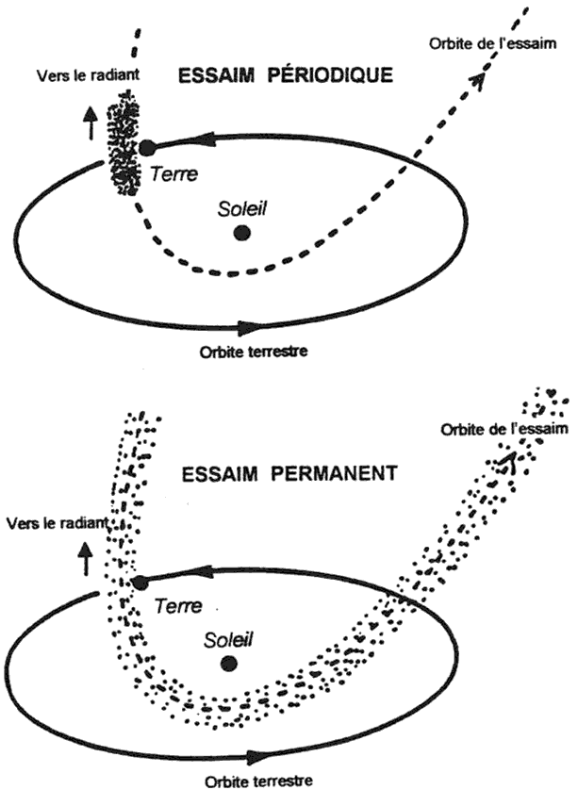


Figure 10-6. **Essaims de météores périodiques et permanents**

La figure rappelle la différence existant entre un essaim *périodique* et un essaim *permanent*. Dans le premier cas, les particules solides éjectées du noyau sont encore groupées et on peut parfois assister à une véritable averse météorique si la Terre traverse l'essaim compact. Dans le second cas, les particules se sont progressivement dispersées sur la quasi-totalité de l'orbite de la comète ou de l'ancienne comète si celle-ci s'est désintégrée. Il s'agit alors d'un essaim permanent (on en connaît plus de 1000) visible chaque année à la même époque, mais beaucoup moins fourni (quelques météores à la minute en général).

Figure 10-7. **La pluie d'étoiles filantes de novembre 1799**

L'essaim des Léonides, lié à la comète P/Tempel, est connu depuis le xe siècle (les chroniqueurs l'ont signalé à partir de 902) et donne chaque année de nombreux météores à la mi-novembre dans la constellation du Lion. Tous les 33 ans, il peut y avoir de véritables averses, comme le 11 novembre 1799, où une formidable pluie d'étoiles qui dura près de quatre heures eut lieu en Amérique du Nord, comme le rappelle cette figure d'époque. Elle fut observée par le naturaliste allemand A. von Humbolt qui en fit une description détaillée et émerveillée.

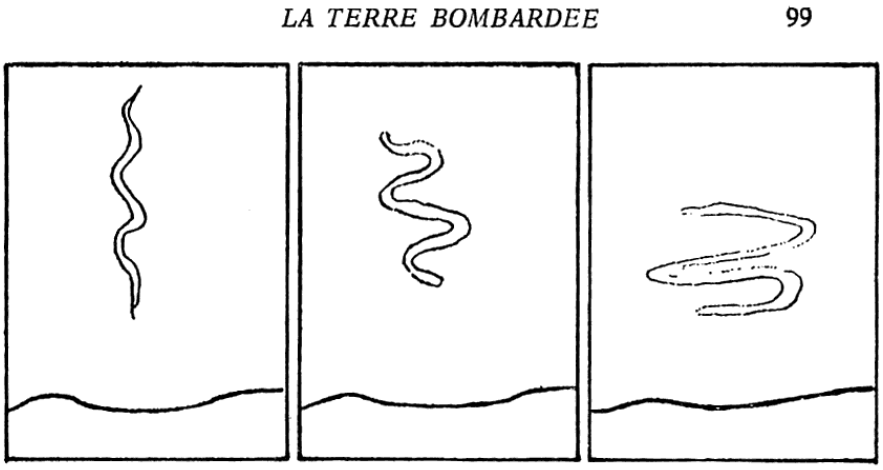


FIG. 11. — *Déformation d'une traînée météorique.*
Sous l'action des courants atmosphériques, une traînée météorique se transforme rapidement avant de disparaître. Certaines traînées peuvent subsister plus d'une heure si le bolide responsable est très brillant. Ce sont les formes biscornues de ces traînées qui ont fait croire aux anciens à la présence de « serpents » et de « dragons » dans le ciel.

Figure 10-8. **Déformation d'une traînée météorique**

Sous l'action des courants atmosphériques, une traînée météorique se transforme rapidement avant de disparaître. Certaines traînées peuvent subsister plus d'une heure si le bolide responsable est très brillant. Ce sont les formes biscornues de ces traînées qui ont fait croire aux anciens à la présence de "serpents" et de "dragons" dans le ciel (voir la figure 3-2).

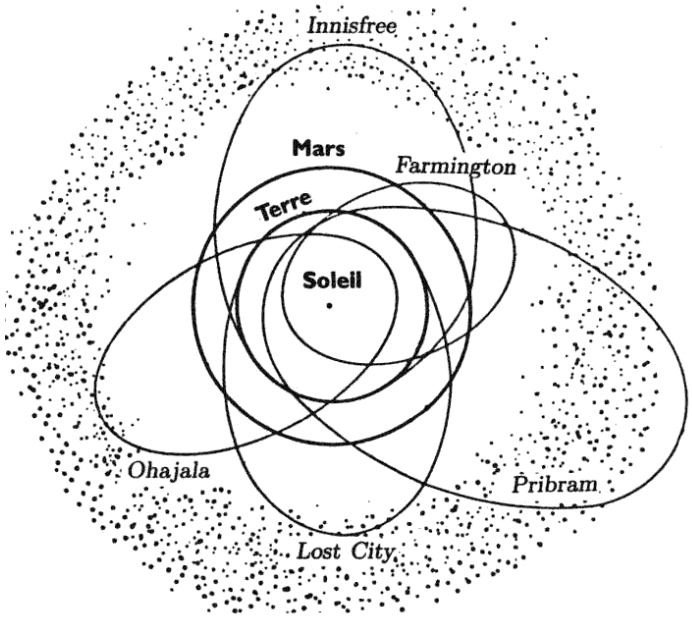


Figure 10-9. **Orbites préatmosphériques de cinq météorites**

La figure montre les orbites préatmosphériques de cinq météorites. Elles sont tout à fait typiques des orbites de NEA de sous-types 1, 2 et 3. Ce sont par ordre chronologique des chutes : 1/ Farmington, tombée le 25 juin 1890 au Kansas ; 2/ Pribram, tombée le 7 avril 1959 en Tchécoslovaquie ; 3/ Lost City, tombée le 3 janvier 1970 dans l'Oklahoma ; 4/ Ohajala, tombée le 28 janvier 1976 dans le Gujerat, État du nord-ouest de l'Inde ; 5/ Innisfree, tombée le 7 février 1977 dans l'Alberta au Canada.

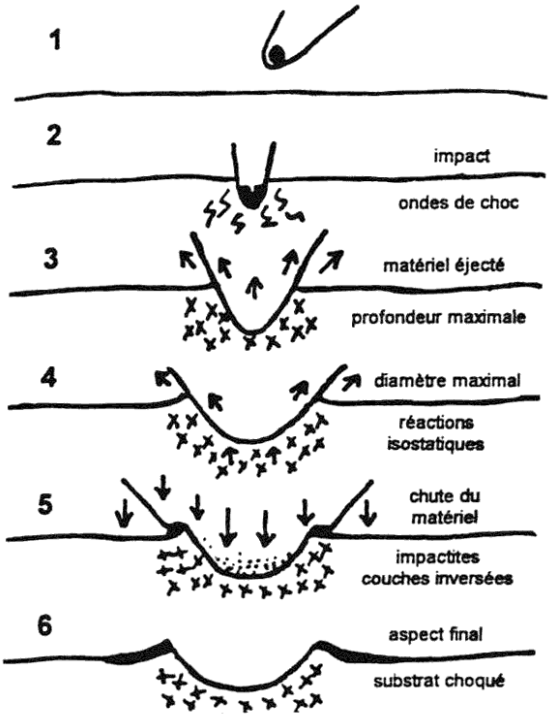


Figure 11-1. **Formation d'un cratère météorique**

Le dessin indique les six phases principales de la formation d'un cratère météorique terrestre. Ce sont les réactions isostatiques post-impact qui font que le cratère est d'un diamètre de beaucoup supérieur à celui de l'impacteur. *L'impactisme de choc* permet aux géologues de repérer des anomalies sur le terrain, anomalies qui sont *la signature* de l'impact.

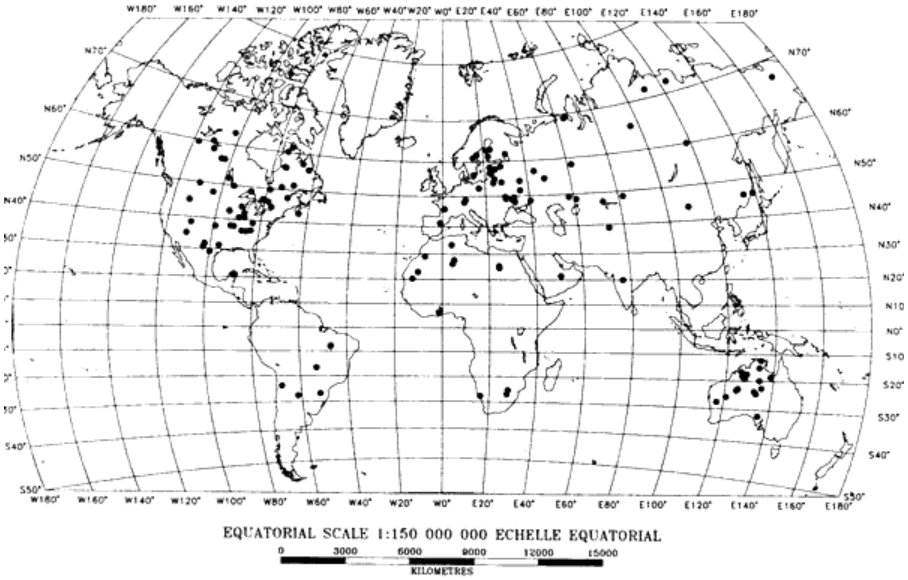


Figure 11-2. **Les astroblèmes terrestres recensés**

Ce planisphère montre l'emplacement d'environ 130 astroblèmes terrestres répertoriés. On voit que la répartition n'est pas uniforme et que les différentes régions ne sont pas logées à la même enseigne. Il y a encore beaucoup à faire dans le domaine de la détection, notamment en Asie, en Afrique et en Amérique du Sud. (Document *The Spaceguard Survey* / R.A.F. Grieve).

Figure 11-3. **Le Meteor Crater**

D'abord daté de 2000 ans au début du siècle, du fait que les Indiens Navajos prétendaient que leurs ancêtres avaient été témoins de la chute de la météorite responsable (pour eux la chute d'un dieu déchu), puis de 24 000 ans dans les années 1960, le Meteor Crater est aujourd'hui daté avec précision de 50 000 ans. Il est remarquablement conservé et constitue un "lieu magique" pour tous ceux qui s'y rendent pour la première fois avec son diamètre de 1200 m et sa profondeur de 180 m.

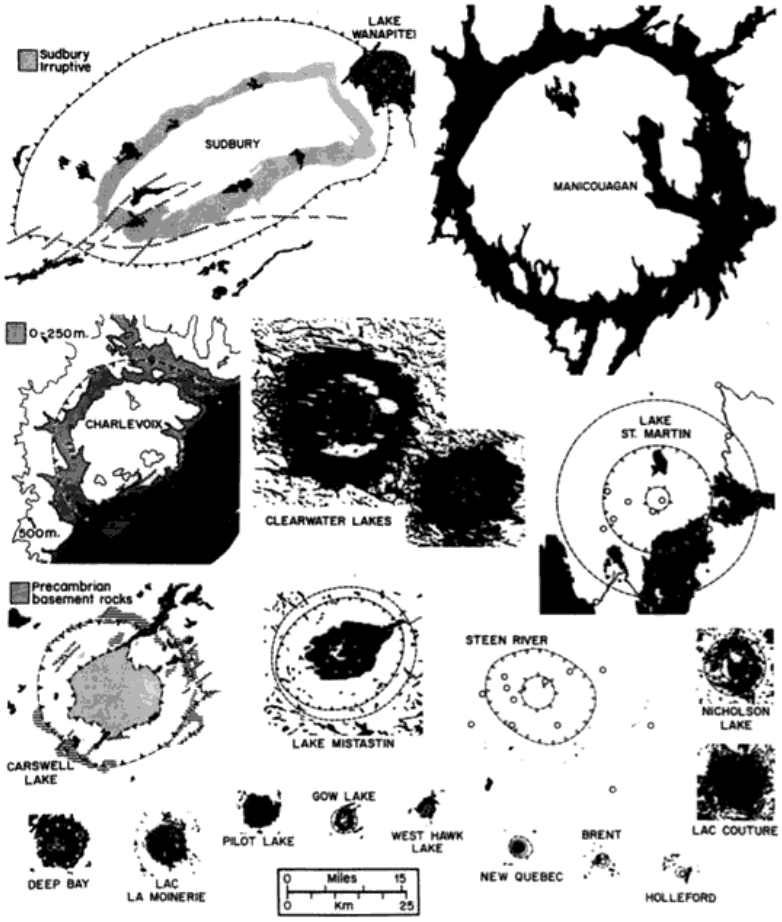


Figure 11-4. **Les astroblèmes canadiens**

Les chercheurs canadiens ont été les premiers dès 1950 à faire la chasse aux astroblèmes existant sur le territoire de leur vaste pays et ont connu une réussite décisive qui a déclenché une recherche internationale encore en cours de nos jours. Cette figure regroupe les vingt premières structures identifiées au Canada. On voit qu'elles sont de taille très différentes. Certaines sont récentes, d'autres ont plusieurs centaines de millions d'années. (Document Direction de la Physique du globe, Energie, Mines et Ressources, Canada).

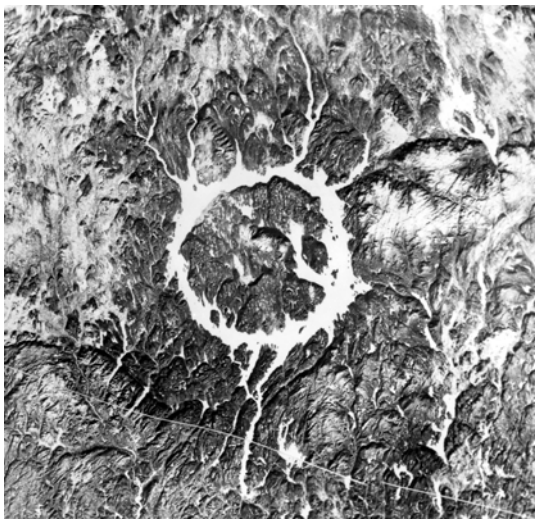


Figure 11-5. **L'astroblème de Manicouagan**

Cet astroblème de 100 km date de 210 MA environ et on l'associe maintenant avec la quatrième extinction de masse, celle de la fin du Trias. Selon les normes habituelles, on pense qu'il a été créé par l'impact d'un astéroïde de 5 km de diamètre. (Document Direction de la Physique du globe, Energie, Mines et Ressources, Canada).

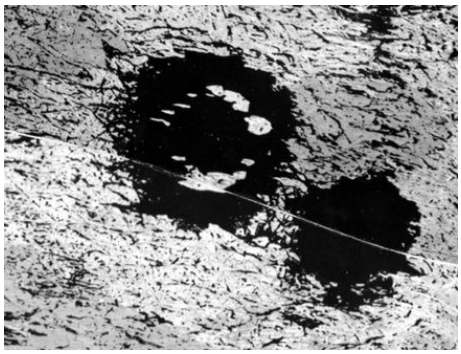


Figure 11-6. **Les Clearwater Lakes : deux astroblèmes jumeaux**

L'existence de cratères jumeaux n'est pas rare. Ces deux astroblèmes canadiens ont respectivement 32 km et 22 km de diamètre et sont datés de 290 MA. C'est également la date de la fin du Carbonifère, et l'on pense maintenant que les deux événements sont liés. (Document Direction de la Physique du globe, Energie, Mines et Ressources, Canada).

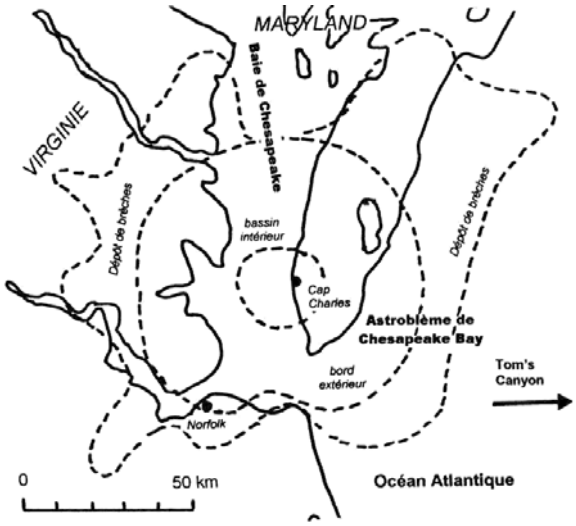


Figure 11-7. **Chesapeake Bay : l'astroblème de la fin de l'Éocène**

La Chesapeake Bay est le vestige d'un grand astroblème de 90 kilomètres de diamètre formé à la fin de l'Éocène, il y a 35 MA. Totalement oblitéré par l'érosion et la sédimentation, il n'a pu être mis en évidence que durant les années 1990. Le port de Norfolk (Virginie, Etats-Unis) se trouve juste à la limite externe sud de l'astroblème.

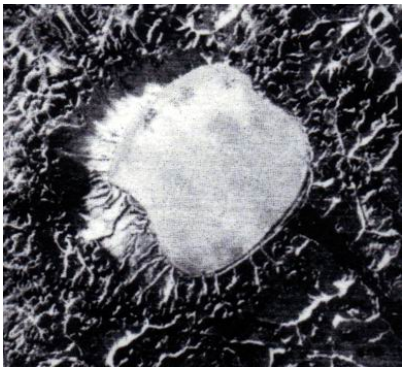


Figure 11-8. **Un grand astroblème récent en Sibérie : Elgygytgyn**

Cet astroblème sibérien, qui a été tout de suite reconnu à partir de l'espace, date de 3,5 MA seulement. Il est donc contemporain des premiers hommes. Il a été causé par un astéroïde de plus d'un kilomètre de diamètre, capable de créer un hiver d'impact. (Document NASA).

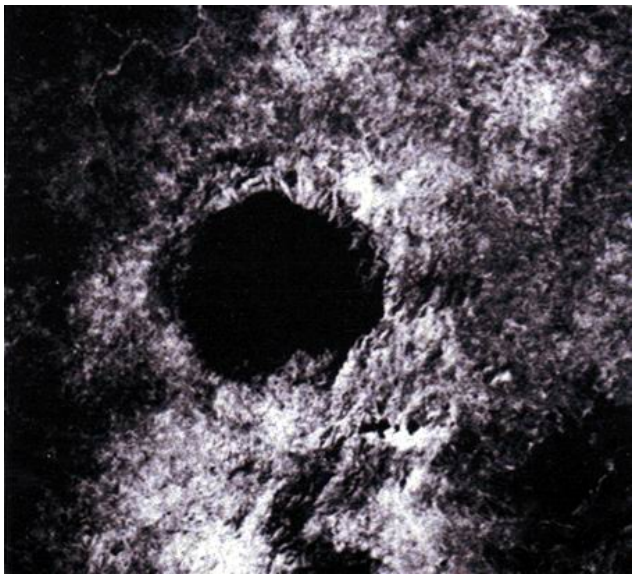


Figure 11-9. **Bosumtwi : le cratère parent des ivoirites**

Ce cratère ghanéen de 10 km de diamètre date de 1 MA et a été créé par l'impact d'un astéroïde de 500 mètres de diamètre. A noter que cette structure est associée aux ivoirites, l'une des familles de tectites. Il est associé également à une inversion géomagnétique, bien qu'il ne soit pas certain que les deux événements soient liés génétiquement. (Document NASA).

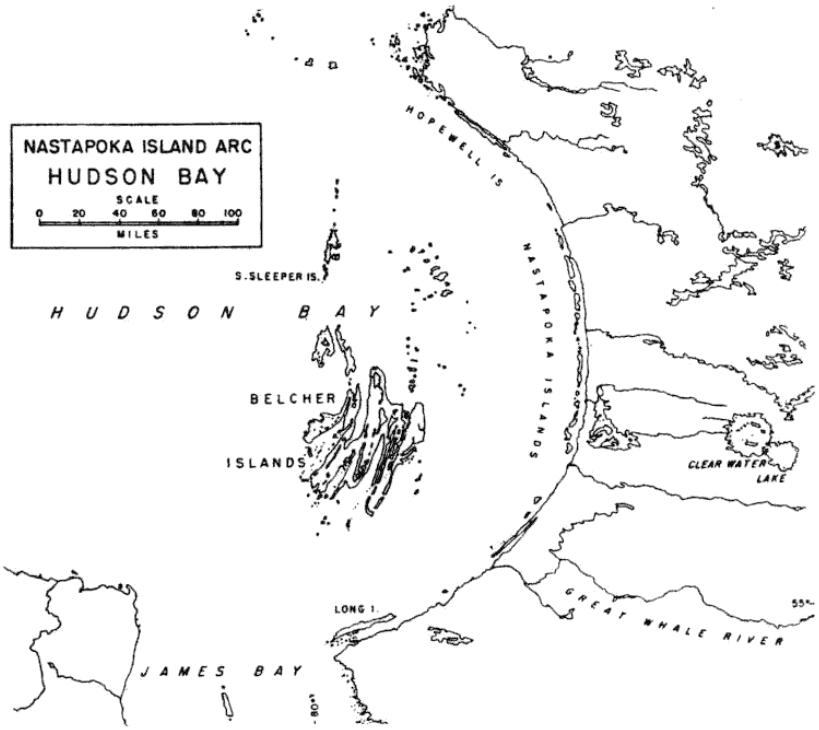


Figure 11-10. **La possibilité d'astroblèmes géants**

Cette figure montre l'aspect d'un des grands astroblèmes terrestres *possibles* : l'Arc de la baie d'Hudson. Le caractère cosmique de cette structure canadienne de 440 km de diamètre a été envisagé dès le début des années 1950, mais les géologues n'ont jamais pu obtenir de résultats décisifs. Un tel astroblème est formé par l'impact d'un astéroïde de 20 ou 25 km, c'est-à-dire un objet comme Eros. A noter, sur la droite de la figure, la présence de l'astroblème double des Clearwater Lakes qui semblent minuscules à la même échelle. (Document C.S. Beals *et al.*).

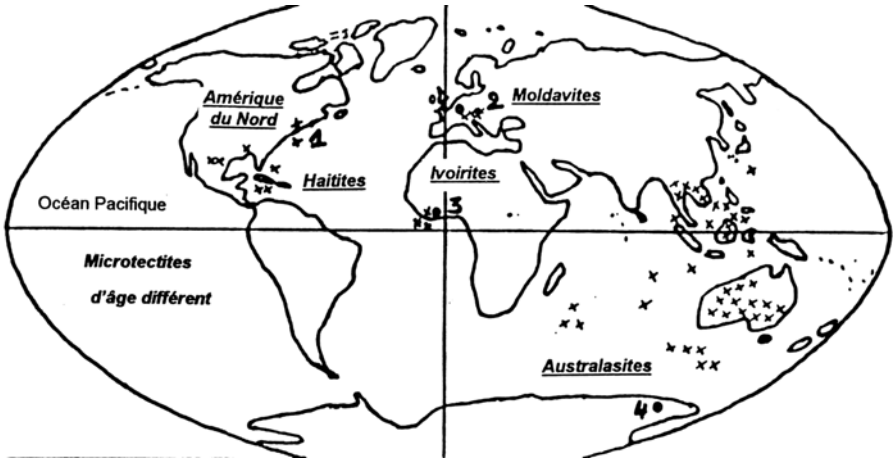


Figure 11-11. **Les quatre grandes zones de tectites et les cratères parents**

On connaît quatre grandes familles de tectites que l'on relie à des cratères parents et dont elles sont issues. 1. Zone des tectites d'Amérique du Nord, vieilles de 35 MA et associées à l'astroblème de Chesapeake Bay (et peut-être aussi au golfe du Saint-Laurent). 2. Zone des moldavites, vieilles de 15 MA et associées au Nördlinger Ries. 3. Zone des ivoirites, vieilles de 1 MA et associées au cratère ghanéen de Bosumtwi. 4. Grande zone des australasites, vieilles de 0,7 MA et (probablement) associées au cratère fantôme de Wilkes Land situé sous les glaces de l'Antarctique. Les Haitites, vieilles de 65 MA sont des microtectites, associées à l'astroblème de Chicxulub. Il faut aussi savoir que plusieurs séries de microtectites ont été recueillies par carottage dans l'océan Pacifique et sont d'âge différent, donc d'origine différente.

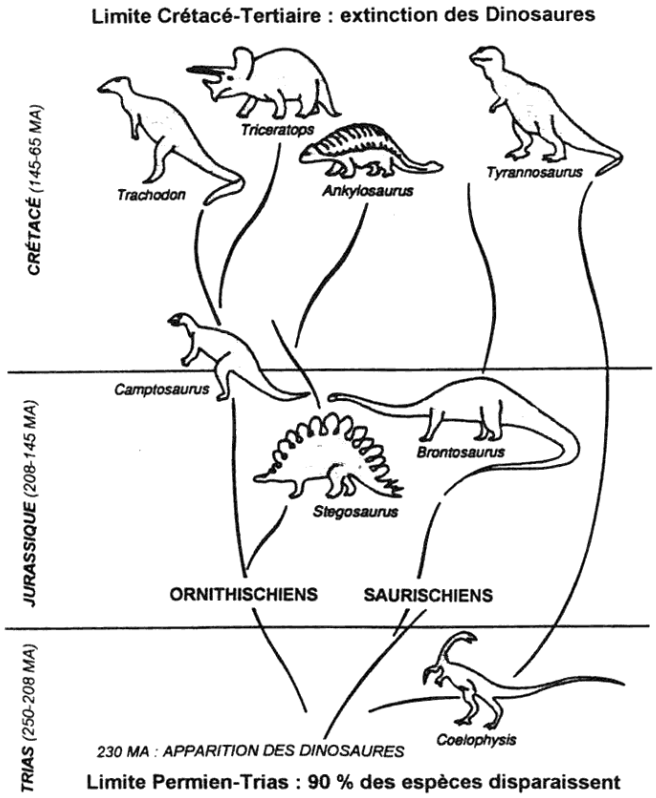


Figure 12-1. **Le long règne des dinosaures**

Apparus au Trias (250-208 MA), les Dinosaures ont traversé sans problème les 63 MA du Jurassique (208-145 MA) et les 80 MA du Crétacé (145-65 MA), évoluant et se diversifiant en de nombreuses espèces. On sait que l'impact de –65 MA leur a été fatal, sinon directement, tout au moins la période post-impact, extrêmement traumatisante, qui les a décimés jusqu'au dernier, en même temps que tous les animaux dont le poids excédait 25 kg. Cette décimation laissait le champ libre à Purgatorius et à ses successeurs. (D'après E.H. Colbert).

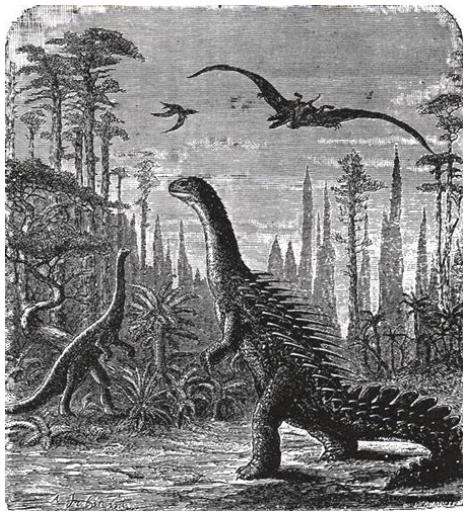


Figure 12-2. **La vie à l'ère secondaire**

Le Secondaire a été l'ère des dinosaures qui n'existaient pas avant elle et qui ne lui ont pas survécu. Cette gravure montre comment on imaginait au XIXe siècle la vie à l'époque de ces grands animaux qui se diversifiaient en de nombreuses espèces. Elle est extraite d'un livre de Flammarion " *Le Monde avant la création de l'Homme* " paru en 1886.

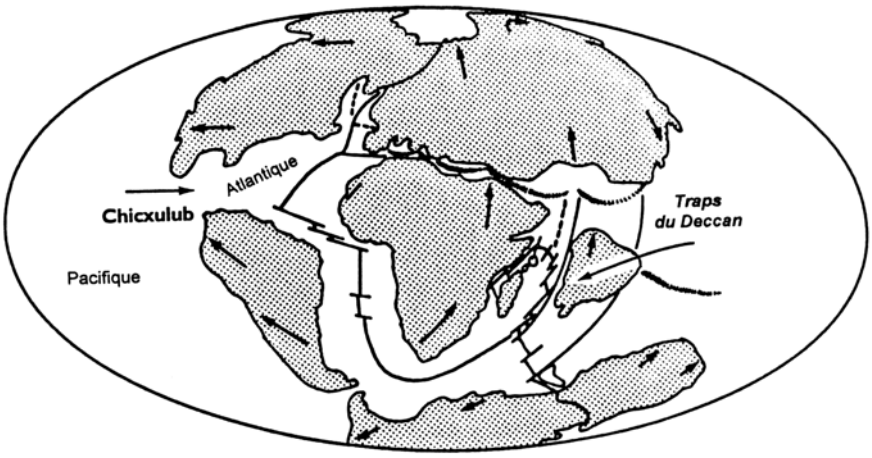


Figure 12-3. **La géographie terrestre à la fin du Crétacé**

On sait que la géographie de notre planète évolue sans cesse et que celle de la fin du Crétacé, il y a 65 MA, était très différente de la géographie actuelle. On voit qu'à l'époque, l'Atlantique était beaucoup moins marge qu'actuellement et encore soudé à l'Europe dans sa partie nord. L'impact de Chicxulub a eu lieu sur le plateau continental peu profond existant entre l'Amérique du Nord et l'Amérique du Sud qui étaient alors séparées. On comprend mieux les raisons du tsunami géant qui a laissé son empreinte au Texas et au Mexique. Les flèches sur les continents indiquent la direction imposée par la tectonique des plaques, principale responsable du modelage de la surface terrestre. On a indiqué aussi l'emplacement des Traps du Deccan, formidable cataclysme éruptif contemporain (commencé avant, terminé après) de l'impact cosmique. (D'après S. Uyeda).

Figure 12-4. **Les sites à iridium datés de 65 millions d'années**

Après la découverte des premières couches contenant de l'iridium et datées de la frontière K/T, des recherches complémentaires ont permis de repérer une centaine de sites datés de la même époque dans le monde entier. Des carottages océaniques se sont également révélés positifs, notamment dans l'océan Indien, quasiment aux antipodes de l'impact, ce qui a permis à certains chercheurs de critiquer la théorie même de l'impact. (Document J. Smit).

Figure 12-5. **La preuve de l'impact : les tectites et microtectites associées**

La présence de tectites est la preuve de l'impact. Cette figure indique la localisation des tectites et des microtectites proches de Chicxulub. Elle indique aussi les sites où des microkrystites ont été repérées. Celles-ci sont des microsphérules (d'un diamètre inférieur à 1 mm) qui n'ont pas totalement été transformées en verre comme les tectites et qui sont présentes sur des sites plus éloignés. (Document J. Smit).

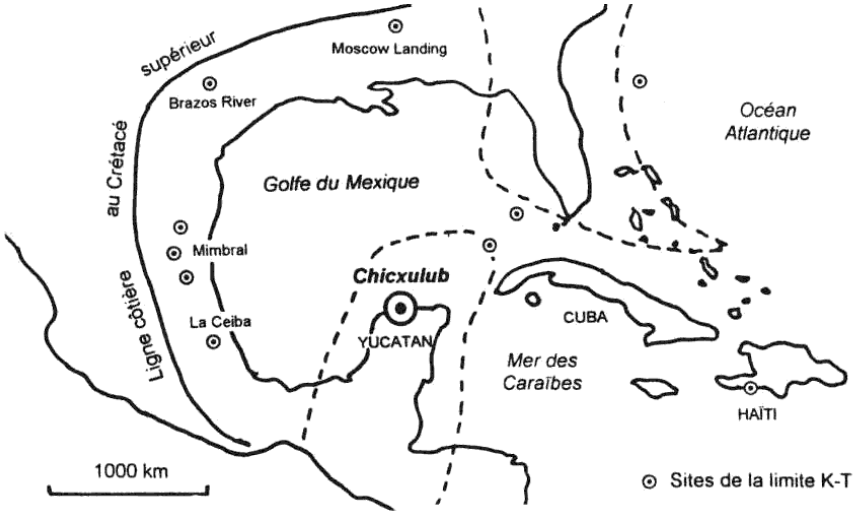


Figure 12-6. **Chicxulub : la région de l'impact**

Cette figure montre la région de l'impact et de quelques sites proches associés. Les deux zones en pointillé représentent l'extension des plates-formes carbonatées de la fin du Crétacé supérieur, mises en évidence par les spécialistes, et qui contiennent des traces de l'impact (métamorphisme de choc notamment). La ligne sur le continent américain est la ligne côtière de l'époque, au bord de laquelle ont été retrouvés des sites liés à l'impact. Certains contiennent des verres et/ou des sphérules d'impact et/ou des traces du tsunami. C'est toute la région du golfe du Mexique qui garde des traces indélébiles du cataclysme d'origine cosmique qui a clôturé l'ère secondaire.

Figure 12-7. **Chicxulub : les traces gravimétriques de l'impact**

L'empreinte de l'astroblème de Chicxulub existe bel et bien sous le Yucatan, et est révélée d'une manière formelle par les anomalies du champ de gravité. Le trait clair transversal indique la côte actuelle et les points blancs en demi-cercle les cenotes. Le trait fin en forme de Y au sud du cratère est la marque d'une faille régionale. (Document A. Hildebrand).

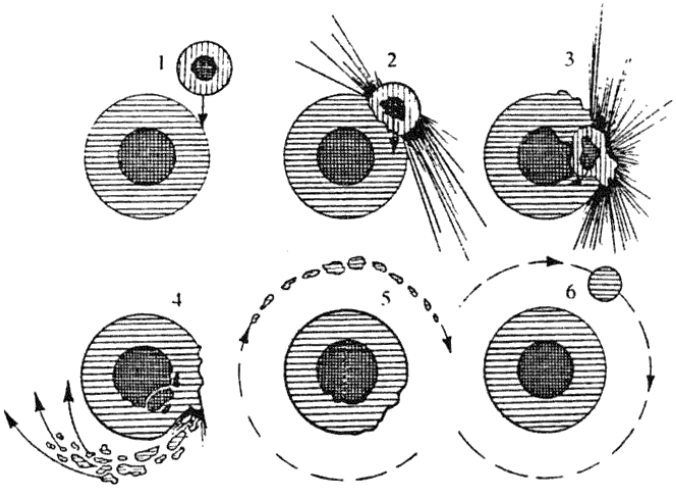


Figure 13-1. **Mécanisme de formation de la Lune**

On pense aujourd'hui que la Lune s'est formée très rapidement, suite à un impact rasant d'une proto-Lune de masse martienne avec la Terre en formation. La simulation ci-dessus tente d'expliquer les différentes étapes de cette formation. – 1. Un astéroïde différencié de 0,1 masse terrestre heurte la Terre – 2. Le noyau de fer de l'objet pénètre le manteau terrestre – 3. Une très importante projection de matériaux silicatés a lieu vers l'espace – 4. Une fraction de ces matériaux est capturée en orbite terrestre – 5. Un disque d'accrétion se forme et les fragments voisins s'agglomèrent – 6. L'accrétion joue à fond et en peu de temps (on a parlé de quelques années seulement) le plus gros morceau a absorbé tous les autres : c'est notre Lune, qui sera par la suite bombardée par une multitude de projectiles d'autre provenance que les fragments de la proto-Lune qui a heurté la Terre. (Document A. Delsemme).

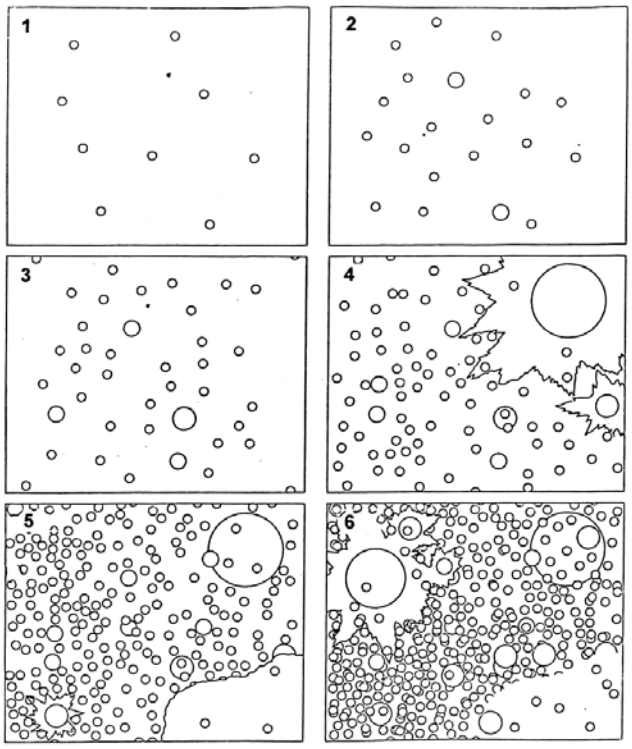


Figure 13-2. **Le processus de cratérisation**

La figure montre les six étapes de la cratérisation d'une planète quelconque, Terre et Lune compris. Dans les trois premières, de petits impacts piquètent la surface de la planète, d'une manière de plus en plus serrée. A partir de la quatrième de gros impacts recouvrent totalement les anciens cratères. Ces nouveaux cratères géants sont à leur tour piquetés par de petits impacts plus récents. A la sixième étape, il y a saturation générale. Cela a valu pour toutes les planètes, Terre comprise. (D'après W. Hartmann).

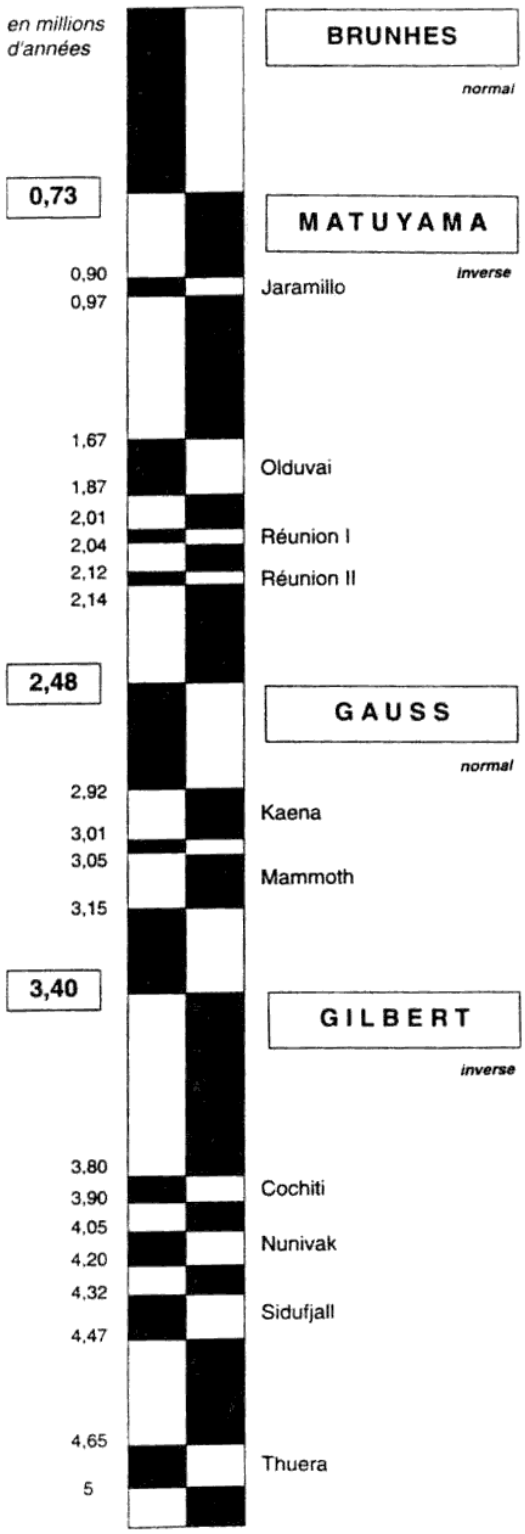
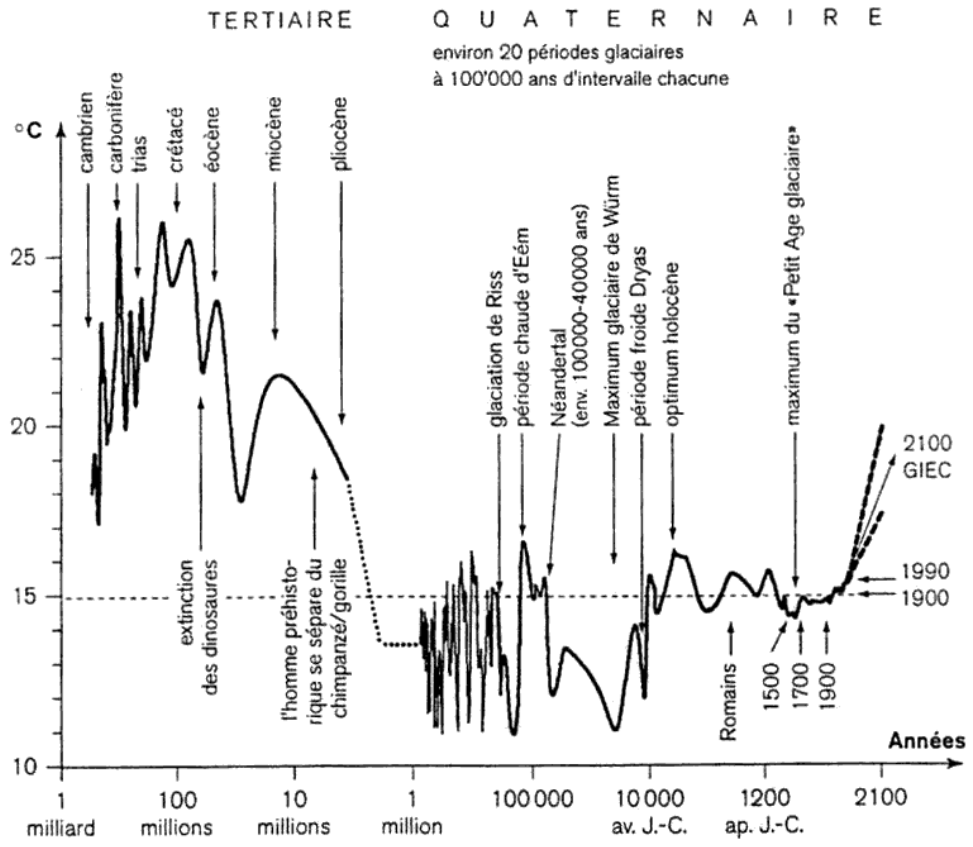


Figure 13-3. **Les variations du champ géomagnétique depuis 5 millions d'années**

On sait depuis longtemps que le champ géomagnétique s'inverse de temps à autre, et cela pour des raisons multiples qui tiennent à la fois à la Terre elle-même, et notamment à son noyau, et à des causes externes. Depuis 0,73 MA, la Terre est dans une période dite normale : la période de Brunhes. Entre 0,73 et 2,48 MA, elle était dans une période de polarité inverse : la période de Matuyama. Entre 2,48 et 3,40 MA, elle était à nouveau dans une période normale : la période de Gauss. Entre 3,40 et 5,00 MA, elle était dans une période inverse : la période de Gilbert. A noter que les trois anciennes périodes ont été ponctuées d'*épisodes* (ou *événements*) de courte durée (quelques milliers d'années) durant lesquels le champ magnétique s'est inversé. On pense que certains de ces épisodes pourraient avoir eu comme cause un cataclysme d'origine cosmique.



Évolution de la température terrestre depuis 600 millions d'années

Figure 13-4. **Évolution de la température terrestre depuis 600 millions d'années**

On a pu reconstituer la température terrestre depuis 600 MA et on sait aujourd'hui que les différences de température selon les époques ont été très importantes. On voit que globalement la température entre 1000 MA et 10 MA était nettement supérieure à la température du dernier million d'années. Au Carbonifère et au Crétacé elle dépassait les 25 °C en moyenne contre 15 °C actuellement. Du fait de l'effet de serre, la température moyenne de la Terre pourrait augmenter entre 2 et 4 °C d'ici 2100 selon les simulations. (Document F. Gassmann).

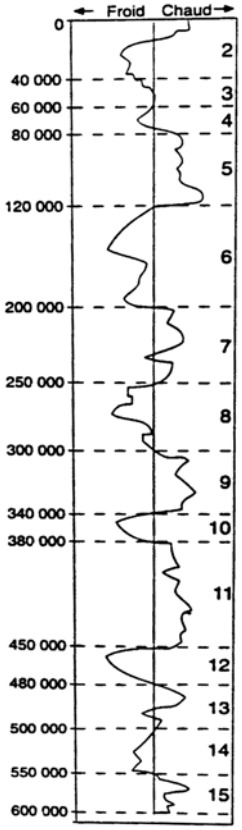


Figure 13-5. **La théorie astronomique des climats et les périodes glaciaires**

La théorie de Milankovic explique assez bien les périodes glaciaires qui se produisent en moyenne tous les 100 000 ans. La figure montre les variations du climat depuis 600 000 ans. Les chiffres à droite sont les stades isotopiques. Les stades pairs 2, 4, 6, 8, 10, 12 et 14 correspondent à des périodes de froid (périodes glaciaires) et les stades impairs 3, 5, 7, 9, 11, 13 et 15 à des périodes plus chaudes (périodes interglaciaires). Cependant, l'aspect des différentes périodes n'est jamais vraiment le même, l'ensoleillement et ses conséquences variant d'un cycle à l'autre.

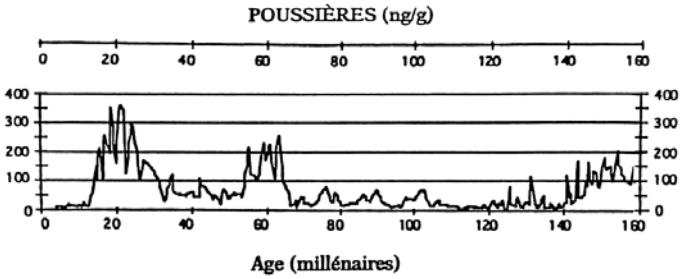


Figure 13-6. **La poussière piégée dans les glaces**

L'Antarctique est un formidable laboratoire pour les climatologues et les glaciologues. Une carotte de glace représentant 160 000 ans d'évolution climatique a été remontée à la station de Vostok, exploitée par différentes équipes de chercheurs soviétiques durant la période 1960-1980, et a permis d'obtenir des résultats souvent étonnants. Cette figure concerne la quantité de poussière dans la glace antarctique en nanogrammes (ng) par gramme (ou parts par milliard). Elle montre que la quantité de 300 ng n'a jamais été atteinte durant 135 000 ans avant d'être franchie à plusieurs reprises à partir de –25 000 ans, pour ensuite retrouver sa valeur normale qui est très faible (inférieure à 25 ng, soit dix fois moins que lors des accès de fièvre). Ceux-ci ne s'expliquent que très partiellement comme conséquence logique d'une période glaciaire et des chercheurs catastrophistes (notamment les astronomes) croient maintenant que cette poussière excédentaire et anormale pourrait être partiellement d'origine cosmique et provenir de la désintégration de corps cométaires issus de HEPHAISTOS. (D'après J.-C. Duplessy).

Figure 13-7. **L'Antarctique : un continent excentré**

Cette figure qui représente l'hémisphère dit "océanique" rappelle que la répartition des continents et des terres émergées est loin d'être uniforme. L'Antarctique n'est pas centré sur le pôle sud, et cette particularité a poussé Charles Hapgood, et d'autres après lui, à se demander si la force centrifuge née de cette anomalie n'était pas capable de provoquer des déplacements lithosphériques. Le calcul semble montrer que c'est possible, mais la majorité des géophysiciens n'y croient pas.

Figure 14-1. **Nuages interstellaires et molécules organiques**

Cette célèbre nébuleuse est M42, connue aussi comme la nébuleuse d'Orion. Elle montre clairement que les galaxies ne sont pas seulement composées par les étoiles et leurs cortèges planétaires, mais aussi par une quantité incroyable de gaz et de poussières, vestiges de cataclysmes gigantesques comme l'explosion de supernovae. Ce gaz et cette poussière sont des résidus *toujours plus enrichis* de générations antérieures d'étoiles, qui après contraction donneront naissance à de nouvelles générations d'étoiles. C'est l'une des découvertes fondamentales du xxe siècle que d'avoir mis en évidence, au sein de ces nuages de molécules et de poussières, la présence incontestable d'éléments qui participent au démarrage et à la complexification de *la vie cosmique*.

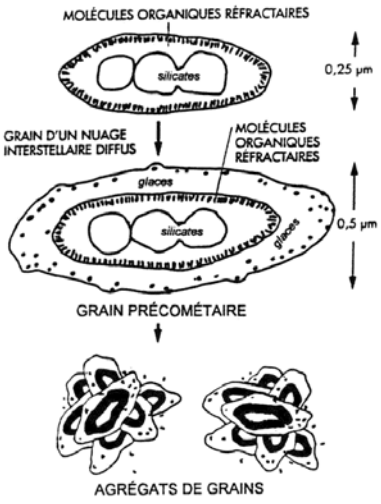


Figure 14-2. **Du grain interstellaire à la comète**

La poussière interstellaire existe en partie sous forme de *grains interstellaires*, d'un diamètre de l'ordre de 0,25 micromètre. Comme on les observe parfois près des étoiles chaudes, on en déduit qu'ils sont résistants à la chaleur et formés de *molécules réfractaires*, variables en composition selon leur corps parent. Dans les nuages interstellaires froids, ces grains sont recouverts ensuite de molécules interstellaires qui condensent à leur surface et forment une chape de glace : le nouveau corps d'un diamètre double (de l'ordre de 0,50 micromètre) est un grain *précométaire*. Ces grains s'unissent à leur tour pour former des agrégats de grains de plus en plus volumineux, puis des véritables comètes, dont certaines pourraient être de vrais réservoirs prébiotiques. (D'après J.M. Greenberg).

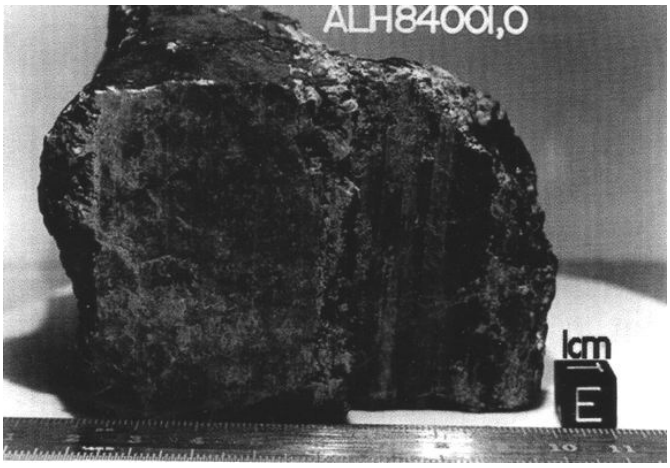


Figure 14-3. **Météorites et vie martienne**

Cette célèbre météorite ALH84001, découverte dans l'Antarctique en 1984, a été l'objet de très importantes polémiques, liées évidemment au concept même de la vie martienne, et par extension de la vie extraterrestre. Le problème essentiel est celui de la *contamination* par des agents terrestres, contamination qui pourrait être très rapide, d'où l'importance de prendre toutes les précautions dans les meilleurs délais pour les chutes à venir. Pour celles du passé, il y aura toujours une suspicion légitime et les spécialistes ne peuvent pas trancher avec certitude sur l'origine exacte des éléments biologiques microscopiques mis en évidence dans les météorites soupçonnées contenir la vie. Mais pour les scientifiques catastrophistes, il n'y a aucun doute : la vie terrestre est une vie locale, une vie parmi d'autres, et donc certaines météorites doivent contenir les traces d'une vie extraterrestre. (Document NASA).

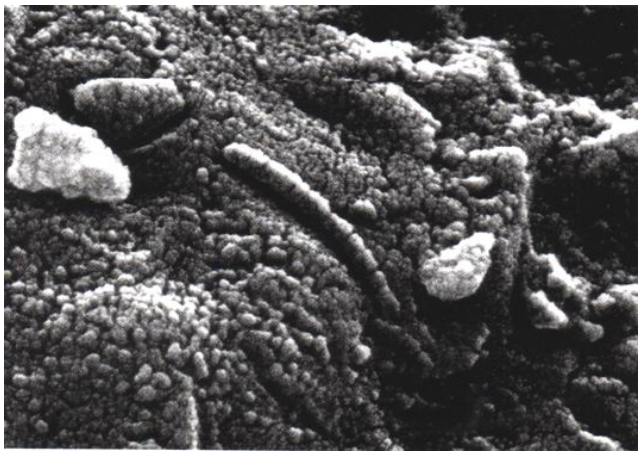


Figure 14-4. **Les premiers pas de la vie extraterrestre**

Le petit objet filiforme et segmenté au centre de l'image a été observé et visualisé grâce à un microscope électronique moderne grossissant plusieurs milliers de fois. Il existe dans la météorite martienne ALH84001 et ressemble étrangement à certaines nanobactéries terrestres, ce qui a fait croire à certains chercheurs que l'on avait découvert des traces de vie martienne. C'est peut-être aller un peu vite, car il se pose de sérieux problèmes de contamination d'origine purement terrestre. (Document NASA).

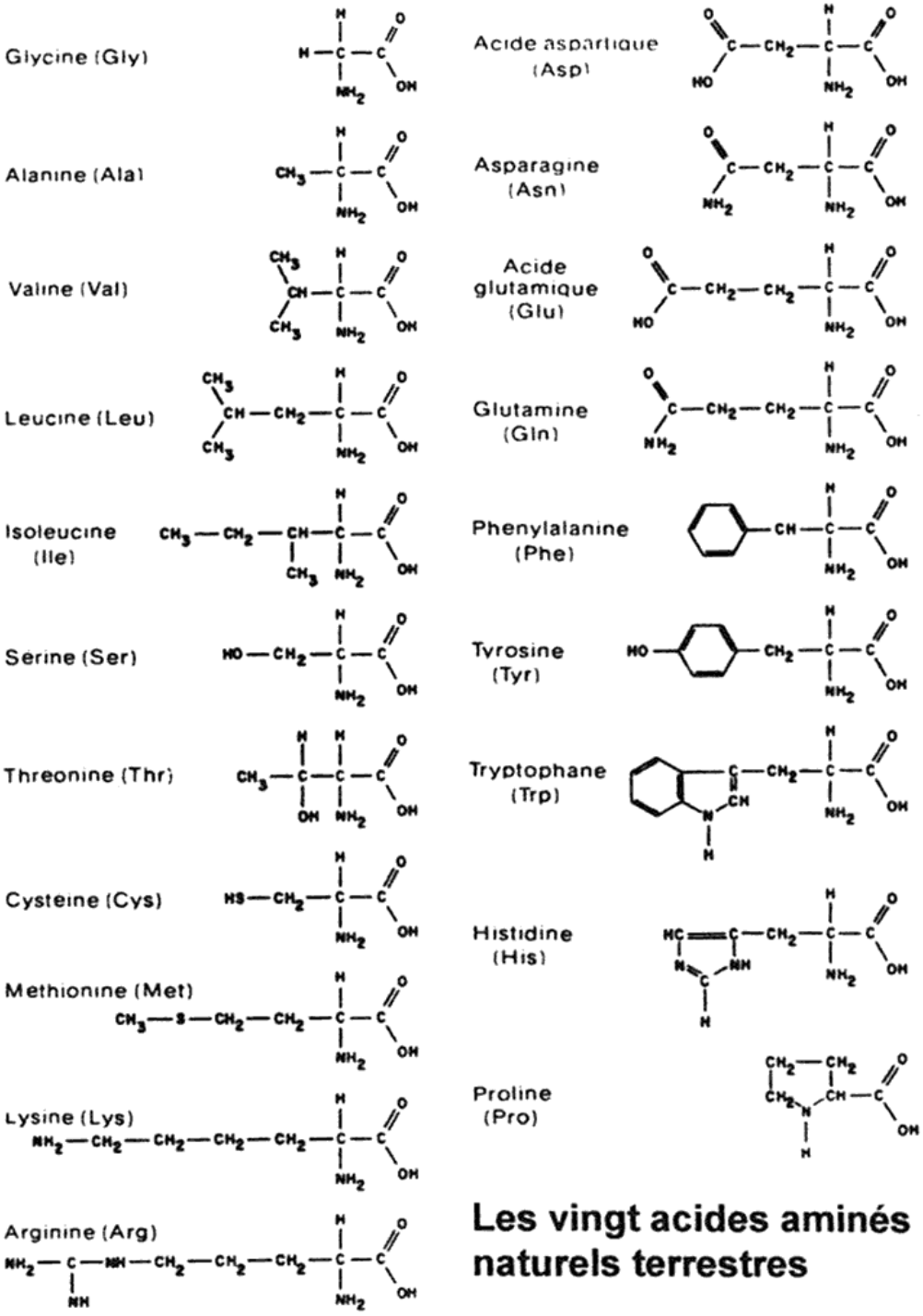


Figure 14-5. **Les vingt acides aminés naturels terrestres**

Le document rappelle le nom et la composition des vingt acides aminés terrestres. De nombreux autres ont été découverts dans certaines météorites carbonées, notamment dans celle de Murchison qui en contient plus de 70 différents. Tous ces acides aminés qui n'existent pas sur la Terre sont donc obligatoirement d'origine extraterrestre et les biochimistes en concluent que la vie existe ailleurs que sur notre planète. (D'après E.L. Orgel).

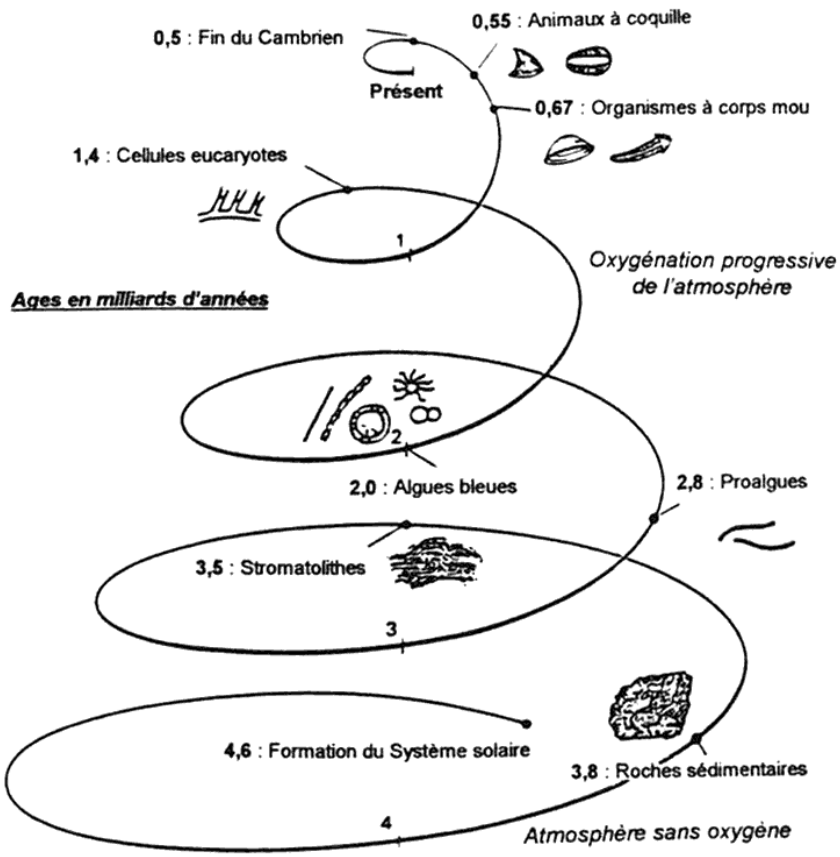


Figure 15-1. **L'histoire biogéologique de la Terre**

Cette histoire de la vie représentée sous forme de spirale ascendante montre bien que les premiers milliards d'années de l'histoire terrestre ont été une simple période d'introduction et de mise en place de la vie, qui a besoin de temps pour s'installer et progresser. La fin du Cambrien figure en haut de la spirale et toute la vie "moderne" est postérieure à ce jalon géologique et biologique. (D'après un document *Pour la Science*).

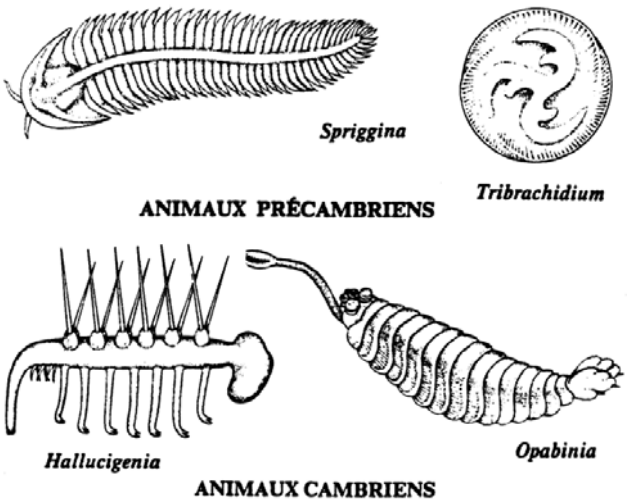


Figure 15-2. **L'explosion de la vie : le Précambrien et le Cambrien**

La figure montre deux créatures de chacune des deux périodes, propices à l'explosion de la vie, mais qui furent également victimes de cataclysmes dévastateurs. On voit que depuis, le facteur *temps* et le facteur *cataclysme* (extinction plus création) ont permis à l'évolution de faire un bond fantastique vers la complexité. Que sera la vie dans 500 millions d'années ?

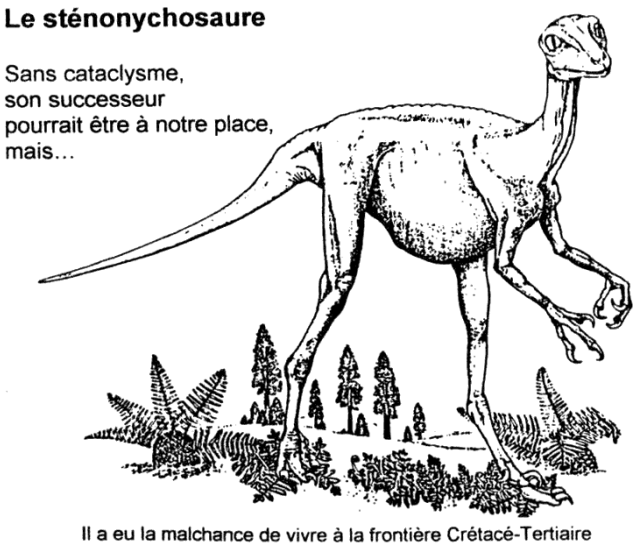


Figure 15-3. **La fin du Crétacé et des Dinosaures**

Cette sympathique bestiole s'appelle le *Sténonychosaure* (et plus précisément *stenonychosaurus inequalis* pour les spécialistes). Il mesurait jusqu'à trois mètres du museau au bout de la queue, et est connu parmi ses congénères pour avoir eu le cerveau le plus gros et donc pour avoir été le plus à même de s'imposer comme le maître de la planète. Le cataclysme de la fin du Crétacé lui a coupé l'herbe sous le pied et a entraîné la disparition quasi totale de tous les dinosaures. Les rares survivants furent à leur tour condamnés durant la période post-impact, très difficile à vivre pour les gros animaux. (Reconstitution du Muséum National des Sciences Naturelles d'Ottawa).

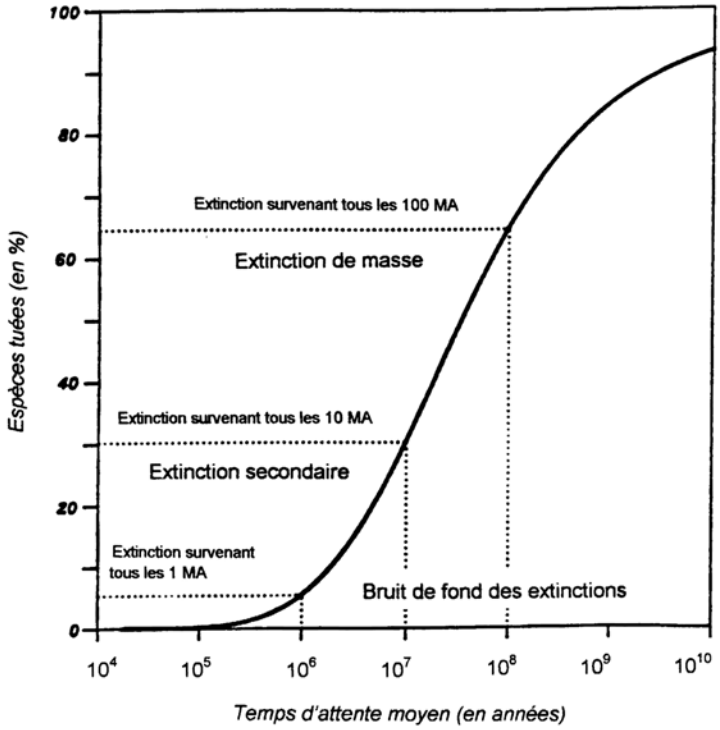


Figure 15-4. **Courbe des espèces tuées**

Le paléontologue américain David Raup, en se basant sur les données chiffrées de Jack Sepkoski Jr., a établi sa célèbre courbe des espèces tuées et a pu définir trois classes d'extinctions : les extinctions de masse, les extinctions secondaires et le bruit de fond des extinctions. Les premières tuent 65 % des espèces tous les 100 MA, les secondes tuent 30 % des espèces tous les 10 MA et les troisièmes tuent 5 % des espèces tous les 1 MA. (D'après D.M. Raup).

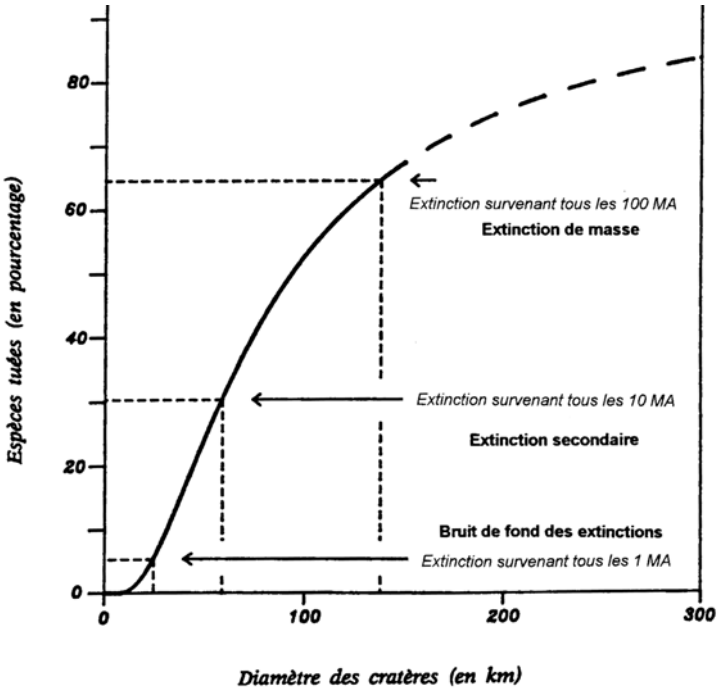


Figure 15-5. **Courbe extinctions-impacts**

David Raup a cru pouvoir associer *extinctions et impacts*, mais sa courbe est moins intéressante que la précédente, puisqu'elle est basée sur les estimations (approximatives) du rythme de formation des cratères de Eugene Shoemaker. D'après cette courbe, un cratère de 140 km, causé par un impacteur de 7 km de diamètre, peut provoquer une extinction de masse. Un cratère de 60 km, causé par un impacteur de 3 km de diamètre, peut provoquer une extinction secondaire. Un cratère de 20 km, causé par un impacteur de 1 km, peut provoquer le bruit de fond des extinctions. (D'après D.M. Raup).

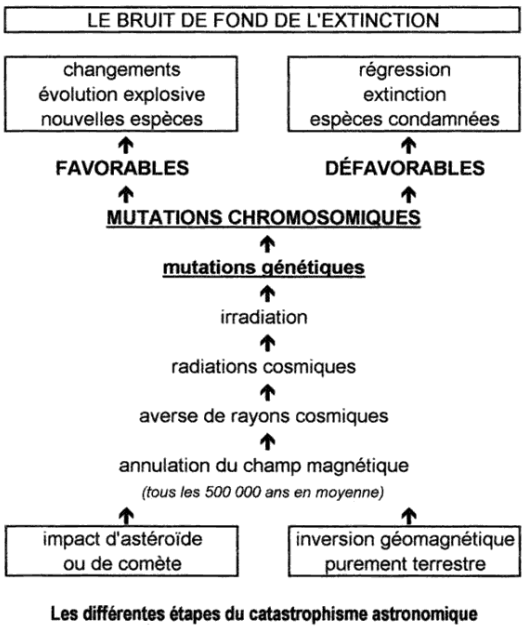


Figure 15-6. **Inversions géomagnétiques et évolution**

Chaque inversion géomagnétique, qu'elle soit purement terrestre ou la conséquence d'un impact, apporte son lot d'extinctions et de mutations. Celles-ci peuvent être favorables, mais aussi parfois défavorables, dans quel cas les espèces visées sont quasiment condamnées à la disparition, ou tout au moins à la régression. Dans le bruit de fond de l'extinction, qui est aussi celui de l'évolution, l'évolution darwinienne a son rôle à jouer. C'est l'évolution "quotidienne" qui a longtemps masqué l'évolution catastrophique. Dans la nature, à l'échelle géologique et astronomique, les deux cohabitent au bénéfice de la diversité et de la complexification.

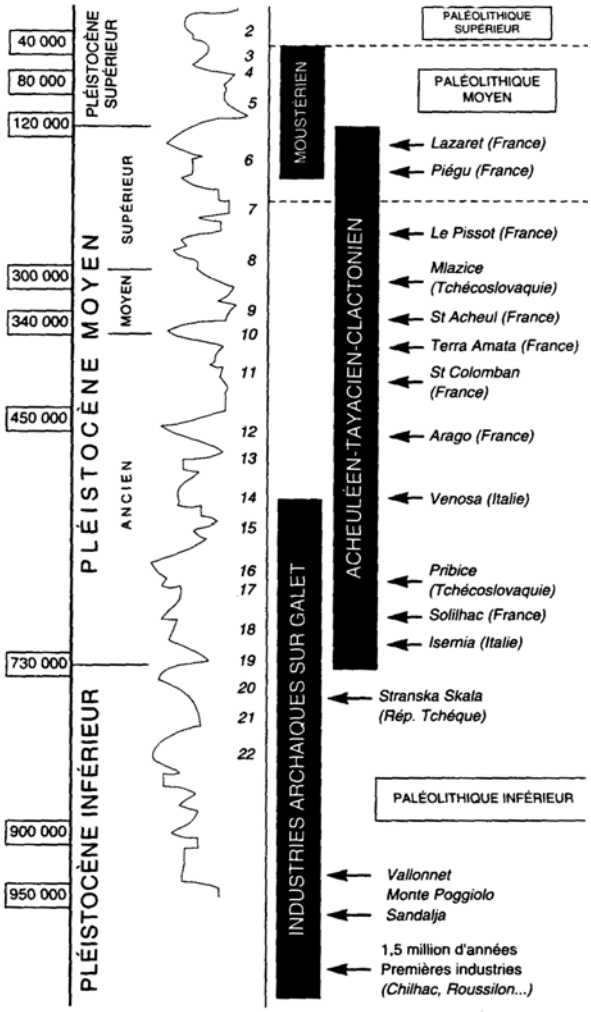


Figure 15-7. **Le paléolithique inférieur en Europe**

Depuis 1 MA, la Terre a successivement connu des périodes chaudes et des périodes froides, auxquelles ont dû s'acclimater pour survivre nos ancêtres directs. La figure montre les variations climatiques ainsi que les industries du Paléolithique en Europe. Bien souvent, les hommes ont souffert de périodes glaciaires, mais ils ont réussi progressivement à améliorer leurs conditions de vie. Quelle est la part du cataclysme dans toutes ces variations climatiques ? On pense que la fin du Pléistocène inférieur, il y a 730 000 ans, pourrait être lié à l'impact de Wilkes Land en Antarctique, causé par un gros astéroïde de plusieurs kilomètres de diamètre. (Document Laboratoire de Préhistoire du Musée de l'Homme).

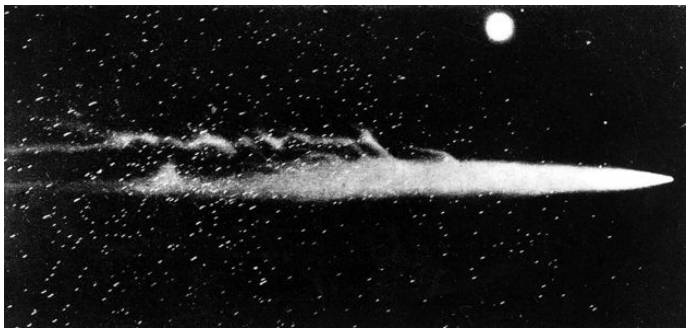


Figure 16-1. **Le balayage de la Terre par les queues cométaires**

Cette photo représente la comète de Halley à l'occasion de son passage au périhélie de 1910. L'annonce que la Terre allait être balayée par la queue de cette comète le 19 mai 1910 et que l'atmosphère pourrait être empoisonnée par des gaz délétères sema la panique chez certaines personnes. En fait, il n'y eu aucun dégât d'aucune sorte. Seul le crépuscule fut d'une beauté très spectaculaire du fait de l'action des poussières cosmiques qui se répandirent dans l'atmosphère.

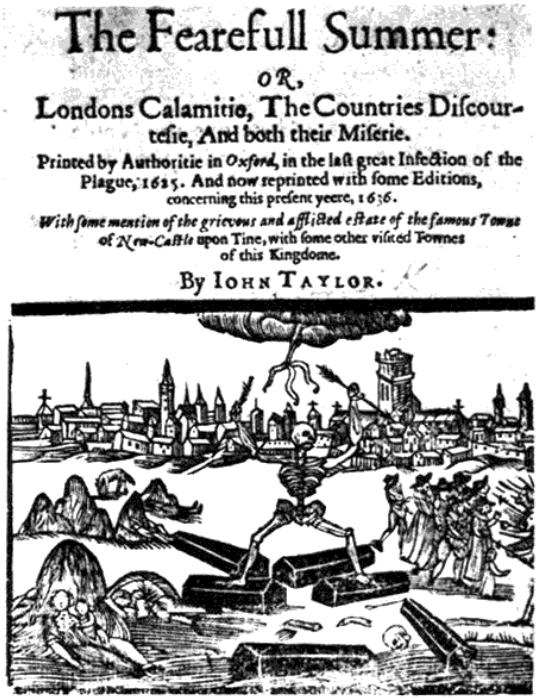


Figure 16-2. **Comètes et panspermie microbienne**

Ce vieux concept de la panspermie microbienne a été remis au goût du jour dans les années 1970 par Fred Hoyle et Chandra Wickramasinghe. Elle laisse très sceptiques la grande majorité des chercheurs actuels, mais sa réalité n'est pas exclue pour autant. La figure montre la couverture d'un livre paru au XVIIe siècle, suite à la terrible épidémie de peste qui ravagea l'Angleterre durant l'été 1625. Ce fut *The Fearefull Summer* (L'été effrayant). Le virus pathogène responsable venait-il du ciel ? Cela paraît très peu probable, d'autant plus dans le cas présent que la seule comète recensée pour l'année 1625 parut en janvier et février, bien avant le déclenchement de l'épidémie.

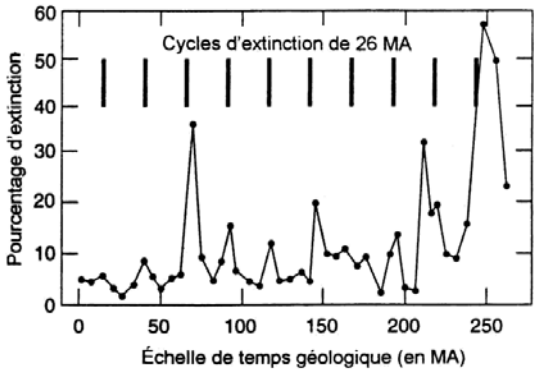


Figure 16-3. **L'hypothèse des extinctions cycliques**

Les paléontologues ont cru pouvoir associer extinctions et cyclicité d'origine cosmique (impacts ou oscillations galactiques). La figure montre les extinctions concernant la vie marine recensées, comparées à une période de 26 MA qui approximativement est acceptable pour deux ou trois d'entre elles. En fait, une telle corrélation est illusoire, l'extinction ne peut être qu'épisodique et accidentelle, variable dans le temps selon le hasard et l'intensité des impacts. (D'après J.J. Sepkoski Jr.).

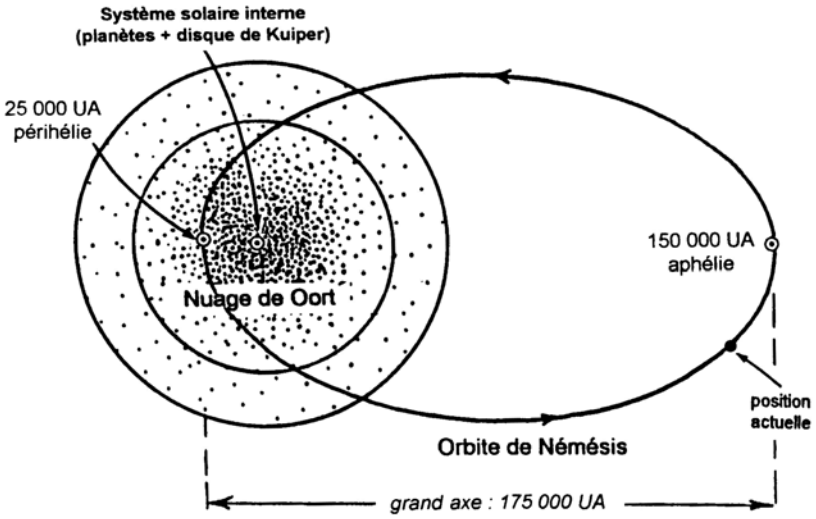


Figure 16-4. **L'hypothèse Némésis, l'étoile sœur du Soleil**

Pour expliquer la cyclicité des extinctions, des astronomes ont imaginé l'hypothèse d'un astre perturbateur : Némésis, l'étoile sœur du Soleil qui serait actuellement proche de l'aphélie et donc inobservable. C'est durant la période proche du périhélie, tous les 26 MA, que Némésis perturberait d'innombrables comètes du nuage de Oort, dont certaines seraient envoyées dans le Système solaire intérieur, vaste territoire figuré par le petit point noir au centre de la figure. Le grand axe de l'orbite serait de l'ordre de 175 000 UA (2,767 a.-l.), le périhélie 25 000 UA du Soleil (0,395 a.-l.), l'aphélie 150 000 UA (2,372 a.-l.) et le demi-grand axe 87 500 UA (1,384 a.-l.). En fait, la cyclicité des extinctions est un mythe et Némésis aussi, comme l'était la Grande Année des Anciens.

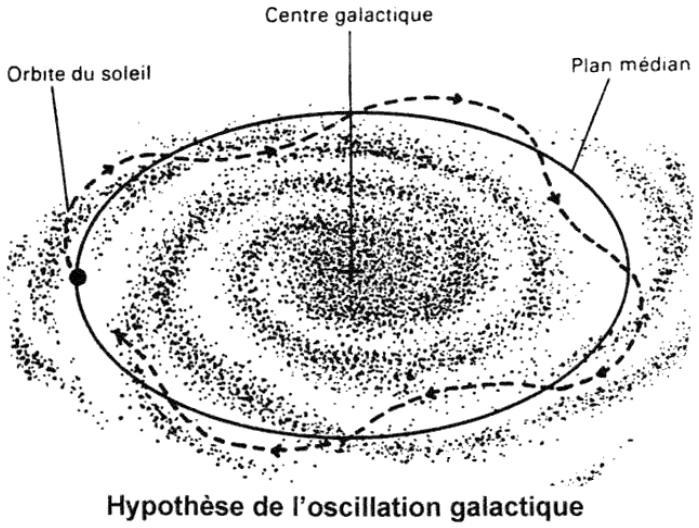


Figure 16-5. **L'hypothèse de l'oscillation galactique**

Dans cette hypothèse, le Soleil et son cortège de planètes et de comètes oscillent de part et d'autre du plan médian galactique, jusqu'à environ 200 années lumière au nord et au sud de ce plan. Ils traversent alors des nuages de poussières galactiques qui les perturbent sérieusement, notamment les comètes qui sont précipitées dans le Système solaire interne et deviennent capables de heurter les planètes. (D'après D. Goldsmith).

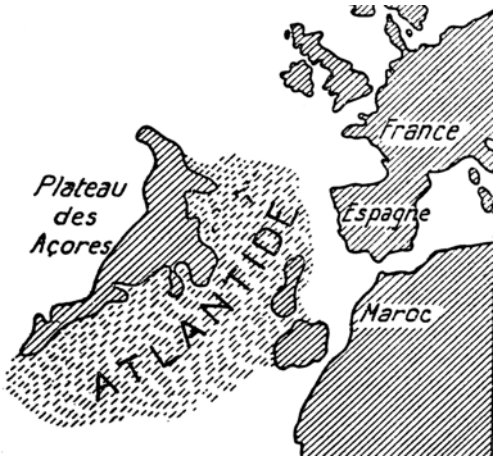


Figure 17-1. **Attention aux cataclysmes imaginaires**

Les cataclysmes du passé sont une certitude, mais il faut bien faire attention de ne pas aller au-delà des observations et indices indiscutables, et il faut éviter de fantasmer sur des *atlantides* imaginaires. Ainsi la figure ci-dessus extraite d'un livre datant des années 1920 était légendée de la manière suivante : " *Carte montrant l'emplacement probable de l'Atlantide d'après les données récentes* ". En fait, cette Atlantide atlantique (celle de Platon) s'est avérée purement imaginaire, comme l'a montré l'étude détaillée des fonds marins de la région. (Document Th. Moreux).

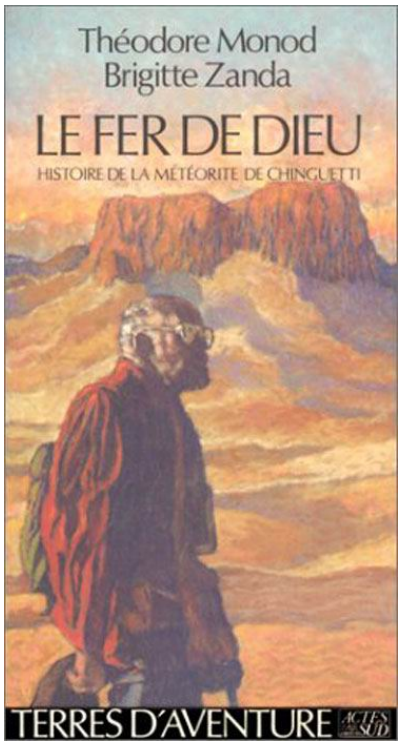


Figure 17-2. **Le fer de Dieu ou la météorite fantôme de l'Adrar**

Couverture du livre de Théodore Monod et Brigitte Zanda sur la fameuse météorite géante de Chinguetti : le fer de Dieu. La montagne dessinée sous le titre est censée représenter ce corps cosmique de 100 mètres de long et de 40 mètres de haut. Cinquante ans d'enquête ont confirmé ce que Monod pensait dès le début : la météorite n'existe pas. Elle restera dans l'histoire de l'impactisme comme la météorite fantôme de l'Adrar, comme l'ont appelée tous ceux qui ont ratissé la région pendant des décennies et toujours sans succès. (Document Éditions Actes Sud).

La région de Chinguetti (Adrar, Mauritanie)

Figure 17-3. **La région de la météorite fantôme de l'Adrar**

Ce croquis de la région de Chinguetti indique les principaux puits de la région, ainsi que le lieu présumé de la météorite géante (Aouinet N'Cher), identifié par Théodore Monod. Le cratère météoritique d'Aouelloul, distant d'une vingtaine de kilomètres, figure également sur la carte, mais il n'est pas de la même époque et n'a donc aucune parenté avec le fer de Dieu. (Document Th. Monod et B. Zanda).

DISCUSSION

LA CATASTROPHE ÉCLATERA-T-ELLE EN MAI 1982 ?

« L'Humanité saura, peut-être, prévenir la guerre nucléaire, mais en attendant elle n'a qu'à se résigner aux calamités naturelles. » C'est par ces propos apocalyptiques que débute un article de l'hebdomadaire américain « Newsweek » commentant l'hypothèse des astronomes John Gribbin et Steven Plageman. Que signifie l'article à sensation paru dans le « Newsweek » ?

La situation réelle des planètes calculée pour mai 1982 à l'Institut de l'astronomie théorique de l'Académie des sciences de l'U.R.S.S.

«EN 1982, les neuf planètes du système solaire s'aligneront ensemble d'un seul côté du Soleil pour former une sorte de « cortège d'honneur » au défilé des astres... Ce rare événement pourrait provoquer de très forts tremblements de terre dans diverses régions du monde. »

Figure 17-4. **L'escroquerie de l'alignement de mai 1982**

Le pseudo-alignement de planètes de mai 1982 (qui a eu lieu en fait le 10 mars !) a été l'occasion d'une véritable escroquerie intellectuelle. Une certaine presse, en mal de sensationnel, a fantasmé a qui mieux mieux sur un possible désastre (devenu probable et même quasi certain chez certains vendeurs de papier !), à base de tremblements de terre meurtriers dans diverses régions du monde. La figure ci-dessus et le commentaire associé en disent long sur la bétise humaine et le mépris affiché du lecteur-gogo. Ils sont extraits de la revue *Études soviétiques* (n° 374 de mai 1979), qui consacrait un article de deux pages à démystifier ce cataclysme imaginaire, annoncé primitivement dans le livre " *L'effet Jupiter* ", écrit par deux chercheurs peu scrupuleux et imprudents, qui ont laissé une bonne part de leur crédibilité dans l'histoire.

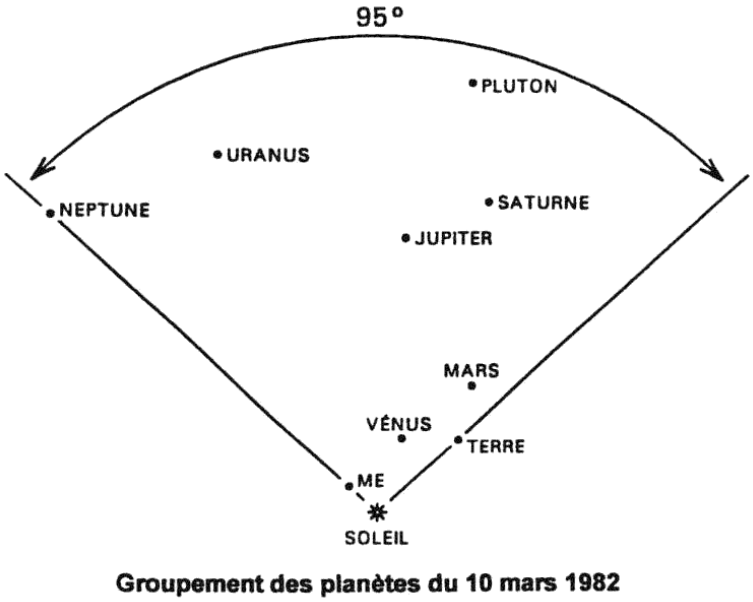


Figure 17-5. **Le groupement des planètes du 10 mars 1982**

Toutes les planètes du Système solaire étaient regroupées dans un secteur de 95° le 10 mars 1982, ce qui ne se produit qu'exceptionnellement. Contrairement à ce qu'ont allégué certains charlatans, prévoyant jusqu'à cinq millions de morts probables (sic !), aucune perturbation spéciale ne découle d'un tel groupement, l'effet de marée annoncé étant tout à fait insignifiant (moins de 2 millimètres !). Et bien entendu, il n'y a pas eu une seule victime. (Document J. Meeus).

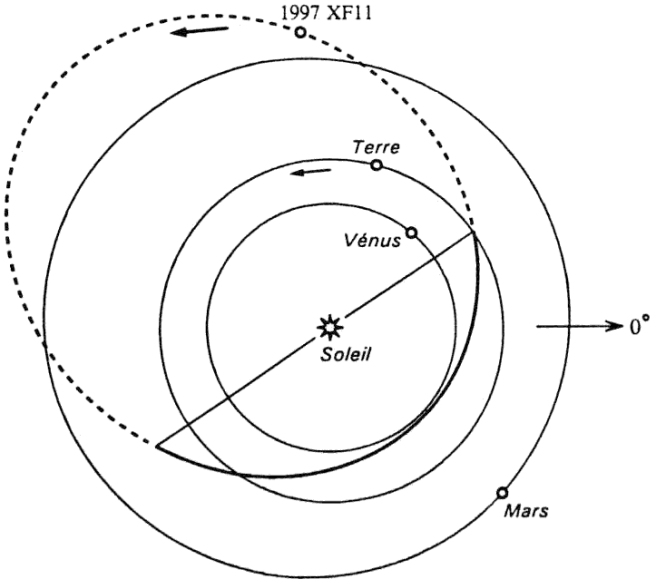


Figure 17-6. **L'orbite de 1997 XF_{11}, "l'astéroïde de l'Apocalypse"**

La figure montre les orbites de 1997 XF_{11}, Vénus, la Terre et Mars, et leurs positions respectives le jour de la découverte de l'astéroïde : le 6 décembre 1997. On voit clairement que le point sensible de l'orbite de 1997 XF_{11} est le nœud *descendant* qui est très voisin de l'orbite terrestre. C'est près de ce point de croisement crucial que se rencontreront les deux corps célestes le 26 octobre 2028. Mais il n'y aura pas d'impact, seulement un rapprochement spectaculaire et très instructif pour rappeler que la menace du ciel est permanente à l'échelle astronomique. Le qualificatif journalistique "astéroïde de l'Apocalypse", pour qualifier 1997 XF_{11}, est un attrape-gogo primaire pour vendre du papier.

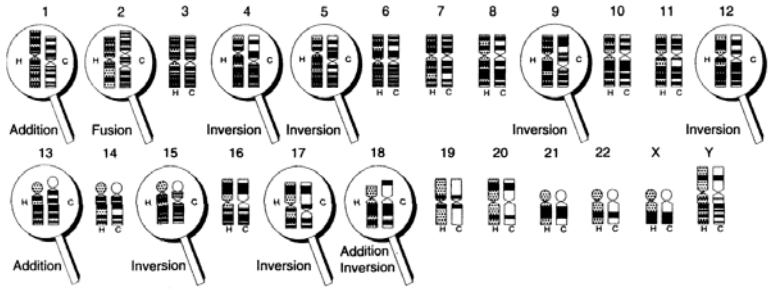


Figure 17-7. **L'Homme et le Chimpanzé : des cousins germains**

L'Homme (H) et le Chimpanzé (C) sont très proches sur le plan chromosomique, mais quelques différences importantes ont été mises en évidence. Nous possédons 22 paires de chromosomes, alors que notre cousin en possède une de plus. Cela provient de la fusion des chromosomes 2 et 3 du Chimpanzé, qui correspondent au chromosome 2 de l'Homme. Dix autres variations sont repérables sur les caryotypes : sept inversions (chromosomes 4, 5, 9, 12, 15, 17 et 18) et trois additions (chromosomes 1, 13 et 18). Le cataclysme a-t-il été la cause de certaines de ces variations ? L'examen de cette figure montre bien que l'hypothèse que le Chimpanzé pourrait être un Homme primitif muté d'une manière récessive est peu crédible, mais l'ancêtre commun ne fait pas de doute. (Document Laboratoire d'Anthropologie biologique du Musée de l'Homme).

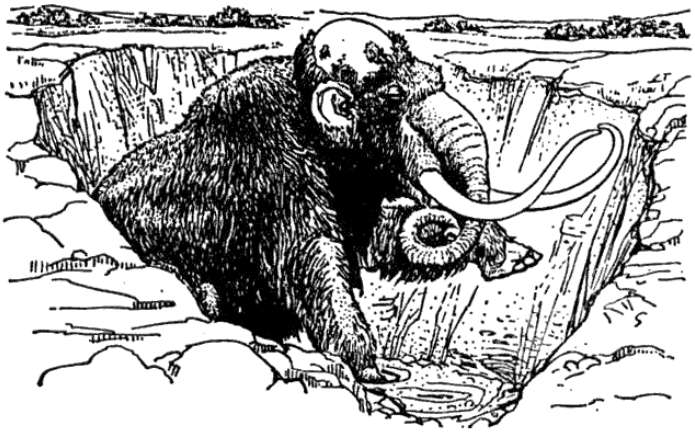


Figure 18-1. **Le Déluge biblique, les créationnistes et les mammouths**

Les créationnistes ont récupéré les travaux (contestés) du géologue américain Charles Hapgood qui milite pour un possible déplacement de la croûte terrestre il y a 12 000 ans et qui aurait pu entraîner entre autres la mort de nombreux mammouths. Légende des créationnistes : *" Ce mammouth a été retrouvé en Sibérie, en position assise. Il fut surpris il y a des milliers d'années, et congelé dans un amas de boue glacée. Il y avait encore de la verdure dans sa bouche et dans son estomac. Sa chair, une fois décongelée, était encore comestible. "* Les créationnistes sont des catastrophistes, non pas pour des raisons scientifiques, mais pour des raisons exclusivement religieuses. Pour eux, la Bible doit être lue littéralement.

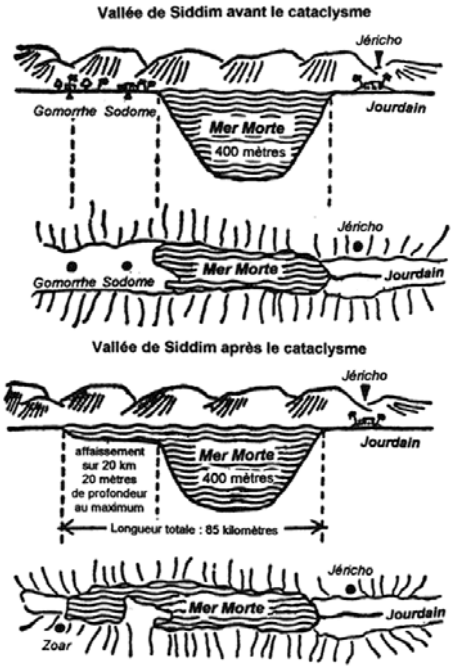


Figure 18-2. **Sodome et Gomorrhe, un cataclysme sismique**

La figure montre la région de la mer Morte, avant et après le cataclysme. En haut, avant le cataclysme, la mer Morte a 65 km de long et Sodome et Gomorrhe sont deux villes au sud du plan d'eau. Après le cataclysme (probablement d'origine sismique), on note un affaissement sur 20 km de toute la région contigue à la partie sud de la mer Morte. Une inondation sur 20 mètres de hauteur noie toute l'ancienne plaine et les deux villes de Sodome et Gomorrhe. Une troisième, plus au sud, Zoar, est épargnée de justesse (grâce à la miséricorde divine d'après la Bible !). La partie sud de la mer Morte a aujourd'hui tendance à s'assécher et la profondeur est réduite souvent à quelques mètres (D'après W. Keller).

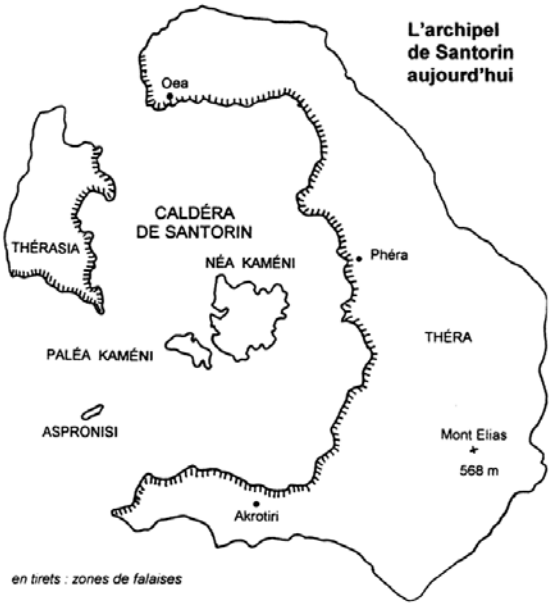


Figure 18-3. **L'archipel de Santorin aujourd'hui**

Vers 1500 avant J.-C., Santorin, l'île des Dieux, était une seule île de forme circulaire avec un sommet qui culminait à plus de 1000 mètres d'altitude, visible loin en mer. Le cataclysme volcanique et sismique a totalement transformé l'aspect de la région qui, aujourd'hui, se présente sous la forme d'un mini-archipel formé de deux îles principales et de trois îlots, avec surtout la grandiose caldéra maritime, avec des falaises abruptes, très impressionnante pour les touristes qui font le voyage pour la première fois.

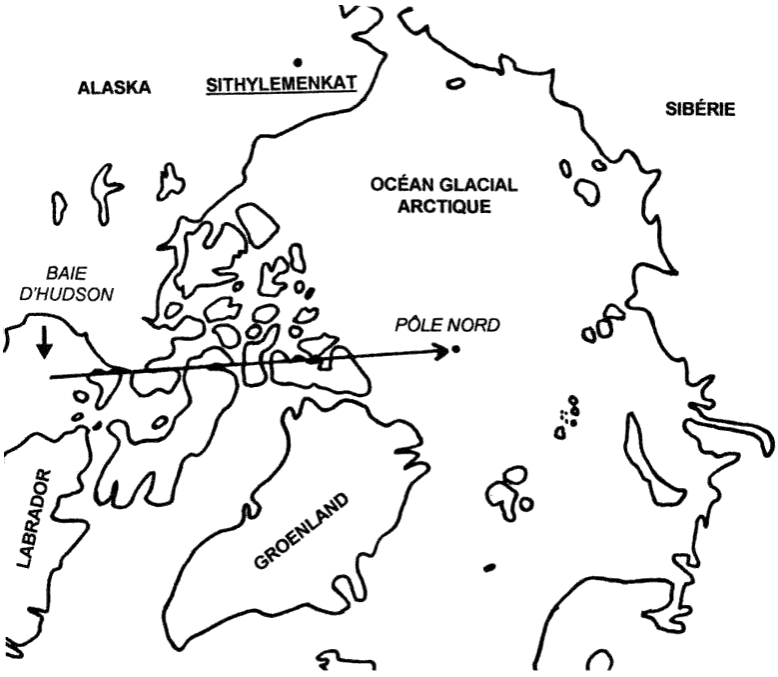


Figure 19-1. **Le dernier déplacement du pôle géographique (hypothétique)**

Bien qu'elle soit repoussée par la quasi-totalité des géophysiciens, la possibilité d'un déplacement de la croûte terrestre il y a 12 000 ans (ou un peu plus) reste crédible, dans la mesure où certains indices plaident en sa faveur et que *les calculs montrent qu'elle est possible*. Cette carte de la région polaire nord, d'après Ch. Hapgood, montre le "chemin du pôle", dont l'ancienne position aurait été la baie d'Hudson. Le cratère alaskaien de Sithylemenkat est mentionné. Sa formation pourrait être liée à la fois à une déglaciation partielle et à un phénomène de force additive ou d'accélération d'un processus de glissement déjà en cours.

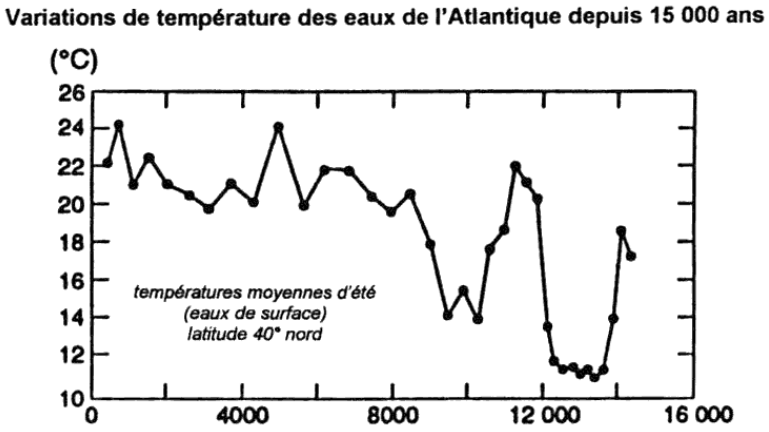


Figure 19-2. **Les variations de température depuis 15 000 ans**

La figure montre la température moyenne d'été des eaux de surface de l'Atlantique vers 40 degrés de latitude nord, d'après l'étude des carottes marines et des micro-faunes qu'elles contiennent. Le résultat est étonnant et montre l'existence de variations très sensibles et très rapides de température, avec des extrêmes pouvant atteindre jusqu'à 5 °C par demi-siècle, ce qui est énorme. Globalement l'écart a atteint 12 degrés (12 °C à 24 °C). La dépression entre –14000 et –12000 et celle centrée autour de –9000 sont suspectes et permettent d'envisager des événements anormaux qui pourraient être des refroidissements consécutifs à des impacts cosmiques corrélés à une diminution sensible, mais provisoire, de l'ensoleillement. Entre –12000 et –11000, la température de l'Atlantique a augmenté de 10 °C, ce que ni la déglaciation, ni la théorie de Milankovic ne peuvent expliquer d'une manière vraiment satisfaisante. (D'après J.-C. Duplessis et P. Morel).

Figure 19-3. **Trajectoire de la comète-astéroïde Sekhmet**

La flèche indique la trajectoire sud-est/nord-ouest suivie par Sekhmet. Les divinités dont les noms sont indiqués sont associées au cataclysme de la fin du XIIIe siècle avant J.-C. L'épopée du Ragnarök concerne tout le nord-ouest de l'Europe (mythologie germanique et scandinave) et date de la même époque comme l'a montré J. Spanuth.

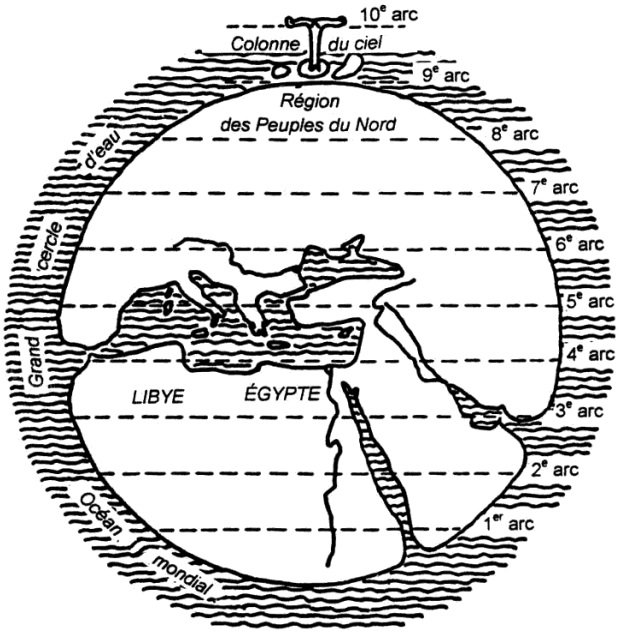


Figure 19-4. **Image du monde des Égyptiens vers 1200 avant J.-C.**

Pour les Égyptiens du XIIIe siècle avant notre ère, le monde se divisait en dix arcs. Le 9e arc était la région occupée par les Peuples du Nord et le 10e arc correspondait à la colonne du ciel. Les Égyptiens de l'époque de Ramsès III sont formels : ce sont les ravages causés par Sekhmet qui obligèrent ces Peuples du Nord à abandonner leurs contrées devenues invivables. C'est l'épisode du Ragnarök de la mythologie germanique et scandinave.

Figure 19-5. **Sekhmet et les Peuples de la mer**

Le cataclysme de la fin du XIIIe siècle avant J.-C. a causé partout sur son passage la désolation et la misère, ruinant et chassant des peuples entiers de leurs terres ancestrales. Certains de ceux-ci se regroupèrent pour former les fameux Peuples de la mer, cohorte hétéroclite de guerriers en quête de nouveaux territoires. Ce personnage qui figure sur les bas-reliefs de Médinet Habou a une coiffe caractéristique des peuples germaniques, comme l'a montré J. Spanuth et est probablement venu des contrées du nord-ouest de l'Europe. On sait par les textes que les pays du neuvième cercle ont été totalement dévastés par un grand cataclysme : le Ragnarök, parvenu jusqu'à nous sous forme de mythe.

Figure 20-1. **Le cratère lunaire Giordano Bruno**

Cette remarquable photographie de la face cachée de la Lune montre un petit cratère très récent, entouré de traînées qui convergent vers lui : c'est Giordano Bruno, cratère de 20 km de diamètre, creusé par l'impact d'un astéroïde de 500 mètres de diamètre, peut-être en 1178. (Document NASA).

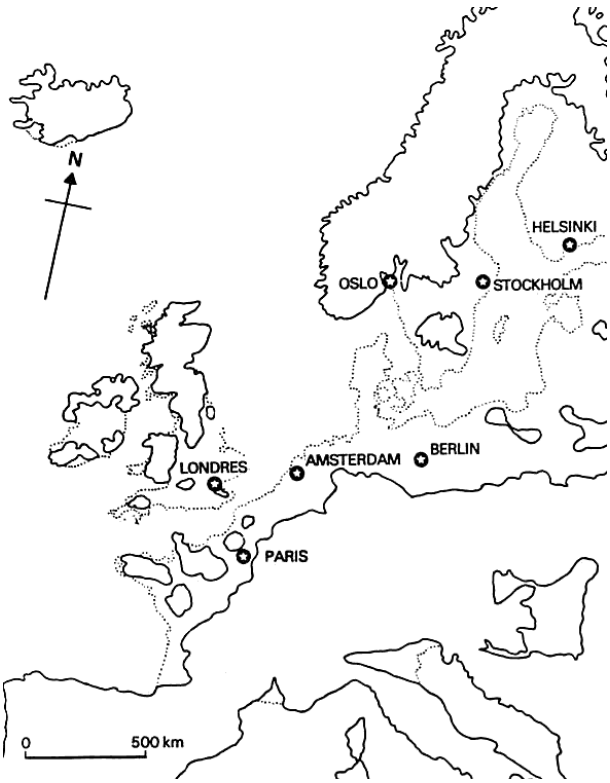


Figure 20-2. **Première menace : la déglaciation**

La menace numéro 1 pour la Terre est la déglaciation qui peut être consécutive à un réchauffement de la température moyenne de quelques degrés seulement. La carte montre ce qu'il adviendrait de l'Europe si les glaces polaires fondaient de 75 %. Les Pays-Bas et le Danemark disparaissent totalement, l'Angleterre, la France et l'Allemagne partiellement. Ce serait une calamité dont on n'a même pas idée. (Document B. Booth et F. Fitch).

Figure 20-3. **Pays et villes noyés par la montée des eaux océaniques**

La montée des eaux serait le pire fléau pour les populations qui vivent au niveau de la mer et à moins de 50 mètres d'altitude. Cette figure est due à Flammarion qui avait noté qu'un simple affaissement d'une cinquantaine de mètres du sol de la France pourrait amener l'Atlantique aux portes de Paris. Il a imaginé Paris au fond de la mer avec des monuments, comme ici l'Opéra, livrés aux poissons et à toute une faune aquatique.

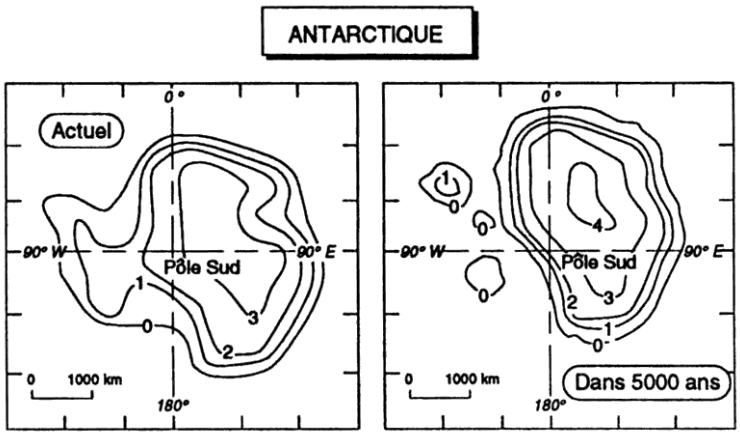


Figure 20-4. **La déglaciation de l'Antarctique**

L'Antarctique est le réservoir de glace de la planète, et à ce titre ce continent attire l'attention de tous les glaciologues et de tous les climatologues. La figure de gauche représente l'inlandsis actuel et celle de droite l'Antarctique dans 5000 ans avec un réchauffement de 4 °C lié principalement à l'effet de serre. Les courbes de niveau sont en kilomètres. Selon les simulations, la hausse du niveau des mers correspondante serait en gros de 0,5 mètre en 100 ans, de 3 mètres en 1000 ans et de 4 à 5 mètres en 5000 ans. (Document C. Lorius, d'après W. Budd *et al*.).

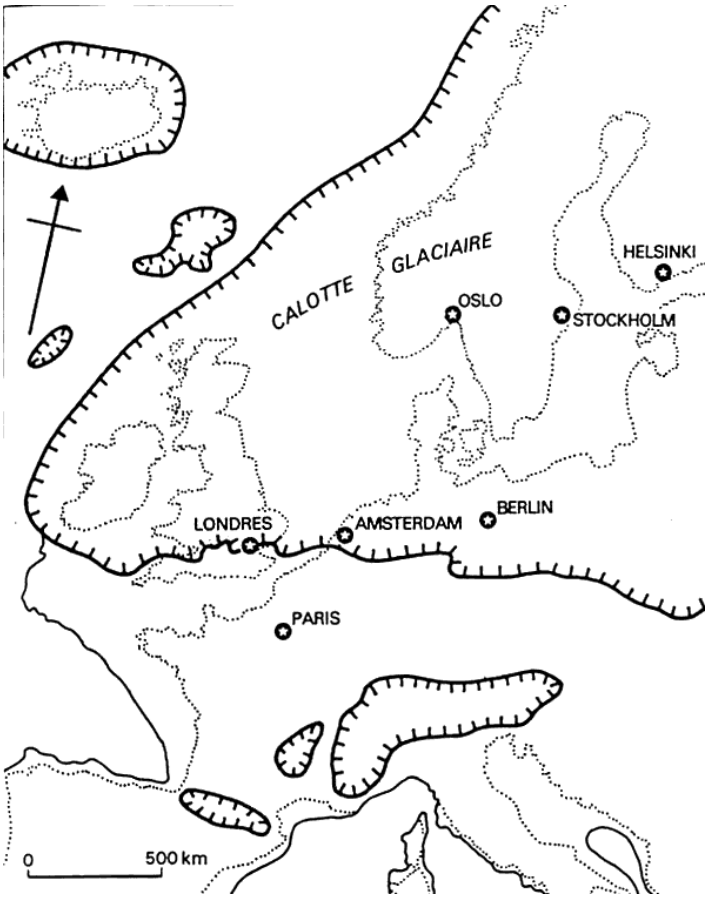


Figure 20-5. **Deuxième menace : la glaciation**

L'autre menace serait une nouvelle glaciation, calamité qui apparaît quand même moins dramatique que la déglaciation, même si la vie de l'humanité s'en trouverait sérieusement transformée. Les glaciers reprendraient une place qu'ils ont déjà connue dans le passé, avec pour l'Europe une limite sud qui pourrait passer par Londres et Amsterdam. Le niveau de la mer rebaisserait de plus de 100 mètres, libérant progressivement le talus continental actuellement recouvert par les eaux, et pourrait même retrouver son niveau minimal d'il y a 18 000 ans. (Document B. Booth et F. Fitch).

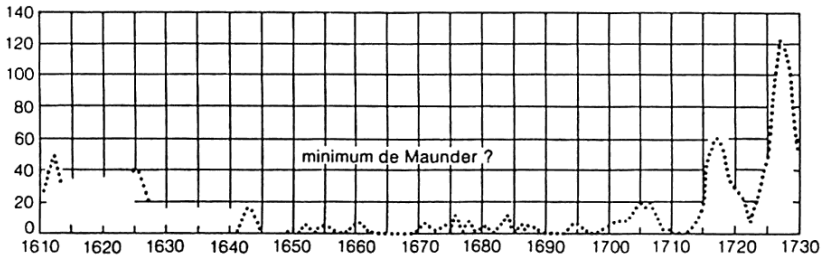


Figure 20-6. **Les bas et les hauts de l'activité solaire**

Cette figure montre l'activité solaire entre 1610 et 1730 (voir aussi les figures 8-3 et 8-4). Étonnamment, l'activité solaire a été quasiment nulle entre 1645 et 1715 durant le "minimum de Maunder". Cette période creuse semble indiquer que le Soleil est à la fois capable d'une activité (relativement) très diminuée, mais aussi qu'à la période actuelle normale, pourrait dans l'avenir succéder une période exceptionnelle, avec comme conséquence une période de rayonnements accrus, surtout si l'intensité du champ magnétique continue de diminuer. (Document Bureau des Longitudes).

FRANCE-SOIR
n° 14212 - Jeudi 19 avril 1990

300 SAVANTS AU CHEVET DE NOTRE PLANÈTE MALADE

Alerte : la chaleur menace la Terre

La température globale a augmenté de 0,7°C en cent ans. A cause de la pollution et de l'effet de serre, elle risque de croître de 4,5°C dans les soixante ans à venir. Alors, toutes les glaces du monde fondraient...

ALERTE : LA TERRE BRULE-T-ELLE ?

LES CONSEQUENCES D'UN RECHAUFFEMENT GLOBAL DE LA TERRE SERAIENT TERRIBLES

Quelques degrés de plus et ce sera l'apocalypse

Figure 20-7. **L'augmentation de la température fait peur**

Depuis le début des années 1970, les scientifiques ont bien compris que la température globale de la Terre a bel et bien augmenté depuis un siècle et que le mécanisme ne peut que s'amplifier. La presse reprend souvent les propos alarmistes des scientifiques pour faire peur aux gens. La figure reprend les titres de *France-Soir* du 19 avril 1990, à l'occasion d'un congrès sur le sujet. On se rend bien compte qu'une mini-déglaciation due à un impact dans les zones polaires pourrait avoir des effets désastreux et déboucherait sur une augmentation du niveau des eaux océaniques. L'augmentation de l'effet de serre, associée à une légère augmentation de l'activité solaire, pourrait quasiment arriver au même résultat.

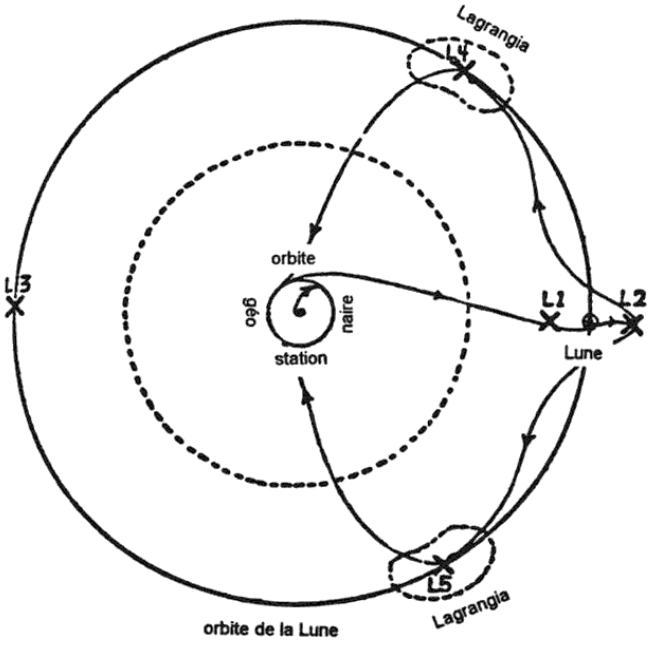


Figure 20-8. **L'impératif extraterrestre : les colonies de l'espace**

S'il veut survivre sous sa forme actuelle, l'homme devra s'expatrier, tous les catastrophistes mais aussi les exobiologistes en sont convaincus. D'où cette idée des cités de l'espace imaginées par l'ingénieur spatial américain G. O'Neill. Les points de Lagrange L4 et L5, baptisés *Lagrangia*, pourraient accueillir des colonies humaines très nombreuses, capables d'assurer une survie notable en cas de cataclysme terrestre de grande ampleur (impact ou autre) qui rendrait la Terre invivable pour une longue période. Le petit cercle autour de la Terre est l'orbite géostationnaire. L'orbite en pointillé est celle où les attractions terrestre et lunaire sont égales. (D'après G. O'Neill).

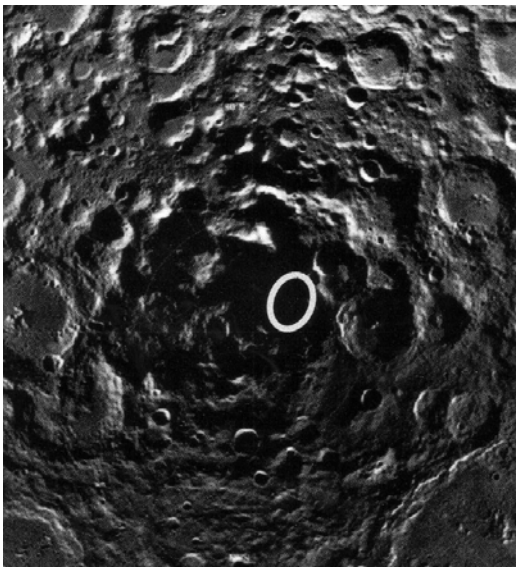


Figure 20-9. **L'impératif extraterrestre : rendre la Lune habitable**

On le sait maintenant : il y a de l'eau sur la Lune. Cette formidable découverte, soupçonnée dès 1994 par la sonde *Clementine* pour le pôle sud, simplifiera l'installation de bases humaines, puisqu'on a déjà calculé que la glace lunaire (estimée à 33 millions de tonnes de glace d'eau) pourrait permettre à une communauté de 2000 personnes de vivre pendant un siècle. Cette photo du pôle sud prise par la sonde *Lunar Prospector* montre le réservoir de glace qui permettra une installation accélérée de colonies humaines sur notre satellite. Voir aussi la figure 5-4 qui concerne le pôle nord. Ces deux régions polaires seront probablement privilégiées quand il faudra choisir des sites où l'homme sera le plus en sécurité, du fait que certains cratères ne sont jamais éclairés par le Soleil. (Document U.S. Department of Defense).

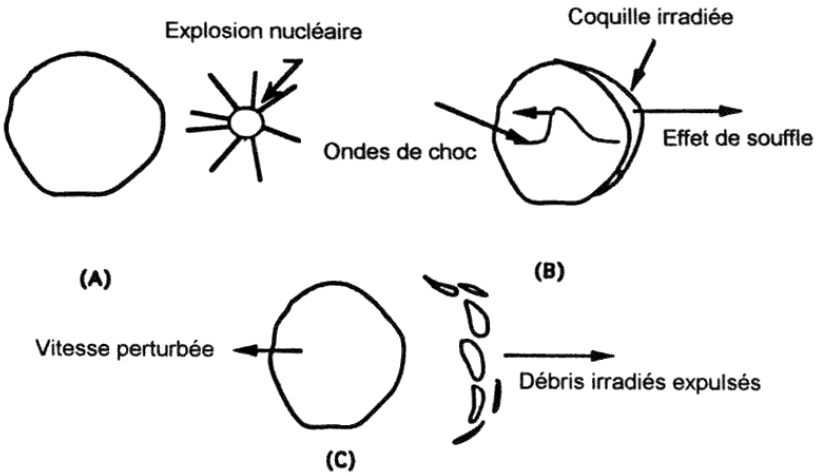


Figure 20-10. **Faire face aux impacts : l'option nucléaire sans impact direct**

Le scénario prévu a pour but de modifier la vitesse de l'objet dangereux d'environ 1 centimètre par seconde, ce qui est peu mais semble-t-il suffisant pour le détourner suffisamment et éviter un impact. En A, l'explosion nucléaire a lieu à proximité du NEO à une distance bien précise ($\sqrt{2} - 1$)R, R étant la valeur du rayon de l'objet. En B, une partie de la surface est irradiée et l'onde de choc produit des perturbations. En C, la coquille irradiée est arrachée de l'objet, entraînant une perturbation dans la vitesse. C'est le 1 cm/s requis pour modifier l'orbite. (D'après T.J. Ahrens et A.W. Harris).

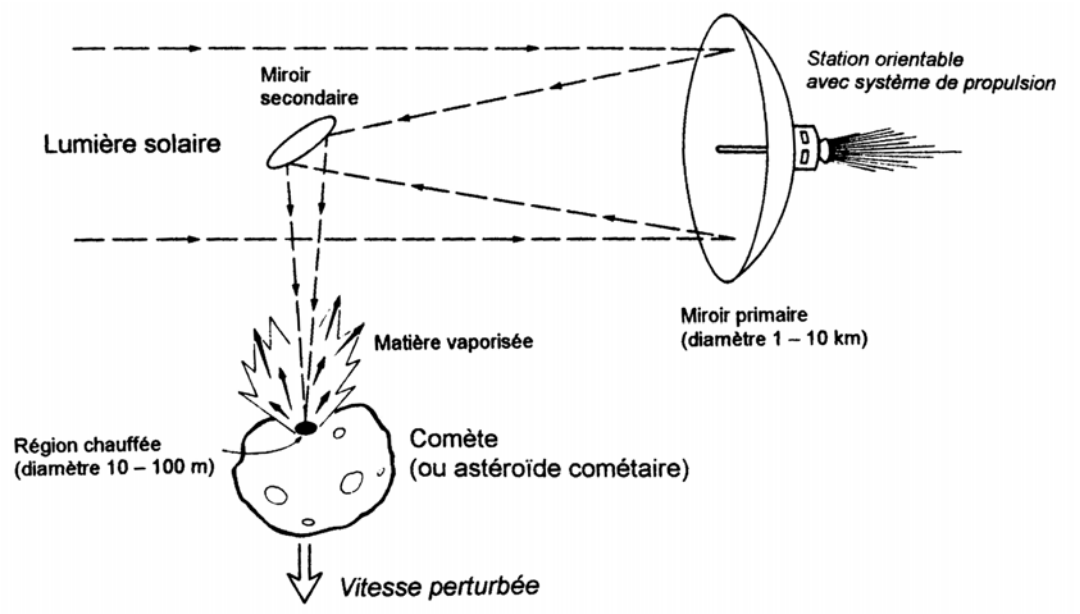


Figure 20-11. **Faire face aux impacts : l'option du miroir géant**

Cette option est prévue pour faire fondre une partie d'une grosse comète détectée longtemps à l'avance ou un astéroïde cométaire recouvert d'une carapace protectrice peu épaisse. Un miroir primaire géant focalise d'abord sur un miroir secondaire orienté sur l'objet la lumière du Soleil, faisant fondre une partie de la surface. Comme dans l'option nucléaire, cette perte de masse entraîne une variation de vitesse qui modifie suffisamment l'orbite. Ainsi l'impact calculé avant l'opération de sauvegarde est remplacé par une approche plus ou moins serrée, mais sans danger pour la Terre. (D'après H.J. Melosh, I.V. Memchinov et Y.I. Zetzer).

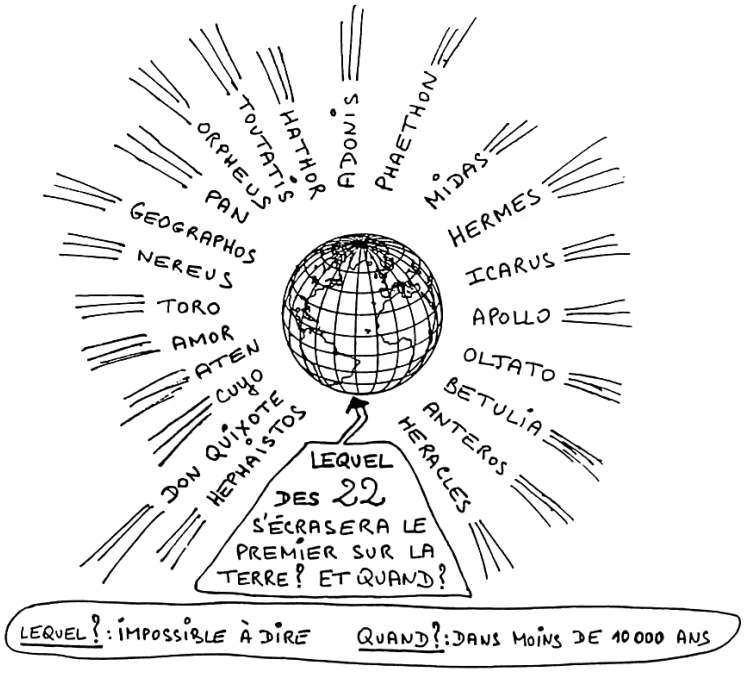


Figure 20-12. **Les NEA : une menace permanente, sans cesse renouvelée**

La figure montre 22 NEA, parmi des milliers d'autres, qui sont ou seront une menace pour la Terre. Tous ne heurteront pas notre planète dans l'avenir, mais on ne sait rien encore du futur impact. Il est fort probable d'ailleurs que ce prochain impact ne concernera aucun des 22 NEA de la figure, mais plutôt l'un des innombrables objets dangereux non encore répertoriés.

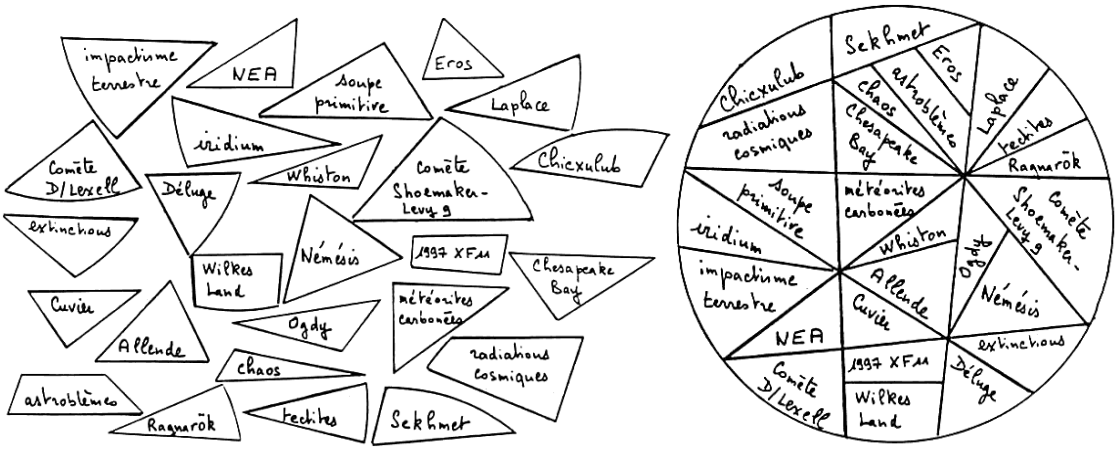


Figure C-1. **Le puzzle du catastrophisme**

Ce livre montre combien l'impactisme et le catastrophisme prennent en compte une multitude de données souvent disparates. Les 26 pièces de ce puzzle concernent l'impactisme, le catastrophisme et leur histoire. Chaque élément y trouve sa place à côté des autres. On voit bien la diversité des pièces et donc la nécessaire mise en place d'une multidisciplinarité *acceptée par tous*, ce qui n'a pas été toujours le cas jusqu'à présent.

LA CHAINE SANS FIN DES CATASTROPHISTES						
Antiquité 1	Hésiode	Euripide	Démocrite	Platon	Epicure	Bérose
Antiquité 2	Cléomède	Sénèque	Ovide	Pline	Saint-Jean	Origène
Moyen Age	théologiens diluvianistes et catastrophistes religieux restés anonymes					
17e siècle	Burnet	Whiston	Halley	Scheuchzer	Boulanger	Leibniz
18e siècle	Laplace	Bailly	Blumenbach	Lalande	Deluc	Maupertuis
19e siècle	Cuvier	d'Orbigny	Brongniart	Donnelly	Murchison	Agassiz
1901-1949	Flammarion	Vernadsky	Milankovic	Opik	Hoyle	Velikovsky
années 1950	de Laubenfels	Muck	Spanuth	Dachille	Kelly	Hapgood
années 1960	Gallant	Dietz	Urey	Kolosimo	Heezen	Glass
années 1970	Alvarez	Weihaupt	Kaiser	Wickramasinghe	Warshofsky	Michanovsky
années 1980	Clube	Napier	Combes	Capart	Raup	Delsemme
années 1990	Flem-Ath	Steel	Bailey	Asher	Verschuur	Baillie
et bien sûr beaucoup d'autres qui pourraient figurer dans cette liste						

Figure C-2. **La chaîne sans fin des idées catastrophistes**

Le catastrophisme est un concept qui remonte à la nuit des temps, et d'innombrables chercheurs ont tenté de le faire admettre à leurs contemporains comme une réalité *scientifique* et pas seulement *religieuse*. Cette figure rappelle le nom de 66 d'entre eux, des diverses sciences intéressées et de toutes les époques, qui ont écrit sur le bien-fondé des idées catastrophistes au sens large. Des centaines d'autres pourraient, évidemment, voir leur nom apparaître sur cette figure qui se veut un clin d'œil à cette chaîne intemporelle et informelle, aujourd'hui indestructible, mais qui a longtemps été bien fragile. Notamment, il faut le rappeler, dans la première moitié du xxe siècle, période durant laquelle il ne faisait pas bon pour un chercheur de s'annoncer ouvertement catastrophiste.

Les trois grandes leçons du catastrophisme

1 LE CATACLYSME EST LA RÈGLE PARTOUT, TOUJOURS

2 LA VIE ET LA MORT VIENNENT DU COSMOS

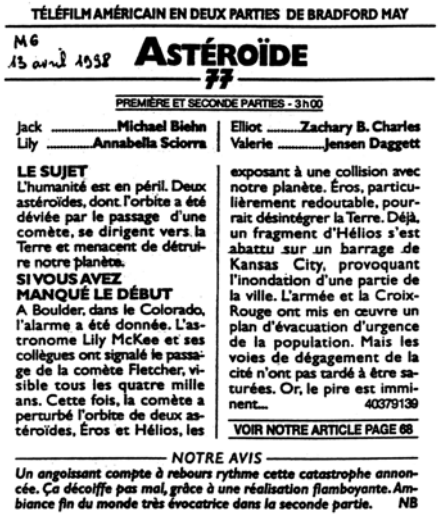
3 L'HOMME EST LE FRUIT DU CATACLYSME

Figure C-3. **Les trois grandes leçons du catastrophisme**

Cette figure résume **les trois points clés de ce livre**, points que nous avons tenté d'expliciter dans les différents chapitres. Ce sont : 1/ ***Le cataclysme est la règle, partout, toujours*** ; 2/ ***La vie et la mort viennent du cosmos*** ; 3/ ***L'homme est le fruit du cataclysme***, ***cataclysme qui appelle aussi sa destruction dans l'avenir.*** Cette triple vérité est aujourd'hui incontournable, mais elle peut demander plusieurs décennies pour être admise par tous, notamment ceux pour qui la religion doit primer le reste, malgré ses insuffisances criantes. Une chose est certaine : les chercheurs catastrophistes, quelle que soit leur spécialité, sont les acteurs d'une véritable *révolution scientifique et culturelle*, révolution qui ne pourra être pleinement assimilée qu'à très long terme.

Figure C-4. **Informer : la presse scientifique**

La presse scientifique, généraliste ou plus spécialisée (astronomique surtout), a évidemment un grand rôle à jouer dans l'information concernant les nouvelles découvertes, la vulgarisation des diverses données enregistrées (notamment les formidables photos obtenues par les sondes spatiales) et des hypothèses envisagées par les spécialistes. La figure rappelle quelques titres d'articles parus dans la presse depuis quelques années et concernant les différents sujets traités dans ce livre. Les titres sont parfois un peu ronflants, mais les articles sont très souvent intéressants et instructifs pour qui veut s'instruire. Quelques articles excessifs ne doivent pas faire oublier la bonne qualité de la presse scientifique, aussi bien en France qu'à l'étranger.



TÉLÉFILM AMÉRICAIN EN DEUX PARTIES DE BRADFORD MAY

M6 13 avril 1998

ASTÉROÏDE 77

PREMIÈRE ET SECONDE PARTIES - 3h00

Jack .....Michael Biehn
Lily .....Annabella Sciorra
Elliot .....Zachary B. Charles
Valerie .....Jensen Daggett

LE SUJET
L'humanité est en péril. Deux astéroïdes, dont l'orbite a été déviée par le passage d'une comète, se dirigent vers la Terre et menacent de détruire notre planète.

SI VOUS AVEZ MANQUÉ LE DÉBUT
A Boulder, dans le Colorado, l'alarme a été donnée. L'astronome Lily McKee et ses collègues ont signalé le passage de la comète Fletcher, visible tous les quatre mille ans. Cette fois, la comète a perturbé l'orbite de deux astéroïdes, Éros et Hélios, les exposant à une collision avec notre planète. Éros, particulièrement redoutable, pourrait désintégrer la Terre. Déjà, un fragment d'Hélios s'est abattu sur un barrage de Kansas City, provoquant l'inondation d'une partie de la ville. L'armée et la Croix-Rouge ont mis en œuvre un plan d'évacuation d'urgence de la population. Mais les voies de dégagement de la cité n'ont pas tardé à être saturées. Or, le pire est imminent... 40379139

VOIR NOTRE ARTICLE PAGE 68

NOTRE AVIS

Un angoissant compte à rebours rythme cette catastrophe annoncée. Ça décoiffe pas mal, grâce à une réalisation flamboyante. Ambiance fin du monde très évocatrice dans la seconde partie. NB

Figure C-5. **Informer : la télévision**

Le meilleur moyen de faire connaître le danger d'origine cosmique aux gens qui ignorent tout de la science est de les informer sous des formes qui les intéressent et même les captivent. La télévision est évidemment le support le plus approprié car elle peut atteindre le plus grand nombre, et surtout ceux qui ne lisent quasiment jamais un livre ou une revue. La multiplication des films et des téléfilms catastrophes est donc une très bonne chose. La figure concerne la présentation du téléfilm américain " *Asteroid* " (" *Astéroïde* " dans la version française) dans un journal spécialisé. Ce téléfilm à suspense, en deux épisodes et d'une durée totale de près de trois heures, concerne l'impact sur la Terre de deux astéroïdes détournés de leur orbite par une comète : Hélios et Éros.

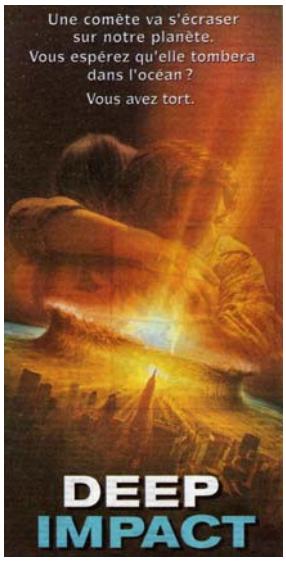


Figure C-6. **Informer : le cinéma**

Après le film *Meteor*, qui a eu un excellent effet pédagogique en 1979 lors de sa sortie dans les salles, le film catastrophe astronomique était resté un peu dans l'ombre. L'actualité astronomique de la fin des années 1990 a donné l'idée de nouveaux films destinés à la fois à informer et "à faire peur" à ceux qui aiment cela. La figure montre la publicité parue dans de nombreuses revues à l'occasion de la sortie, au printemps 1998, du film américain *Deep impact* qui concerne l'impact d'une comète sur la Terre.

tele 7 jours

1er mai 90

FUJI

Fou de ciné

UNE ÉMISSION PROPOSÉE PAR ARMAND JAMMOT DEPUIS LE PALAIS DE LA DÉCOUVERTE

20.40 LES DOSSIERS DE L'ÉCRAN

UN FILM AMÉRICAIN DE RONALD NEAME (1979) – DURÉE : 1 h 45

Le docteur Paul Bradley	Sean Connery	IMAGES DE PAUL LOHMANN MUSIQUE DE JOHN WILLIAMS	Le président des Etats-Unis	Henry Fonda
Tatiana Donskaya	Natalie Wood		Le général Easton	Joseph Campanella
Harry Sherwood	Karl Malden		Rolf Manheim	Bo Brundin
Le docteur Alexei Dubov	Brian Keith		Jan Watkins	Katherine De Hetre
Le général Adlon	Martin Landau		Alan Marshall	James G. Richardson
Sir Michael Hughes	Trevor Howard		Bill Hunter	Roger Robinson
Le secrétaire à la défense	Richard Dysart		Sam Mason	Michael Zaslow

Météor

SCÉNARIO DE STANLEY MANN ET EDMUND H. NORTH D'APRÈS UNE HISTOIRE DE EDMUND H. NORTH

Sous-titrage visible avec décodeur

LE SUJET

De nos jours aux États-Unis, des scientifiques américains et soviétiques associent exceptionnellement leurs efforts pour protéger la Terre d'un gigantesque cataclysme.

SI VOUS AVEZ MANQUÉ LE DÉBUT

Le docteur Bradley, ancien astrophysicien de la NASA, participe à une course de voiliers lorsqu'il est appelé d'urgence au siège de l'organisation. Son directeur Harold Sherwood lui annonce une nouvelle des plus graves.

Une collision vient de se produire dans l'espace entre une comète et l'astéroïde Bell. Ce dernier, en explosant, a libéré une énorme météorite qui, accompagnée de cinq fragments plus petits, se dirige vers la Terre. Bradley est le seul à pouvoir sauver la situation grâce au satellite Hercule, dont il est le « père », qui gravite autour de la planète, porteur d'une charge nucléaire. Mais son utilisation va poser aux autorités américaines un grave problème politique : l'obligation d'avouer que le satellite était utilisé à des fins militaires, braqué en permanence sur le territoire de l'Union soviétique...

Sherwood (Karl Malden), Paul Bradley (Sean Connery) et Tatiana (Natalie Wood)

NOTRE AVIS

Film catastrophe. Auteur du célèbre « Odyssée du Poséidon », Neame, avec de gros moyens, réalise brillamment ce film, qui repose sur des données scientifiques plausibles. On se sent concerné par l'éventualité d'une telle catastrophe.

Cote Télé 7 Jours et Chrétien-Médias cinéma : pour tous

22.30 LE DÉBAT

PRÉPARÉ PAR ANNE-MARIE LAMORY, LAURE BAUDOUIN. PRÉSENTÉ PAR MICHEL MEYER. RÉALISÉ PAR JEAN-LUC LERIDON

Le ciel peut-il nous tomber sur la tête ?

De tout temps, l'homme s'est posé des questions sur la voûte céleste. Une première réponse lui fut donnée par des mages et des philosophes mais, depuis, la conquête de l'espace a permis d'en élucider les mystères. L'avènement des satellites en 1961 bouleverse les stratégies militaires et politiques.

Les « Dossiers » de ce soir évoquent la naissance de l'univers, la conquête de l'espace mais aussi le cheminement des météorites et des comètes dont certaines frôlent dangereusement la Terre. L'une d'elles, Icare, qui passe près de la Terre tous les dix-neuf ans fait l'objet d'une surveillance constante. Si elle s'écrasait sur la Terre, celle-ci pourrait se retrouver à l'ère glaciaire ou sous une canicule dévastatrice. Un projet « Explosion » est prévu si le fait devait se produire.

Invités : **Jean Audouze**, directeur de recherches au CNRS, astrophysicien, conseiller scientifique du président de la République ; **Geneviève Debourg**, directrice du programme scientifique du Centre national d'études spatiales ; **Alfred Vidal Madjar**, de l'Institut d'astrophysique de Paris, directeur de recherches au CNRS ; **Jean-Jacques Dordain**, responsable de l'utilisation de la station spatiale à l'Agence européenne spatiale ; **Gérard Brachet**, P-DG de Spot Images ; **Victor Favorine**, conseiller scientifique de l'ambassade soviétique à Paris.

■ *« Météor » a nécessité deux ans de travail et le concours de spécialistes en astronomie, dont l'astronaute Ronald Evans, pilote du vaisseau mère de la mission Apollo 17. Son scénario s'appuie sur des faits scientifiques tels que le passage de météorites à des distances relativement proches de la Terre, voire de leur chute à deux reprises, en Sibérie, depuis le début du siècle. Les effets spéciaux sont signés Glen Robinson, titulaire de quatre Oscars.*

Figure C-7. **Le film *Meteor* : cinéma et débats**

Régulièrement, la télévision repasse le premier film catastrophe de bon niveau sur l'impact d'un astéroïde sur la Terre : *Meteor*. Les passages télévisés du 25 juin 1984 (sur TF1) et du 1er mai 1990 (sur France 2) furent associés à des débats avec des spécialistes scientifiques et des politiques. Cette vulgarisation doit être encouragée car elle permet à de nombreux citoyens totalement ignorants du sujet de s'informer sur la réalité d'un possible danger. Ce qui n'empêchera pas la panique, si un impact sérieux était annoncé dans l'avenir.

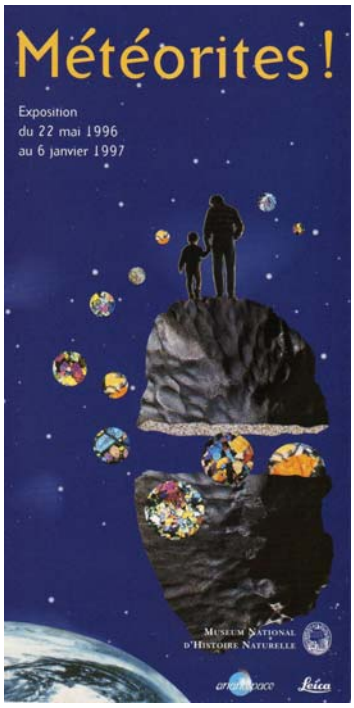


Figure C-8. **Informer : les expositions**

Cette figure montre l'affiche de la formidable exposition " *Météorites !* ", organisée au Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, du 22 mai 1996 au 6 janvier 1997. Une foule nombreuse, avec notamment beaucoup de jeunes, est venue admirer une très remarquable collection de météorites, mais aussi s'instruire sur les différents aspects de l'impactisme. Une totale réussite pédagogique qui a fait honneur à la science française.

Figure C-9. **Informer : les livres**

Le meilleur moyen d'informer dans le détail reste cependant le livre. Le montage ci-dessus montre quelques titres français et de langue anglaise qui ont permis aux lecteurs intéressés de s'informer sur différents aspects de l'impactisme et du catastrophisme. Nous espérons que notre livre sera suivi de beaucoup d'autres, éclairant d'une *manière plurielle* un sujet multidisciplinaire et complexe, pour le plus grand profit des lecteurs cultivés. Comme nous l'avons expliqué tout au long de ***La menace du ciel***, ceux-ci ont le droit de savoir et de connaître le monde dans lequel ils vivent.

Figure C-10. **Armageddon, le retour au néant**

Dans la Bible, Armageddon c'est le retour au néant. Tout redevient poussière dans une fin du monde cataclysmique. *Armageddon*, c'est aussi le premier film catastrophe produit par Walt Disney, sorti en 1998, peu après *Deep impact*. Les scénaristes ont mis le paquet pour convaincre, au détriment parfois d'une certaine crédibilité. Un astéroïde de 400 km, c'est vraiment beaucoup, même si certains objets du disque de Kuiper et des centaures qui en sont issus atteignent ou même dépassent ce diamètre. La figure montre le compact-disc de la bande musicale choisie pour agrémenter l'histoire de ce fabuleux impact annoncé. Combien de générations faudra-t-il attendre pour que l'humanité connaisse l'Armageddon ?