

La grande aventure de la Terre

par

Jacques Deferne



Avant propos

Quand on parle de l'Histoire de la Terre, on pense plus particulièrement à la période fossilifère qui a débuté il y a 542 millions d'années avec l'apparition des trilobites, les premiers fossiles abondants bien conservés dans les roches.

Nous nous interrogeons sur l'évolution de la vie dont la diversité est partiellement inscrite dans les roches sédimentaires et dont nous pensons être l'aboutissement le plus accompli, nous, cet animal curieux que les anthropologues ont baptisé homo sapiens.

Laissons notre orgueil de côté et rappelons nous que nous sommes les derniers venus, arrivés sur cette planète que tout récemment. Nous mesurons le temps en décennies alors que notre planète compte en centaines de millions d'années.

Les hasards de l'évolution nous ont façonné un cortex cérébral qui nous permet de penser, de nous souvenir du passé, de faire des projets pour l'avenir, d'avoir conscience de la mort qui marquera la fin de notre existence et de comprendre les causes et les conséquences des phénomènes qui marquent notre environnement.

C'est ainsi que nous parvenons à explorer l'Univers jusqu'à ses plus lointaines limites, à nous plonger dans l'infiniment petit qui nous révèle les secrets de la matière et à reconstituer ensuite l'Aventure de notre planète.

C'est ce que je tente ici de décrire dans cette Aventure de la Terre, en essayant de faire une synthèse de toutes les contributions que les astrophysiciens, les géologues, les géophysiciens, les zoologistes et les biologistes ont apportées à la connaissance de notre planète.

Je ne vais pas me limiter à la période qui voit se diversifier la vie mais, au contraire, de partir du début de l'Univers et parcourir cet immense espace de temps qui a forgé la matière, les étoiles dans lesquelles se sont élaborés les éléments chimiques et dont les cendres ont participé à l'élaboration de notre système solaire dont nous sommes les locataires momentanés.

Je n'ai pas voulu entrer dans tous les détails de l'évolution des espèces mais seulement en indiquer les grandes lignes. Pour les lecteurs qui voudraient en savoir davantage, je les encourage à se rendre au Muséum de Genève et visiter la section réservée à l'Histoire de la terre où ils trouveront une exposition beaucoup plus détaillée sur ce sujet.

Jacques Deferne

P. S. Les termes imprimés en couleur renvoient au glossaire qui complète ce petit ouvrage.

Tout vient des étoiles

La vie des Hommes

Si un observateur provenant d'une autre planète étudiait attentivement de son vaisseau spatial les images de nos rues et de nos places publiques, il pourrait reconstituer la vie des Terriens. Il pourrait identifier les nouveau-nés dans les bras de leur maman ou dans leur poussette, les adultes nombreux, les vieillards peinant avec leur canne. Ils pourraient ainsi reconstituer la vie des habitants de notre planète depuis leur naissance, estimer la durée de leur vie d'adulte et finalement constater leur déclin et leur disparition programmée.

C'est la même chose pour les étoiles

D'une manière analogue, les astrophysiciens parviennent à reconstituer la vie des étoiles en observant les différents stades qui caractérisent chacune d'entre elles. Pour chaque étoile on peut connaître :

- *la température de sa surface qui se répercute directement sur sa couleur,*
- *sa masse reflétée directement par sa luminosité,*
- *sa composition chimique qui se reflète sur son spectre lumineux.*

A l'aide encore de nombreuses autres observations, les astrophysiciens sont parvenus à reconstituer la vie des étoiles.



Les petites ont une grande espérance de vie

Ils ont découvert que les très grosses étoiles ont une durée de vie très courte (quelques millions d'années) alors que les petites étoiles ont une grande espérance de vie (jusqu'à plus de cent milliards d'années). Notre Soleil, qui est une étoile de taille moyenne, a une espérance de vie d'environ 10 milliards d'années. Il a déjà vécu la moitié de sa vie mais, rassurez-vous, il est encore dans la force de l'âge ! Toutes les autres étoiles ont des masses comprises entre environ 0.1 à plus de 100 fois la masse de notre Soleil.

Comment naît une étoile

A l'origine de l'Univers, les seuls éléments chimiques issus de l'explosion primordiale qu'a été le «big bang» étaient l'hydrogène et l'hélium dans la proportion de 75% pour le premier et 25% pour le second. Les autres éléments ne sont apparus que plus tard et sont issus de l'évolution même des étoiles.

Dans l'Univers, on rencontre de gigantesques nuages de gaz, l'hydrogène et l'hélium. Sous l'effet d'une perturbation, des atomes se rapprochent les uns des autres, créant un champ d'attraction (la gravité) qui entraîne petit à petit la contraction du nuage gazeux. En

se contractant, le nuage devient de plus en plus dense et la gravité augmente et comprime de plus en plus cette boule de gaz qui s'effondre rapidement sur elle-même. La compression entraîne une augmentation de la température des couches profondes et, lorsque ces dernières atteignent la température de 10 millions de degrés, une réaction nucléaire s'amorce qui va transmuter petit à petit l'hydrogène en hélium. Cette réaction nucléaire (la fusion nucléaire) dégage une énergie colossale et un équilibre s'établit entre les forces qui essaient de comprimer le gaz et la radiation énergétique de la réaction nucléaire. Une étoile est née qui rayonne son énergie dans l'espace intersidéral.

Destin du Soleil

C'est ce qui s'est passé il y a environ quatre milliards et demi d'années pour notre Soleil. Aujourd'hui, une partie de l'hydrogène renfermé à l'intérieur du Soleil a déjà été transformé en hélium. Mais il ne faut pas désespérer : il y a encore suffisamment d'hydrogène pour maintenir le rayonnement du Soleil pendant un peu plus de quatre milliards d'années !

Mais lorsque le Soleil aura brûlé tout son hydrogène, plus rien n'empêchera la contraction de l'hélium de reprendre sous l'action des forces gravitationnelles. La température du cœur augmentera encore, et lorsqu'elle atteindra 100 millions de degrés, une autre réaction nucléaire s'amorcera, qui transmutera alors l'hélium en carbone. Sous l'effet de cette nouvelle réaction nucléaire et de la contraction des gaz qui ne s'arrête pas immédiatement, la température augmente encore et lorsqu'elle atteindra 250 millions de degré, la fusion de l'hélium s'emballera et dégagera une telle énergie que le Soleil va se mettre à enfler. Son diamètre atteindra environ 300 millions de kilomètres et sa surface virera au rouge : ce sera ce que les astrophysiciens appellent **une géante rouge**. Elle absorbera les planètes Vénus et Mercure, et si la Terre parvient à échapper à cet englobement, tout y sera carbonisé.

L'hélium s'épuisera alors assez rapidement et la contraction du Soleil reprendra. Mais la masse solaire est insuffisante pour que l'augmentation de la température puisse atteindre le niveau suffisant qui permettrait de déclencher la réaction suivante, c'est à dire la fusion du carbone en oxygène et en néon. La taille de notre Soleil va alors diminuer et il se transformera rapidement en une **naine blanche**, un tout petit point lumineux dans le ciel.



Le Soleil transformé en géante rouge, vue de la Terre par l'artiste B. Jacobs



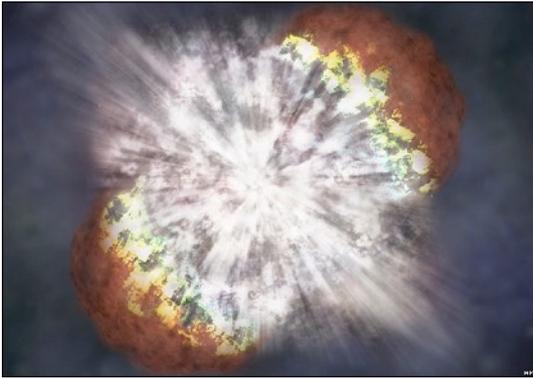
Une naine blanche (imaginée par un artiste)

Le destin dramatique des grosses étoiles

Au cœur des étoiles très massives, l'augmentation de la température, qui est la conséquence de l'effondrement des couches extérieures, est énorme et entraîne la transmutation de l'hélium en carbone, puis en oxygène, en néon, en silicium et finalement en fer. Ce dernier élément est le plus stable de la nature. Il ne peut plus se transmuter en d'autres éléments.

Une suite de réactions très complexes se produit alors et l'étoile explose dans un gigantesque feu d'artifice : c'est la **supernova**.

Les autres éléments chimiques naissent dans les supernovae



Explosion d'une étoile de taille 150 fois supérieure à celle du Soleil.

Au cours de cette explosion, les électrons pénètrent avec violence dans le noyau des atomes, transmutant les protons en neutrons. Les neutrons libérés se propagent avec l'onde de choc, et réagissent très énergiquement avec les autres noyaux atomiques présents. Par addition rapide de neutrons, ils construisent à partir du carbone, l'oxygène, le silicium ainsi que pratiquement tous les éléments chimiques que nous connaissons. Ces éléments ainsi synthétisés ne représentent guère que 0,1 % de la masse éjectée. Cependant, c'est cette infime partie qui constituera plus tard notre environnement d'aujourd'hui et permettra l'émergence de la vie !

Les supernovae engendrent des nébuleuses

Les cendres des supernovae, constituées des résidus de gaz et des poussières qui renferment maintenant tous les éléments chimiques, constituent de gigantesques nuages connus sous le nom de **nébuleuses**. Ces nébuleuses sont des pépinières au sein desquelles de nouvelles étoiles, dites de seconde génération, vont prendre naissance.

Notre Soleil est une étoile de seconde génération et c'est la raison qui fait qu'elle comporte tous les éléments chimiques du tableau périodique qui nous sont familiers.

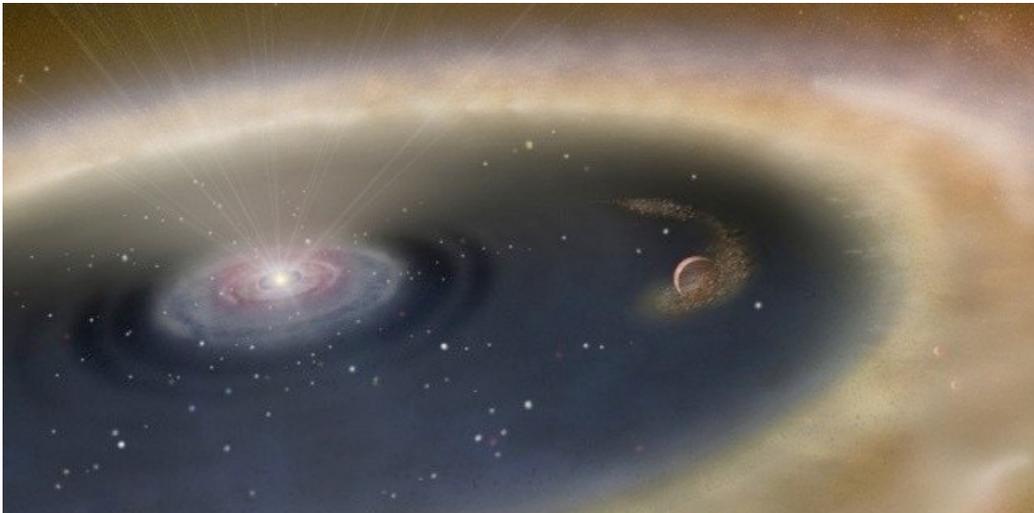
*NGC 604, une nébuleuse, pouponnière d'étoiles, dans la constellation du Triangle.
(Photo prise par Hubble en 1995)*



Le cas du système solaire

Notre Soleil est donc issu des cendres d'étoiles qui en explosant, expulsèrent des quantités gigantesques d'éléments lourds, qui enrichirent un nuage de gaz qui errait dans la voie lactée.

Pour une raison encore peu claire, ce nuage commença à se contracter, toutes les particules s'attirant les unes vers les autres. Dès que la densité du nuage augmente, l'effet d'attraction augmente aussi, accélérant du même coup l'effondrement du nuage sur lui-même dans un lent mouvement tourbillonnaire. Cela aboutit à la formation d'un disque aplati de gaz et de poussière autour d'un centre d'accrétion sphérique. La forte attraction exercée par l'étoile en formation attire et concentre en une sphère une grande partie de la matière située dans le disque, à l'exception de celle dont la vitesse de rotation est suffisante pour que la force centrifuge l'empêche de tomber vers le corps central. Une étoile est alors en voie de naître entourée d'un disque de poussière et de gaz.



Formation du système solaire, imaginée par un artiste (K.L. Teramura)

Repoussés par le vent solaire, les éléments les plus légers, comme l'hydrogène et l'hélium, ont été entraînés vers l'extérieur du disque alors que les éléments plus lourds et les poussières demeuraient plus proches du Soleil naissant. Ce sont ces éléments qui vont constituer les planètes rocheuses pour les plus proches du Soleil et les planètes gazeuses plus à l'extérieur du disque.

Formation des planètes

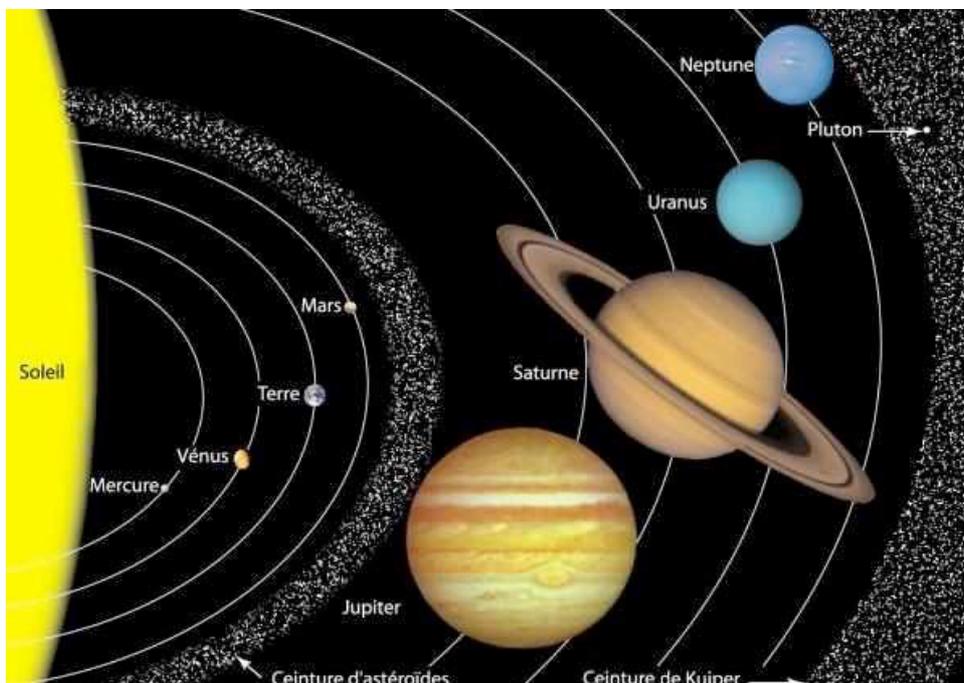
En simplifiant considérablement, on peut dire que les planètes vont commencer à se former par accrétion des poussières ou des gaz qui constituent le disque entourant l'étoile naissante. Dans une certaine mesure, ce disque peut être comparé aux anneaux de Saturne. Mais, en ce qui concerne Saturne, ces poussières sont un peu trop près de leur planète mère et l'effet de marée que subit chaque grain de poussière est plus important que l'attraction qui pourrait permettre à ces poussières de s'agglomérer en astres plus importants.

Autour de notre étoile naissante, ce n'est pas le même cas. Par endroits, des accumulations de petits fragments font naître un champ gravitationnel local qui attire les autres particules du voisinage. Petit à petit des proto-planètes prennent naissance. En absorbant pro-

gressivement tout ce qui passe à la portée de leur champ d'attraction, leur masse augmente et elles prennent progressivement une forme sphérique.

Les planètes telluriques, c'est à dire celles qui sont constituées de matériel rocheux, sont les plus proches du Soleil. Ce sont Mercure, Vénus, la Terre et Mars. Plus à l'extérieur on trouve les grosses planètes fluides, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. Elles sont fluides, constituées principalement d'hydrogène et d'hélium liquides.

Entre Mars et Jupiter on trouve les Astéroïdes qui sont des petits fragments rocheux, parfois métalliques. On en a dénombré jusqu'à aujourd'hui près de 300'000. Certains d'entre eux ont des diamètres de plusieurs centaines de kilomètres. Il semble que ces astéroïdes n'ont pas réussi à former une planète unique à cause de l'influence gravifique de l'énorme planète Jupiter qui se trouve dans leur voisinage. On estime qu'il a fallu 50 à 100 millions d'années pour que le système solaire et les planètes se constituent.



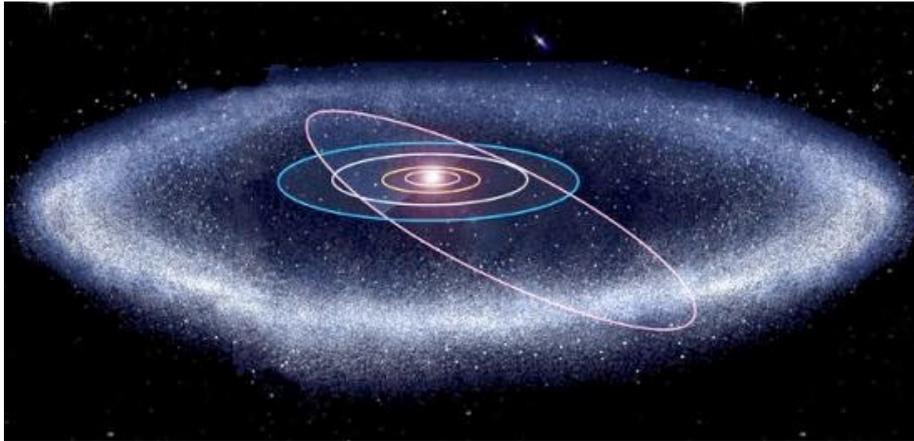
Les planètes du système solaire
(réf. www.ascentionplanetaire.com)

Au-delà de Neptune, la ceinture de Kuiper¹

Un peu au-delà de l'orbite de Neptune existe encore une ceinture en forme d'anneau, analogue à la ceinture des Astéroïdes, baptisée ceinture de Kuiper, constituée de petits objets glacés pouvant atteindre jusqu'à plus de 100 km de diamètre. A ce jour, on a déjà répertorié plusieurs dizaines de milliers d'objets, le plus gros dépassant même 1000 km de diamètre. Ces objets paraissent constitués de glace et de méthane à l'état solide.

Il semble que le périhélie (la partie la plus lointaine d'une orbite elliptique) des comètes à courte période se situerait dans la Ceinture de Kuiper. Pluton, qu'on considérait naguère comme une planète, serait en faits un objet appartenant à la ceinture de Kuiper.

¹ Gérard Kuiper, astronome hollandais qui le premier a postulé l'existence de cette ceinture en 1951



Représentation imagée de la ceinture de Kuiper avec l'orbite de Pluton (<http://astropleiades.e-monsite.com>)



La comète de Halley revient tous les 76 ans. Son aphélie se situerait dans la ceinture de Kuiper.

(Photo W. Liller, 8 mars 1986)

Plus loin encore, l'hypothétique Nuage de Oort¹

Le nuage d'Oort serait une vaste zone située bien au-delà de la ceinture de Kuiper, aux confins de la zone d'influence du Soleil. Ce nuage contiendrait des milliards de comètes.

Aucune observation directe n'a pu mettre en évidence ce nuage mais les calculs des orbites des comètes à longue période semble montrer qu'elles sont issues de cette région qui constituerait ainsi un "réservoir de comètes". Ce nuage serait le reliquat de la nébuleuse originelle qui s'est effondrée pour former le Soleil et les planètes il y a environ cinq milliards d'années.

Comète West photographiée le 9 mars 1976. Sa période est de 559'000 ans. Son aphélie se situerait dans le nuage de Oort.



¹ Jan Oort, astronome hollandais (190-1992).

Histoire de la Terre

Comme une enquête policière

Les fossiles, des indicateurs d'époque

Depuis la plus haute Antiquité, les fossiles ont intrigué les curieux. Mais ce n'est que tardivement, au XVIIIe siècle, qu'on a commencé à entrevoir comment les dépôts des débris de l'érosion dans des bassins marins, leur enfouissement sous d'autres dépôts, puis leur consolidation et leur plissement ultérieur faisaient surgir de nouvelles roches des océans. On a compris alors que les squelettes des organismes marins, ensevelis dans ces dépôts, se retrouvaient plus tard dans les roches sous forme de fossiles.

On sait aujourd'hui que l'évolution des roches nécessite des centaines de millions d'années alors que l'homme ne compte qu'en décennies ou en siècles !



Trilobite, Cambrien, ère primaire



Litoceras, Toarcien, ère secondaire

Les fossiles sont représentatifs des époques auxquelles ces organismes vivaient. Ainsi les trilobites vivaient à l'ère primaire et les ammonites à l'ère secondaire. Ils permettent donc de classer les roches sédimentaires d'une manière chronologique, à condition, évidemment, qu'elles renferment des fossiles.

Ils indiquent aussi un environnement

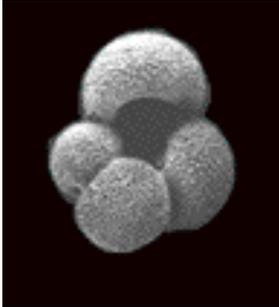
Les fossiles sont aussi des indicateurs des milieux dans lesquels ils vivaient. Ainsi le corail indique un milieu marin peu profond, agité, dont la température est supérieure à 18°. C'est un organisme fixé sur un support rocheux qui a besoin de lumière. Il vit donc très près de la surface de l'océan. D'autres organismes vivent en pleine mer. Ce sont ce que les géologues appellent des organismes **pélagiques**. Ils ont une grande répartition horizontale et certains ne vivent que dans un environnement bien précis.



Corail fossile

Les **globigérines** et les **radiolaires** sont des êtres microscopiques unicellulaires qui montrent de vastes aires de répartition.

Les globigérines ont un test calcaire et vivent dans les eaux chaudes intertropicales. Les radiolaires ont un test siliceux et vivent dans les eaux froides, dans des latitudes relativement élevées.



Les globigérines vivent dans les eaux chaudes intertropicales.

Les radiolaires vivent dans les eaux froides des latitudes plus élevées.



Les roches sédimentaires, témoins de l'environnement

Les roches sédimentaires reflètent donc directement l'environnement dans lequel les sédiments qui leur ont donné naissance se sont déposés. Les conglomérats et les grès sont issus de dépôts de graviers et de sables dans des bassins proches des côtes.

Les sédiments les plus fins sont emportés plus loin des côtes et témoignent de dépôts plus profonds. Les squelettes des microorganismes calcaires se déposent lentement sur les fonds océaniques et constitueront, après leur endurcissement, les roches calcaires. On sait aussi que les roches calcaires ne se forment pas au delà de cinq mille mètres de profondeur car, à partir de cette profondeur, sous l'effet de la pression, les squelettes des microorganismes calcaires se dissolvent.

La sédimentologie, qui étudie le mode de formation des roches sédimentaires, permet de connaître avec beaucoup de précision l'environnement dans lequel les roches se sont formées.

Age relatif des roches

Depuis longtemps déjà on connaît le mécanisme de formation des roches sédimentaires. Les couches se déposent successivement les unes par dessus les autres, les plus jeunes recouvrant les plus anciennes. La présence de fossiles identiques dans des roches éloignées les unes des autres facilite l'établissement de corrélations entre elles. L'étude des fossiles et de leur évolution permet de fixer l'âge de la roche qui les renferme, relativement à celui d'une autre roche.

Age absolu des roches ¹

Avant la découverte de la radioactivité, on savait que les roches formées à l'époque carbonifère étaient beaucoup plus anciennes que celles formées au cours du Jurassique, mais on ne savait pas de combien d'années. Ce n'est qu'avec la découverte de la radioactivité qu'il a été possible d'établir l'âge absolu des roches. Le principe est basé sur le fait qu'un

¹ voir du même auteur "La mesure du temps en géologie" et "Le Monde étrange des Atomes"

certain nombre d'éléments chimiques (en réalité certains de leurs isotopes) sont victimes d'une évolution génétique due à la structure instable de leur noyau. La vitesse de cette évolution, immuable dans le temps, est bien connue. C'est comme si ces atomes étaient atteints d'une maladie incurable qui, inexorablement, les transforment en d'autres atomes qui, eux, restent insensibles à la maladie.

C'est ainsi que l'uranium 238 se transforme inexorablement en plomb 206. Le mode de contagion est, lui-même, très curieux : tous les 4.5 milliards d'années, la moitié de la population des atomes d'uranium 238 se transforme en plomb. C'est ce que les physiciens appellent la période de demi-vie de l'uranium 238. Parmi les familles d'atomes qui sont connues pour être sensibles à cette maladie, citons :

- ^{238}U évolue vers ^{206}Pb avec une période de demi-vie de 4,5 milliards d'années,
- ^{235}U évolue vers ^{207}Pb avec une période de demi-vie de 710 millions d'années,

Une autre famille importante est atteinte par cette même maladie : la famille Thorium,

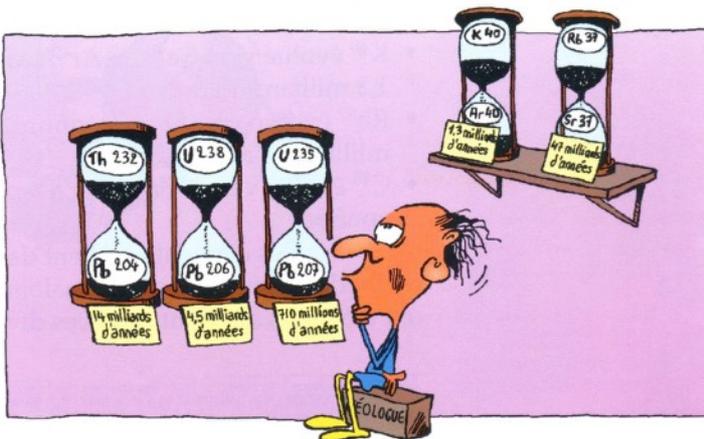
- ^{232}Th évolue vers ^{208}Pb avec une période de demi-vie de 14 milliards d'années.

On trouve encore d'autres familles : le potassium (K) qui se transforme en argon (Ar) et le rubidium (Rb) qui évolue vers le strontium (Sr) :

- ^{40}K évolue vers ^{40}Ar (Argon) avec une période de demi-vie de 1,3 milliard d'années,
- ^{87}Rb évolue vers ^{87}Sr (Strontium) avec une période de demi-vie de 47 milliards d'années.

Méthode

Lors de leur cristallisation au sein d'une roche, certains minéraux emprisonnent dans leur réseau cristallin une petite quantité d'uranium. Ils constituent alors un système fermé à l'intérieur duquel ces atomes vont subir la décroissance radioactive qui leur est propre. C'est comme si on avait enfermé un sablier à l'intérieur du minéral. En mesurant, par exemple, la quantité d'uranium 238 dans la partie supérieure du sablier et la quantité de plomb 206 tombé dans la partie inférieure on peut connaître l'âge de formation du minéral hôte.



Comme des sabliers, la décroissance radioactive de certains éléments permet de mesurer l'âge absolu de roches.

Subdivisions des temps géologiques

Les études scientifiques ont conduit les géologues à subdiviser traditionnellement l'ensemble des dépôts sédimentaires riches en fossiles en quatre grandes ères dont les limites correspondent à la disparition rapide de nombreuses espèces vivantes et leur remplacement par des espèces nouvelles. Ce sont les ères **primaire**, **secondaire**, **tertiaire** et **quaternaire**.

Aujourd'hui, les géologues préfèrent utiliser les termes de **Paléozoïque** pour l'ère primaire, de **Mésozoïque** pour l'ère secondaire et de **Cénozoïque** qui englobe le Tertiaire et le Quaternaire. On utilise encore souvent le terme de **Quaternaire** pour la période très récente qui a vu l'apparition de l'Homme et de ses ancêtres proches. Mais, en réalité, ce n'est que la suite logique du Cénozoïque. Chacune de ces grandes divisions sont à leur tour subdivisées en périodes géologiques : Carbonifère, Trias, Jurassique, Crétacé, par exemple. Ces grandes divisions, ères et périodes géologiques sont reconnaissables sur l'ensemble de la Planète.

Régionalement, les périodes géologiques se subdivisent à leur tour en **époques**, puis en **étages** géologiques. L'étude des relations de toutes ces subdivisions entre elles a permis l'établissement de l'échelle géologique universellement adoptée par les scientifiques.

Cette échelle ne couvre que les temps récents

Toutefois, cette échelle ne couvre que les cinq cents cinquante derniers millions d'années environ, c'est à dire à partir de l'apparition des premiers organismes dont les squelettes durcis se retrouvent dans les roches à l'état de fossile. C'est l'apparition des trilobites qui marque le début du Cambrien. Les géologues réservent le terme de **Phanérozoïque**¹ pour cet espace de temps qui relate ces cinq cents cinquante derniers millions d'année de l'évolution de notre Planète.

En effet, les quatre milliards d'années qui précèdent n'ont pas livré de fossiles significatifs qui auraient permis de les faire entrer dans une échelle basée sur l'évolution de la vie.

Toutefois, au cours des dernières décennies, de nouveaux moyens d'investigation ont permis de se rendre compte que l'apparition de la vie sur Terre était beaucoup plus ancienne qu'on ne l'imaginait. Des traces d'organismes mous, d'algues et de bactéries montrent que la vie est apparue sur notre planète il y a déjà environ 3.8 milliards d'années.

C'est donc sur la mesure absolue de l'âge des roches qu'on peut établir un classement dans l'évolution des périodes très anciennes de notre Planète et sur des indices que le géologue, tel un détective, réunit pour les besoins de son enquête sur le passé !

¹ Phanérozoïque (du grec phaneros, « visible », et zôon, « animal »), période au cours de laquelle on observe des restes visibles d'organismes dans les roches sédimentaires.

Grandes subdivisions des temps géologiques récents (ères et périodes géologiques)

(Quaternaire)	-2.5 Ma → aujourd'hui		- Apparition de l'Homme
Cénozoïque (Ere tertiaire)	Pliocène	-5 à -2.5 Ma	
	Miocène	-23 à -5 Ma	
	Oligocène	-35 à -23 Ma	
	Eocène	-59 à -35 Ma	
	Paléocène	-65 à -59 Ma	
Mésozoïque (Ere secondaire)	Crétacé	-135 → -65 Ma	- Extinction massives de nombreuses espèces.
	Jurassique	-180 → -135 Ma	
	Trias	-225 → -180 Ma	
Paléozoïque (Ere primaire)	Permien	-295 → -250 Ma	- Extinction de 95% des espèces marines et 70 % des espèces terrestres
	Carbonifère	-355 → -295 Ma	
	Dévonien	-408 → 355 Ma	
	Silurien	-435 → -408 Ma	
	Ordovicien	-488 → -435 Ma	
	Cambrien	-542 → 488 Ma	- Premiers fossiles dans les roches (trilobites)

Ce tableau ne comporte ici que les grandes divisions des terrains sédimentaires. Les âges absolus qui sont indiqués n'ont pu être connus qu'après la découverte des méthodes de datation absolues basées sur la décroissance radioactive de certains éléments.

Mais avant tout cela ?

De l'ère primaire jusqu'à aujourd'hui, les géologues disposent de très nombreux indices qui leur ont permis de reconstituer l'évolution de la vie, le déplacement des continents, les climats anciens et les bouleversements géologique qui ont affecté notre planète.

Mais avant cela, avant le Cambrien, cette période géologique qui a marqué le début du Phanérozoïque, les indices sont beaucoup plus rares et fragmentaires. C'est un immense espace de temps qui couvre les quatre premiers milliards d'années de l'histoire de notre planète. On l'appelle généralement le **Précambrien**.

Les géologues l'ont subdivisée en trois éons¹, l'**Hadéen**, l'**Archéen** et le **Protérozoïque**.

- **L'Hadéen** est l'éon qui précède l'apparition de la vie. Il commence il y a 4'500 M.A.² et se termine vers -3'800 M.A.
- **L'Archéen** est marqué par les premiers indices d'apparition de la vie, vers -3'800 M.A. On observe aussi la présence de komatiites, des roches éruptives très spéciales qui n'existent que durant cet éon et qui témoignent d'une température encore très élevée du manteau terrestre.
- **Le Protérozoïque** débute vers -2'500 M.A. C'est la période la plus longue. Elle se termine avec l'apparition des trilobites, il y a 542 M.A.

Ces trois période constituent ce qu'on pourrait appeler la "Préhistoire de notre Planète". C'est la période la plus longue de l'évolution de notre planète. Plus on remonte dans le temps, moins on a de traces bien visibles de son histoire.

Le schéma ci-contre montre les grandes étapes de cette histoire.

¹ On appelle "éon" une très longue période de temps d'une durée arbitraire.

² Ma., abréviation pour millions d'années.

Synthèse de tous les temps géologiques



Cénozoïque

C'est le début des temps modernes. Le climat est subtropical au début et va se refroidir vers la fin, entraînant une suite de grandes glaciations. C'est l'ère du développement des mammifères et des plantes à fleurs. Les Alpes se mettent en place. Vers la fin, l'homme fait son apparition.

Mésozoïque

C'est le renouveau de la vie après la terrible extinction de la fin du Paléozoïque. C'est la période des dinosaures sur terre et des ammonites dans les mers. Les continents se fragmentent, l'Atlantique s'ouvre. Vers la fin, on observe un lent déclin de la faune qui aboutit à une nouvelle extinction massive des espèces.

Paléozoïque

C'est l'éclatement de la vie dans les mers, puis, plus tardivement, sur terre. Au Carbonifère, d'immenses forêts tropicales donneront naissance au charbon. Vers la fin, on assiste à un regroupement de tous les continents. La fin est marquée par une première extinction massive des espèces vivantes.

Précambrien

Cet immense espace de temps voit la formation de notre planète, l'évolution d'une atmosphère primitive et la formation des océans. Très tôt, on voit l'apparition d'organismes unicellulaires qui construisent des édifices calcaires : les stromatolites. Il n'y a pas encore de fossiles indurés dans les roches mais on sait que la vie est bien présente.

On voit que le Phanérozoïque, c'est à dire les trois périodes riches en fossiles qui nous permettent de reconstituer avec une certaine précision, ce qu'on a l'habitude d'appeler l'Histoire de la Terre, ne représentent que 15 % de l'évolution de notre planète.

L'immense période précambrienne ne renferme pas de fossiles. Mais on sait avec certitude, que certaines constructions calcaires datant de plus de trois milliards d'années ont été la conséquence d'une vie bactérienne.

La préhistoire de notre Planète

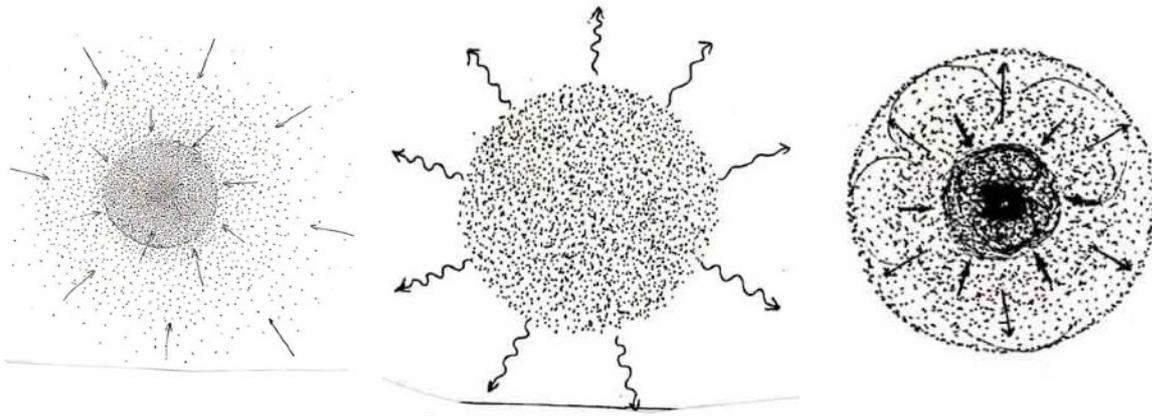
L'Hadéen¹

Dans les tous premiers temps, que les géologues ont définis comme l'**Hadéen**, disons pendant les six à sept cents premiers millions d'années de son existence, notre planète ne ressemblait pas du tout à l'image que nous en avons aujourd'hui.

Sous l'effet de la pression et de la radioactivité qui était beaucoup plus importante qu'aujourd'hui, la température de la toute première Terre était très élevée, entraînant la fusion d'une bonne partie des matériaux qui la composaient. Les parties les plus fusibles et les plus denses, principalement le fer et le nickel, se sont alors concentrés vers le centre, séparant ainsi un noyau métallique central d'un manteau silicaté, plus en surface.

C'est à travers ce processus, durant les premières centaines de millions d'années de son existence, que notre planète a acquis sa structure «en pelure d'oignon» que nous lui connaissons aujourd'hui. La surface de la Terre n'était qu'éruptions volcaniques, coulées de lave avec des îlots rocheux basaltiques. De nombreuses météorites, dont certaines étaient de grande taille telle des mini-planètes non abouties, bombardaient encore la surface de notre planète. Parmi ces météorites, on pense qu'il y avait aussi de nombreuses comètes faites de glace qui enrichissaient notre Terre primitive en eau.

Les étapes de la formation de la Terre



Il y a 4.6 milliards d'années un nuage de poussière se contracte dans la périphérie du Soleil sous l'effet des forces de gravitation.

Sous l'effet de la pression et de la radioactivité, la température augmente.

La fusion sépare le noyau métallique du manteau rocheux.

¹ Hadès était la divinité maître des enfers

Un impact catastrophique à l'origine de La Lune

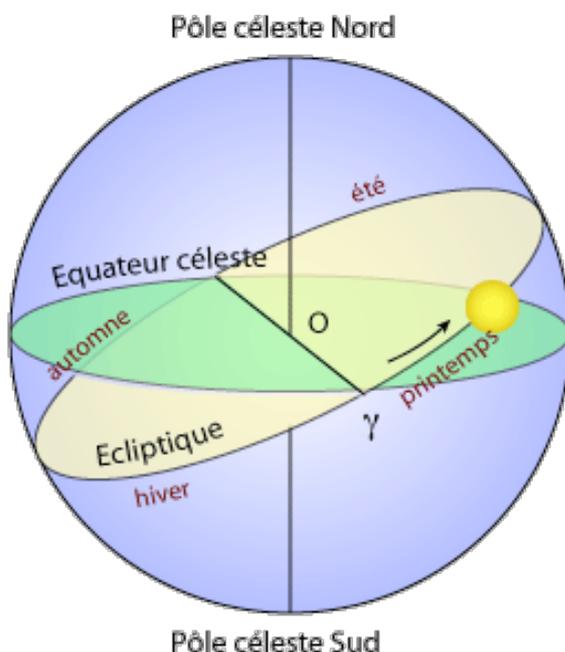
Le bombardement de météorites a été extrêmement abondant durant les premières centaines de millions d'années d'existence du système solaire. Certaines météorites étaient énormes. C'est ainsi, qu'il y a près de 4 milliards et demi d'années, la toute jeune Terre a été victime d'une énorme collision avec un corps céleste qui devait avoir environ la taille de Mars. Une partie de l'enveloppe externe de la Terre a été arrachée, a été satellisée et s'est mise à tourner non loin d'elle. C'est ainsi qu'on pense que la Lune s'est formée.

Encore très proche de la Terre, probablement distante de moins de 50'000 km, les effets de marée réciproques étaient alors très intenses. Cet impact a provoqué aussi une accélération de la rotation de la Terre qui devait tourner sur elle-même en trois heures environ.

On suppose aussi que c'est cet impact catastrophique qui aurait modifié l'axe de rotation de la Terre et serait la cause de son inclinaison actuelle de 23.5° sur le plan de l'écliptique.



Vue d'artiste de la Terre primitive
(David A. Hardy)



L'écliptique est le plan défini par l'orbite de la Terre autour du Soleil. L'équateur céleste est l'extension de l'équateur terrestre sur le fond du ciel étoilé.

Le pôle céleste Nord est matérialisé par l'étoile polaire qui se trouve dans la prolongation de l'axe de rotation de la Terre. L'inclinaison de l'axe de la Terre sur l'écliptique est actuellement de 23.5°.

Les effets des marées

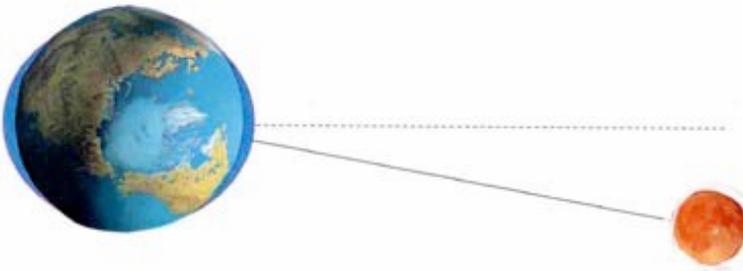
Chacun sait que l'attraction de la Lune sur les océans provoque un gonflement du niveau des eaux - la marée - lors du passage de notre satellite au zénith. Mais ce qu'on sait moins - les manuels scolaires n'en parlent généralement pas - c'est qu'il y a aussi une marée haute sur la face de la Terre opposée à la Lune. Cette autre marée est provoquée par la force cen-



trifuge occasionnée par la rotation asymétrique de la Terre autour du centre de gravité de "l'haltère" Terre-Lune.

Le phénomène des marées n'est pas restreint à la masse des océans mais il affecte aussi les continents: il y a en effet des marées terrestres, tout à fait analogues aux marées marines, qui soulèvent les continents de plusieurs dizaines de centimètres deux fois par jour. Et il y a 4 milliards d'années, quand la Lune était encore très proche de la Terre, les effets des marées étaient donc beaucoup plus intenses.

Les marées, comme de gigantesques freins



Terre et la Lune constituent une sorte de gigantesque haltère dont le centre de gravité se situe à 4700 km du centre de la Terre.

Sur le dessin ci-contre, on voit les deux "bourrelets" que sont les marées, toujours orientés selon l'axe Terre-Lune, mais avec une légère avance. Celle-ci est due à l'entraînement de la masse des océans par la rotation de la Terre qui décale la déformation causée par l'attraction de la Lune vers l'avant. Ces deux bourrelets agissent comme d'immenses mâchoires de frein qui, à la longue, provoquent un ralentissement

de la rotation de la Terre. L'énergie de freinage ainsi perdue par notre planète est transmise à la Lune, qui accélère son mouvement orbital, l'éloignant petit à petit de nous. Cet éloignement augmente aujourd'hui de 3 cm chaque année alors que le ralentissement de la rotation de la Terre entraîne une augmentation de la durée du jour d'environ 2 millièmes de seconde par siècle ! Cette valeur peut paraître faible mais, si on tient compte des quatre milliards et demi d'années d'existence de la Terre, ce ralentissement est loin d'être négligeable puisqu'à cette époque la Terre tournait sur elle-même en moins d'une dizaine d'heures.

L'atmosphère primitive

Au tout début, il n'y avait pas encore d'océans, et l'atmosphère de l'époque provenait du dégazage des torrents de laves rejetés par les nombreux volcans. Cette atmosphère était probablement composée d'azote (N_2), d'ammoniac (NH_3), de dioxyde de carbone (CO_2), de méthane (CH_4) et de vapeur d'eau. On pense que cette atmosphère primitive était très dense et que la pression atmosphérique était probablement 10 à 100 fois plus élevée qu'aujourd'hui, et qu'un très important effet de serre maintenait à la surface de notre planète une température très élevée.

Assez vite, à la suite de son refroidissement, notre Planète se dote alors d'une croûte plus légère et rigide sur un manteau visqueux animé encore de puissants mouvements de convection. Ces forces ont nécessairement provoqué des déformations importantes de la

surface des terres émergées et la distribution des masses continentales a dû changer complètement et à plusieurs reprises sous l'effet des puissants mouvements de convection qui animaient l'intérieur de notre planète.

Puis les océans sont apparus

Puis, dans un environnement de moins en moins chaud, la vapeur d'eau issue des éruptions volcaniques et, peut-être, des chutes de comètes a commencé à se condenser¹ et à occuper les parties basses. Des embryons d'océans se forment alors. On estime que les océans ont commencé à envahir notre planète deux cents millions d'années déjà après le début de sa formation.

On pense qu'à cette époque le bombardement météoritique était encore très important. La Lune, très proche encore de la Terre devait paraître très grosse dans le ciel.

Les roches qui se sont formées au cours de cette période sont les plus vieilles de la planète. Elles n'apportent que des indications fragmentaires qu'il n'est pas possible de relier entre elles, car elles témoignent de situations très différentes, à des moments différents.

Les plus anciennes roches qui n'aient pas été reprises dans des cycles d'érosion ultérieurs sont toutes fortement métamorphosées. Ce sont des gneiss souvent recoupés par des granites plus jeunes et qu'on ait pu dater d'une manière certaine. Ils proviennent d'Amitsoq, au Groenland; leur âge absolu est de près de quatre milliards d'années.

Il faudra attendre encore plusieurs centaines de millions d'années avant que la Terre soit suffisamment refroidie pour que la vie puisse apparaître.



Gneiss d'Amitsoq datés de 3.820 Ma, recoupés par des filons de granite plus jeunes (2.5 Ma).

L'Archéen²

Les géologues ont fixé le début de l'Archéen à -3'800 millions d'années au moment de l'avènement quasi certaine des premières traces de vie au sein des océans. Les roches les plus anciennes que nous connaissons datent de cette époque. On en a retrouvé quelques unes au Groenland, au Canada, en Australie et en Afrique du sud. Toutes ces roches constituent ce que les géologues nomment les boucliers continentaux anciens. Ils constituent aujourd'hui le cœur de nos continents actuels. Ce sont des roches métamorphiques et magmatiques. Parmi ces dernières on remarque des granites, des diorites et des péridotites.³

L'activité volcanique est encore très importantes. On trouve des épanchements de **komatiites**, une lave de très haute température, riches en olivine, dont l'équivalent profond

¹ La pression atmosphérique considérable d'alors élève la température de condensation de l'eau.

² signifie "ancien"

³ voir du même auteur "Le Monde fascinant des roches"

correspond aux péridotites. Ces laves témoignent de la température encore très élevée du manteau terrestre. On ne les trouve que parmi les roches de l'Archéen.

Des études isotopiques semblent indiquer que la température des océans était relativement élevée, probablement plus de 50°C. L'atmosphère ne contenait pas encore d'oxygène libre et un effet de serre important conférait à la surface de notre planète une température passablement plus élevée que celle d'aujourd'hui.

C'est dans cet environnement qu'apparaissent les premières bactéries, organismes unicellulaires sans noyaux, les **procaryotes**. Il faudra attendre encore un milliard d'années, soit vers la fin de l'époque archéenne, pour voir apparaître les **eucaryotes**, organismes toujours unicellulaires, mais pourvus d'un noyau. Dès -3'500 M.A. on voit appa-



Stromatolites actuels, Shark Bay, Australie

raître de curieuses constructions calcaires, les **stromatolithes**. Ce sont des constructions dues à l'activité de **cyanobactéries**, des sortes d'algues bleues. Ces algues produisent déjà de l'oxygène par le biais de la photosynthèse.

A ce titre les stromatolites ont contribué pour une très large part à l'enrichissement de l'atmosphère en oxygène. Ils ont participé à l'édification de puissants massifs calcaires et ont ainsi participé à la fixation du CO₂ de l'atmosphère, diminuant ainsi l'effet de serre et abaissant la température de l'environnement.

Les roches de l'Archéen visibles aujourd'hui sont toujours fortement métamorphosées. On voit aussi des laves de haute température. Elles constituent souvent l'ossature centrale des tous les continents. On parle alors de "**bouclier continental**".

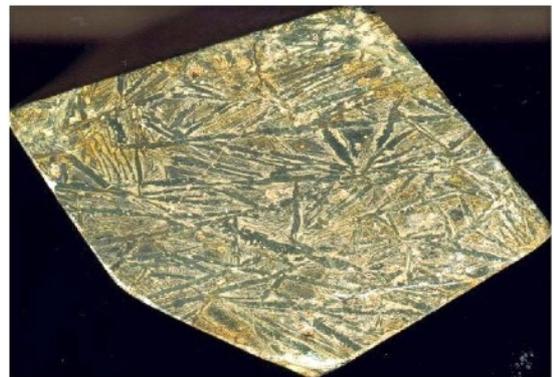
L'éloignement progressif de la Lune entraîne le ralentissement de la rotations de la Terre.

Quelques roches de l'Archéen



Formation ferrifère rubanée datée de 3'400 Ma, Goppong Gap, Australie.

C'est une ancienne roche sédimentaire faite d'alternance de quartz et de magnétite, complètement métamorphosée.



Komatiite datée de 3'440 Ma, Umburanas, Brésil. (Photo Hervé Martin).

Roche volcanique très pauvre en silice, issue d'un manteau très chaud, constituée d'olivine et de pyroxène.



Gneiss daté de 3'300 Ma
Gurur, Inde (photo H. Martin)

Ces gneiss sont les roches les plus représentatives des boucliers archéens et qui constituent l'ossature profonde de la plupart des continents.

Le Protérozoïque¹

C'est la période la plus longue de notre histoire géologique. Elle s'étend de -2'500 M.A. à - 542 M.A., date de l'apparition des trilobites. De nombreuses roches de cette période subsistent encore qui nous permettent de reconstituer l'évolution de notre planète durant cet espace de temps. Evidemment, plus on remonte dans le temps, plus les témoins sont rares.

Les géologues ont subdivisé cette immense période en trois ères :

- **Le Paléoprotozoïque** (-2'500 à -1'600 Ma) marqué par l'augmentation importante d'oxygène dans l'atmosphère et apparition des premiers organismes pluricellulaires vers -2'000 Ma,
- **Le Mésoprotozoïque** (-1'600 à -1'000 Ma) marqué par la constitution d'un supercontinent baptisé Rodinia,
- **Le Néoprotozoïque**, (-1'000 à -550 Ma) marqué par la fragmentation de la Rodinia et par le développement de plusieurs phases de glaciation.

Un des faits marquants est l'enrichissement de l'atmosphère en oxygène. Déjà à la fin de l'Archéen mais surtout dès le début du Protérozoïque, les **cyanobactéries** qui ont participé à l'édification des stromatolithes, commencent à dégager de l'oxygène. C'est le fer, dissous dans les océans sous forme de chlorures, qui absorbe en premier cet oxygène pour former l'hématite (Fe_3O_4) qu'on retrouve dans les grands gisements de fer exploités aujourd'hui par l'homme. Puis, une fois tout le fer oxydé, l'atmosphère s'enrichit à son tour en oxygène. Les organismes **anaérobies** doivent s'adapter pour pouvoir survivre dans une atmosphère oxydante.

¹ Signifie "avant la vie", sous-entendant "avant que la vie soit bien apparente dans les roches".

Un autre fait marquant durant le Mésoprotérozoïque est la formation relativement rapide d'une croûte continentale granitique de grande ampleur comme en témoignent les nombreux dépôts sédimentaires dans des mers épicontinentales. La cause en est la température encore extrêmement élevée du centre de notre planète qui favorise des mouvements de convections importants dans le manteau. Il se forme alors un supercontinent appelé **la Rodinia**, qui réunit la totalité des masses continentales.

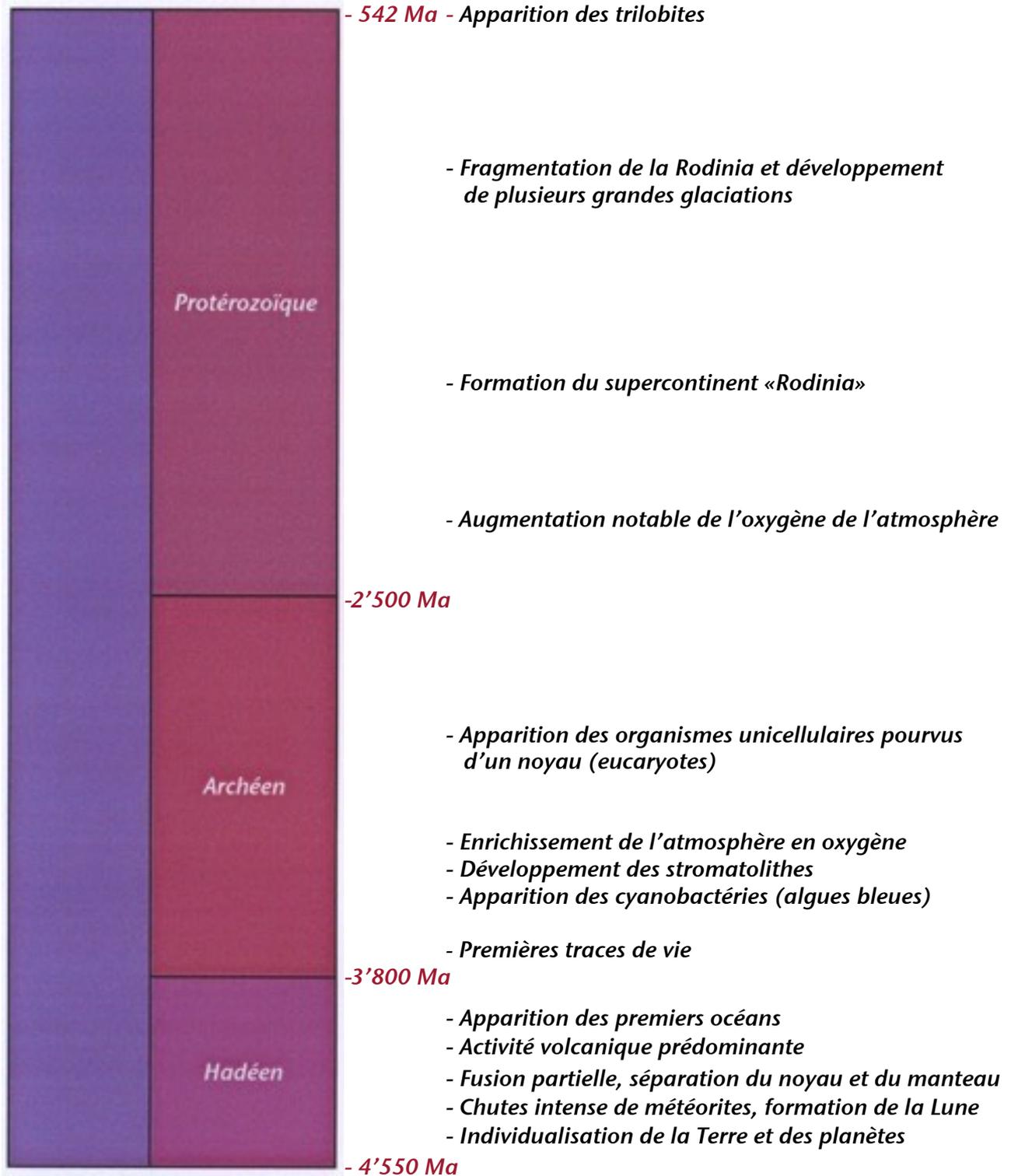
Mais, assez vite, ce continent se disloque, semble-t-il, en huit continents entraînés par une phase active de la tectonique des plaques. Ces sous-continentales se rassemblent à nouveau vers la fin du Protérozoïque pour former un nouveau continent unique : **la Pangée**.

Les premières traces de glaciations successives sont visibles dès le début du Protérozoïque. La plus grande et la plus longue d'entre elles a été la glaciation de Varanger qui semble avoir recouvert la totalité de la planète. Elle aurait duré près de 300 millions d'années, de -800 M.A. à -550 M.A. Elle a été causée vraisemblablement par une diminution drastique de la teneur en CO₂ de l'atmosphère. Son importance a été telle que les géologues ont donné à cette dernière période du Néoprotérozoïque le nom de **Cryogénien**.



Reconstitution du supercontinent Rodinia tel qu'il se présentait il y a environ un milliard d'années.

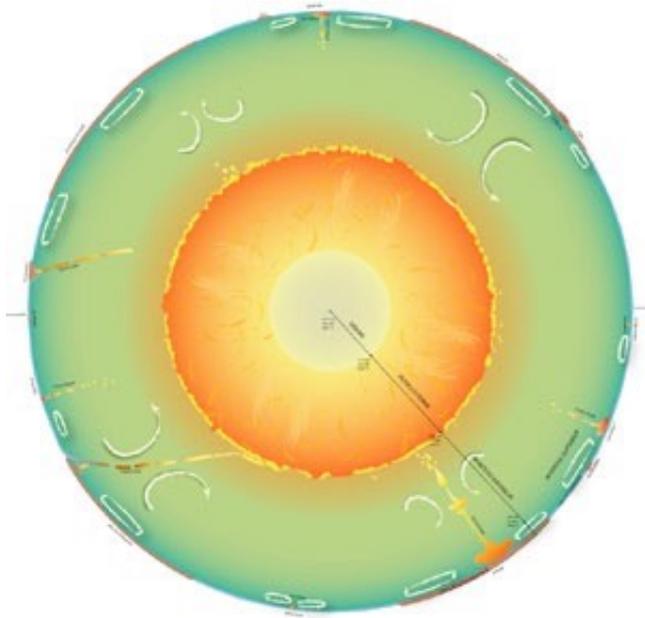
Synthèse de l'évolution au Précambrien



Histoire sommaire des continents

Les continents tels que nous les connaissons ont beaucoup changé au cours des temps. Ils sont comme d'immenses radeaux qui "flottent" et glissent lentement sur un océan de roches visqueuses plus denses qui constituent le manteau supérieur de notre planète¹.

Le fusion partielle de la Terre, au tout début de son existence, lui a conféré sa structure "en pelure d'oignon" que nous lui connaissons bien aujourd'hui. Du centre vers la surface, nous trouvons successivement :



Structure en "pelure d'oignon" de la Terre.
(Image tirée du site Vulcania)

- **Un noyau métallique** principalement constitué de fer et d'un peu de nickel, semblable aux météorites métalliques, d'environ 3'500 kilomètres de rayon. Sa température est d'environ 5'000 à 6'000° C. La partie externe est à l'état liquide ou pâteux, alors que la partie interne est à l'état solide.
- **Un manteau rocheux** riche en silicates de magnésium et de fer, d'environ 2'900 kilomètres d'épaisseur, animé par de lents mouvements de convection qui le brassent en permanence.
- **Une écorce, ou croûte**, constituée aujourd'hui de basaltes sous les océans et

de matériaux granitiques ou métamorphiques sous les continents. L'épaisseur de la croûte continentale varie aujourd'hui de 30 à 70 kilomètres. La croûte océanique ne dépasse pas 10 kilomètres d'épaisseur. 3On parle aussi de **lithosphère** pour la partie superficielle rigide de l'enveloppe terrestre, celle-ci comprenant la croûte et la partie supérieure rigide du manteau supérieur.

Les causes de la dérive des continents

Le manteau terrestre, cette vaste épaisseur de roches dont la composition minéralogique est analogue à celle des météorites pierreuses, a une température estimée qui varie entre 3'000° pour la partie la plus profonde et 1'000° lorsqu'on se rapproche de la surface. Malgré cette température élevée, le manteau reste à l'état solide car les pressions énormes qui y règnent élèvent le point de fusion des roches. Mais ce manteau est relativement plastique et de lents mouvements de convection provoquent la montée des parties les plus chaudes et, inversement, l'enfouissement des parties les plus froides.

¹ voir, dans la même série, "Que savons-nous de notre Planète ?"

Ces mouvements entraînent le déplacement de la croûte continentale rigide qui "flotte" en surface. Les continents sont donc constamment morcelés, déplacés, puis les divers fragments peuvent être "recollés" au gré des puissants courants de convection qui animent le manteau terrestre. A l'aplomb des courants ascendants, l'apport de chaleur fond partiellement les roches, ce qui entraîne tous les phénomènes volcaniques.

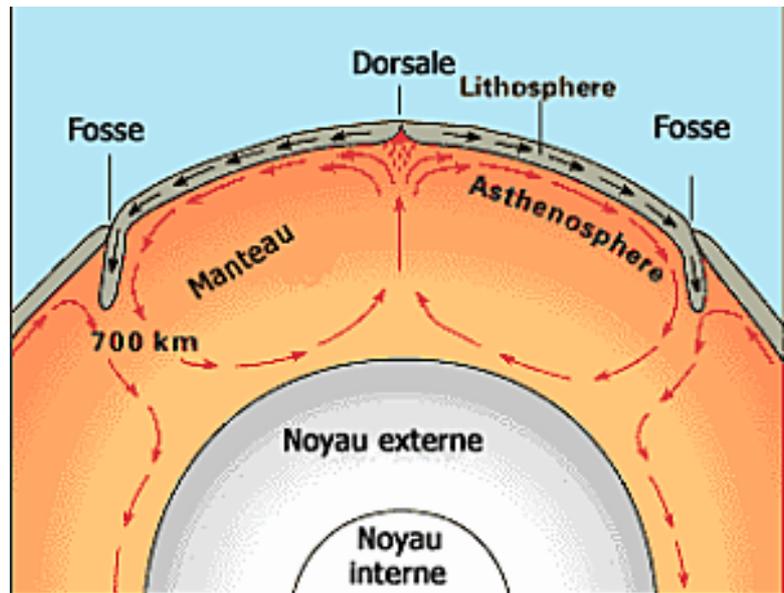


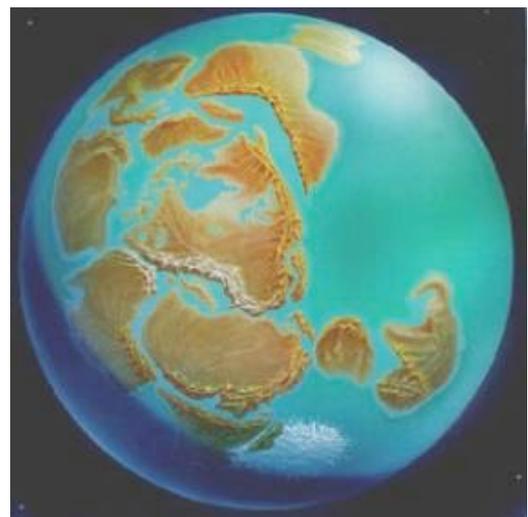
Schéma simplifié des courants de convection qui animent les déplacements des continents.

Reconstitution des anciens continents

C'est ce que les géologues appellent, la paléogéographie. Il s'agit donc de reconstituer, pour chaque époque, l'emplacement des continents et de retrouver les climats auxquels ils étaient soumis. Comme une enquête policière, les géologues analysent toutes les strates d'une même époque. Ils découvrent des restes de dépôts de mer profonde, de mer épicontinentales¹, de dépôts continentaux. Dans les laves basaltiques, ils peuvent retrouver la direction des pôles magnétiques qui s'enregistre² dans la magnétite au moment du refroidissement de ladite lave. Ces divers moyens d'investigation permettent aussi de situer les continents par rapport aux pôles et de connaître les climats auxquels ils étaient soumis.

Le plus ancien continent connu

Le plus ancien continent dont on puisse affirmer l'existence est la **Rodinia**³ qui semble avoir réuni toutes les masses continentales il y a environ un peu plus d'un milliard d'années. L'activité de la tectonique des plaques a fait alors apparaître des rifts qui ont progressivement fragmenté ce supercontinent il y a 750 M.a. en huit continents plus petits.



La Rodinia en cours de fragmentation

¹ mers bordant les continents.

² Lors du refroidissement du basalte, la magnétite enregistre la direction du champ magnétique terrestre dès que sa température passa au dessous de 580°

³ nom russe signifiant "terre mère".

Au cours de l'ère primaire (le Paléozoïque) ces continents se rassemblent à nouveau pour former une nouvelle fois un continent unique, la **Pangée**, qui a existé de la fin du Carbonifère jusqu'au début du Jurassique.



La Pangée à la fin de l'ère primaire, il y a 230 Ma (Wikipedia)

Mais déjà au début du Mésozoïque, au Trias, la Pangée se fragmente à son tour en deux masses continentales: le continent de Gondwana au Sud et la Laurasie au Nord, séparés l'un de l'autre par un océan naissant : **la Téthys**.



Puis, le continent de Gondwana se fragmente à son tour amenant l'individualisation de l'Antarctique, de l'Inde et de l'Australie.

Vers la fin de l'ère secondaire, il y a 60 Ma, l'Atlantique s'ouvre à son tour et l'Inde entame sa dérive vers le Nord.





Au cours de l'ère tertiaire, la Téthys se referme lentement, comprimant les roches anciennes du plancher océanique ainsi que les sédiments provenant de l'érosion des continents voisins qui s'étaient déposés là durant toute l'ère secondaire. Cela entraîne la formation d'immenses chaînes de montagne allant des Alpes à l'Himalaya.

Les conditions de vie dépendent de l'environnement

Au cours de leur dérive, les continents se rapprochent parfois des pôles, provoquant l'apparition de calottes glaciaires, entraînant du même coup une baisse du niveau des mers. A d'autres instants de leur histoire, ces mêmes continents se rapprochent des zones équatoriales et on observe alors une hausse du niveau des mers qui envahissent les parties basses des continents et donnent naissance à des mers dites épicontinentales.

Ce sont ces variations qui ont conditionné des changements d'environnement, favorisant par moment l'explosion et le foisonnement de la vie, provoquant, à d'autres moments, des extinctions d'un grand nombre d'espèces.

Les roches sédimentaires sont les témoins de ces changements et elles nous révèlent les environnements dans lesquels elles se sont formées.

Les climats ont beaucoup changé

Le climat est aussi la conséquence du positionnement des continents. Les courants marins, certains chauds, d'autres froids, modifient leur cheminement en fonction de la position des continents.

Par moments, des émissions colossales de laves apportent un excès de CO₂ à l'atmosphère et l'effet de serre augmente. A d'autres époques, le développement de forêts gigantesques piège le CO₂, ce qui participe à la diminution de l'effet de serre. Le piégeage du CO₂ par l'activité d'organismes qui construisent des squelettes calcaires, apporte aussi une modification du climat.

On voit que le climat résulte d'un ensemble de causes qui peuvent se modifier au cours du temps. Le climat correspond essentiellement à une situation instable, donc variable dans le temps.

Le début des temps modernes

La fin de la grande glaciation de Varanger, qui semble avoir duré de - 800 Ma à - 550 Ma, provoque une montée du niveau des océans qui submergent les parties basses des continents, créant ainsi des mers épicontinentales peu profondes, favorables à l'éclosion d'une vie nouvelle. Plus aucune trace de glaciation n'est visible et le climat devait être relativement chaud.

Cet espace de temps, qui a duré près de 550 millions d'années, a laissé dans les roches sédimentaires beaucoup d'indices qui ont permis de reconstituer la nature de l'environnement ainsi que de nombreux fossiles qui nous ont raconté l'histoire de l'évolution des espèces vivantes.

Subdivisions des temps modernes

Les anciens géologues avaient subdivisé l'espace de temps qui débute avec les premiers trilobites, il y a 542 millions d'années, jusqu'à aujourd'hui en quatre ères, primaire, secondaire, tertiaire et quaternaire. La désignation d'ère quaternaire relève plus du nombrilisme humain que d'une réelle raison géologique.

Aussi, aujourd'hui, les scientifiques préfèrent parler de Paléozoïque, de Mésozoïque et de Cénozoïque, ce dernier englobant les anciennes ères tertiaire et quaternaire. Cette division correspond à deux extinctions majeures au cours desquelles de très nombreuses espèces vivantes ont disparu. Ces extinctions ont eu lieu, l'une entre le Paléozoïque et le Mésozoïque, l'autre entre le Mésozoïque et le Cénozoïque. Cette subdivision est définie comme suit :

- **Paléozoïque (ou ère primaire)** est la période où vécurent les animaux fossiles les plus anciens.
- **Mésozoïque (ou ère secondaire)** est la période intermédiaire entre les deux extinctions majeures.
- **Cénozoïque (ou ère tertiaire)** est la période qui voit l'apparition d'une nouvelle vie.

On voit la vie évoluer

L'étude des fossiles montrent une évidence : les espèces animales apparaissent, évoluent puis disparaissent. C'est **l'évolution** ! Par ailleurs, la génétique montre que toutes les espèces vivantes ont des points communs et qu'il est évident que nous avons un lien de parenté plus ou moins proche avec les animaux qui nous entourent aujourd'hui et avec ceux qui nous ont précédés dans le passé !

Comment fonctionne l'évolution

L'évolution sous-entend une transformation soudaine et héréditaire d'une espèce vivante qui se manifeste par des changements morphologiques. Cette transformation est due à une **mutation** de l'information génétique contenue dans l'ADN. La mutation peut être spontanée ou provoquée par des agents physiques ou chimiques. Les particules ionisantes qui bombardent la Terre en permanence pourraient être à l'origine de nombreuses mutations.

La grande majorité des mutations provoque l'apparition de caractères défavorables qui nuisent à l'individu. Ce dernier n'aura alors aucune chance de survie. Il est très rare qu'un

nouveau caractère apporte une amélioration à une espèce. Dans ce cas l'évolution sera possible. Au cours des centaines de millions d'années qui se sont écoulées, l'évolution a apporté de nombreux changements qui ont fait la richesse de notre biodiversité.

Attention, les trilobites arrivent !

C'est dans cet environnement, il y a environ 550 millions d'années environ (542 M.A. précisent certains géologues), qu'apparaissent les **trilobites**, des arthropodes marins dont les squelettes extérieurs, suffisamment endurcis, ont laissé leur empreinte dans les roches sédimentaires. Ce sont les premiers fossiles qu'on trouve en abondance dans certaines roches sédimentaires. Leur nom provient des trois lobes qui divisent leur corps, un lobe central et deux lobes latéraux. Les trilobites ont vécu uniquement durant le Paléozoïque.



Trilobite : Elrathia Kingii, Utah,

On a tout de même trouvé des fossiles encore plus anciens

Certain très rares gisements, dont les conditions de conservation étaient particulièrement favorables, ont livré des moulages d'organismes mous, ce qui montre que la vie était déjà bien diversifiée avant l'avènement des trilobites. A Ediacara, en Australie, dans un gisement vieux de près de 600 Ma, on a trouvé des centaines d'empreintes de petits organismes à corps mou.

C'est le début du Paléozoïque ou ère primaire

L'apparition des trilobites a servi de marqueur pour le début du **Paléozoïque**. Les trilobites vivaient sur les fonds marins. Très abondants, ils colonisent la plupart des mers et se diversifient rapidement. Les paléontologues ont dénombré des milliers d'espèces. Ils seront présents durant tout le Paléozoïque.

Dès lors, avec l'apparition rapide d'organismes à coquilles, les fossiles, commencent à être abondants et il devient de plus en plus aisé de déchiffrer l'histoire récente de la Terre.

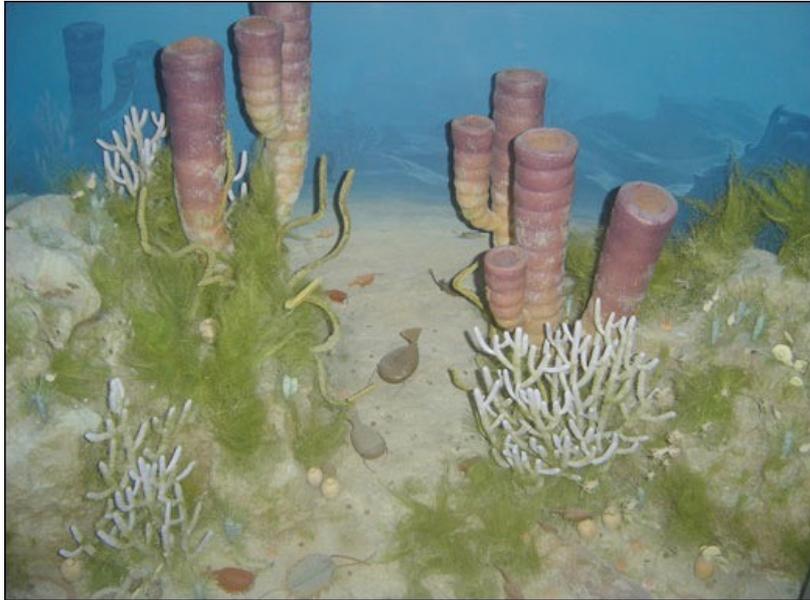
On voit l'éclosion rapide de diverses formes d'être vivants, puis, brutalement, se produit une extinction catastrophique de très nombreuses espèces. Cet événement marque la fin du Paléozoïque.

Le **Paléozoïque** (ou ère primaire) a duré près de 300 millions d'années. Les géologues l'ont subdivisée en six grandes périodes qui sont, des plus anciennes aux plus récentes:

- Le Cambrien (-542 à -488 Ma)
- l'Ordovicien (-488 à -435 Ma)
- le Silurien, (-435 à -408 Ma)
- le Dévonien, (-408 à -355 Ma)
- le Carbonifère, (- 355 à -295 Ma)
- le Permien, (-295 à -250 Ma)

Le Cambrien (-542 à -488 Ma)

Le Cambrien voit l'explosion de la plupart des grands groupes d'organismes pluricellulaires dont les descendants existent encore aujourd'hui. Mais ce sont exclusivement des organismes marins. Parmi ceux-ci, mentionnons les **foraminifères**, les **crustacés**, les étoiles de mer, les **oursins**, les vertébrés, les mollusques à coquille, dont les bivalves les **éponges** et les **gastéropodes**.



Reconstitution d'un fond marin au Cambrien (Musée d'histoire naturelle de Stockholm)

On observe donc une vie animale extraordinairement variée. Beaucoup de roches cambriennes sont très riches en fossiles coquilliers. Le climat était chaud et la température des mers relativement élevée, proche de 40°. La vie était surtout concentrée sur les fonds marins peu profonds. Sur l'unique continent de Gondwana la vie était encore inexistante.

La fin du Cambrien est marquée par une première extinction massive d'espèces vivantes. La cause de cette extinction n'est pas connue. Peut-être était-ce le retour d'une grande glaciation qui a affecté le continent de Gondwana dont la position était alors centrée sur le pôle Sud. Cette glaciation aurait entraîné une baisse importante du niveau des mers et modifié fortement les conditions de vie.

L'Ordovicien (-488 à -435 Ma)

Au début de l'Ordovicien, le niveau de la mer remonte, entraînant la formation de mers épicontinentales peu profondes, favorables au renouvellement des espèces. Les massifs de corail se développent, les trilobites et les brachiopodes sont encore abondants. On voit apparaître de mystérieux organismes, les **graptolites**. Ce sont de petits organismes qui vivent en colonies dans de minuscules loges alignées le long d'une sorte de filament chitineux. Ils vivaient généralement à la surface des océans.



Dldymograptus, un graptolite vapparu au cours de l'Ordovicien



Les premiers crinoïdes ou lys de mer font également leur apparition. Ce sont des invertébrés appartenant à l'ordre des **echinodermes** qui ont l'apparence d'une fleur accrochée aux fonds marins par une longue tige.

Les crinoïdes, appelés aussi «lys de mer», sont les premiers échinodermes.

Cette période voit l'augmentation et la diversification des organismes à coquille calcaire. On voit l'apparition, des **nautiloïdes**, des mollusques dont la coquille est constituée de loges cloisonnées. L'animal vivait dans la dernière loge et en construisait une nouvelle, plus grande, lorsque sa taille augmentait. Au début, la coquille était linéaire avant de prendre une forme enroulée en spirale. C'étaient les plus grands habitant des mers. Ils pouvaient atteindre jusqu'à 4 mètres. Le développement considérable de la vie sous-marine mobilise une grande partie du CO₂ de l'atmosphère, entraînant une diminution de l'effet de



serre qui aboutit à un refroidissement des mers. Ce refroidissement favorise encore d'autres formes de vie dans les océans.

Vers la toute fin de l'ordovicien, la vie commence timidement à coloniser les continents. Ce sont des lichens et des mousses ainsi que de petits arthropodes. Puis le climat se refroidit encore une fois et une nouvelle glaciation fait baisser le niveau des mers. Ce changement climatique provoque une nouvelle extinction de nombreuses espèces.

On trouve aujourd'hui d'importants gisements de pétrole et de gaz dans certaines roches sédimentaires de l'Ordovicien, témoins de la grande biodiversité déjà présente sur notre planète.

Nautiloïdes dans les mers de l'Ordovicien
(titereine.centerblog.net)

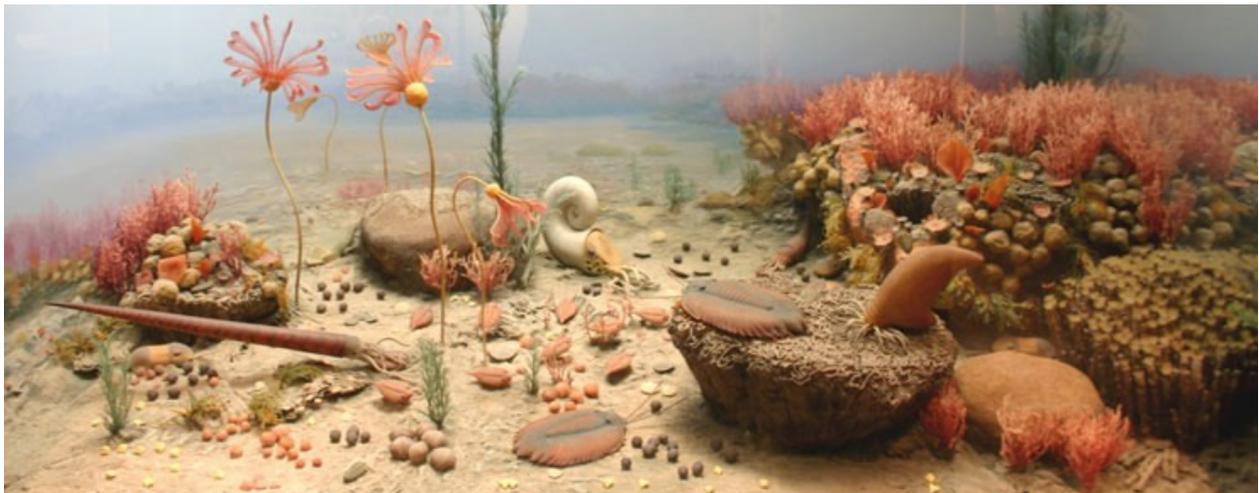
Le Silurien (-435 à -408 Ma)

Au début du Silurien, le climat se réchauffe. Dans des mers peu profondes on voit un rapide développement de la diversité des espèces : mollusques, brachiopodes, coraux. Parmi les vertébrés, il faut signaler les poissons à mâchoires dont le fameux coelacanthe, un poisson osseux primitif qui vit toujours aujourd'hui le long de la côte est-africaine.



Le Coelacanthe, un poisson osseux apparu au Silurien.

Mais, ce qui marque particulièrement le Silurien, c'est le développement important de la vie hors de l'eau. Après les premiers lichens et mousses, on voit apparaître de vraies plantes qui commencent à "respirer" et qui peuvent absorber l'eau qui leur apportent les nutriments nécessaires à leur croissance. Les mille-pattes, les araignées, et autres petits organismes sont là qui se nourrissent des débris de la végétation.



*Reconstitution d'un paysage sous-marin au Silurien
(Smithsonian Museum of Natural History, Washington)*

Le Dévonien, (-408 à -355.Ma)

C'est la conquête des continents par les plantes qui marque cette période. Les premiers **progymnospermes**, sortes de fougères arborescentes, s'étendent sur les terres en formant d'abondantes forêts. De nombreuses autres plantes apparaissent. Les premiers amphibiens se risquent sur les continents. Les insectes et les araignées commencent à coloniser les habitats terrestres. Dans les mers, la population des poissons explose. Ce sont les premiers organismes à squelette interne. Assez vite, ils commencent à se couvrir d'écailles. Certains évoluent vers des formes qui vont conduire aux premiers **tétrapodes** puis aux **amphibiens**.

Dans les océans les premiers requins primitifs apparaissent et deviennent abondants. Une baisse généralisée du niveau des mers marque la fin du Dévonien.



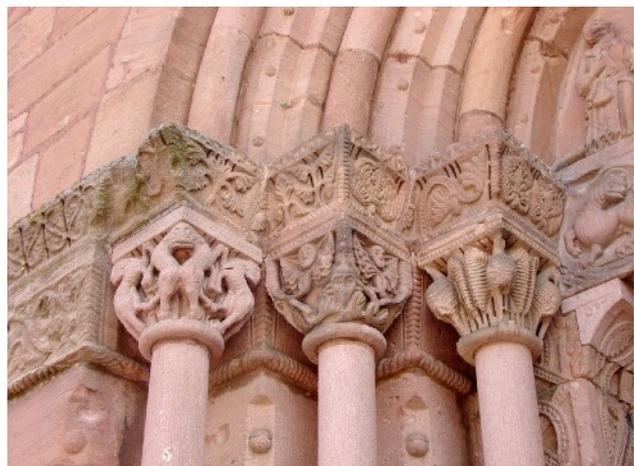
Reconstitution artistique d'une forêt de l'époque dévonienne



Vue imaginaire du milieu marin de l'époque dévonienne

*Parmi les dépôts sédimentaires du Dévonien, on trouve dans le nord-ouest de Europe, en Scandinavie, au Groenland et au nord du Canada, d'épais dépôts sédimentaires d'origine continentale constituées de grès et d'argiles de teinte rougeâtre connues sous le nom de **vieux grès rouges**.*

Détail du portique de la Cathédrale de Bâle, construite en "Vieux grès rouges" du Dévonien.



Le Carbonifère, (- 355 à -295 Ma)

Durant le carbonifère, l'hémisphère Sud subit une nouvelle glaciation alors qu'un climat chaud s'installe dans les régions équatoriales. D'importantes couches calcaires se déposent dans les mers épicontinentales. Sur terre, on voit se développer de vastes forêts et d'immenses marécages luxuriants dans lesquels évoluent les premiers reptiles ainsi que les premiers insectes. Les arbres sont immenses : on trouve les **lépidodendrons** qui atteignent 40 m. ainsi que les **archeopteris** (30 m). Les arbres morts s'accumulent dans la vase et se transforment lentement, à l'abri de l'air, en d'épaisses couches de charbon. A aucune autre époque géologique on n'a observé une telle accumulation de charbon. Une partie du carbone est alors soustraite à l'atmosphère qui s'enrichit en oxygène, favorisant une augmentation de la taille des insectes. C'est ainsi qu'on trouve des libellules et des blattes géantes, des scorpions, des araignées et des mille-pattes de près d'un mètre. Dans les mers, on voit apparaître les poissons à écailles. Dans les océans, les **crinoïdes** sont toujours aussi nombreux. Vers la fin du Carbonifère, une importante glaciation affecte une partie des continents.



Reconstitution d'une forêts du Carbonifère (Alex Bernardini)

Le Permien, (-295 à -250 Ma)

Le resserrement entre les continents de **Gondwana** et de **Laurencia** pour sceller l'unité de la Pangée, provoque la surrection d'une grande chaîne de montagne qui se forme du Carbonifère au Permien. Cette chaîne, dite hercynienne, est aujourd'hui fortement érodée. Les Vosges, la Forêt Noire, le Massif Central, les Ardennes, l'Oural sont les témoins de géologiques de cette collision. Ce sont des roches métamorphiques et des granites.

La Pangée connaît alors son maximum de cohésion. Sur cet immense continent, on observe un développement généralisée de la faune terrestre. Un abaissement du niveau des océans entraîne une érosion intense des partie émergées. Les débris de l'érosion s'accumulent dans les parties basses sous formes de conglomérats et de grès rougeâtres : ce sont les **nouveau grès rouges**.



Un dimetrodon, un reptile, chassant un eryops, un amphibien primitif.



Nouveaux grès rouges, Mérifons (Hérault)

*Sur terre, on observe le développement des reptiles avec l'apparition des premières tortues et des **dimetrodons**, un amphibien primitif. Dans les océans, la vie commence un long déclin. Les trilobites disparaissent, ainsi que d'autres espèces appartenant à l'embranchement des échinodermes. De nombreuses autres espèces commencent à disparaître, surtout en milieu marin. Un cataclysme s'annonce qui marquera la fin de l'ère primaire.*



Vue imaginaire d'un paysage à l'époque permienne

Le déclin du Paléozoïque

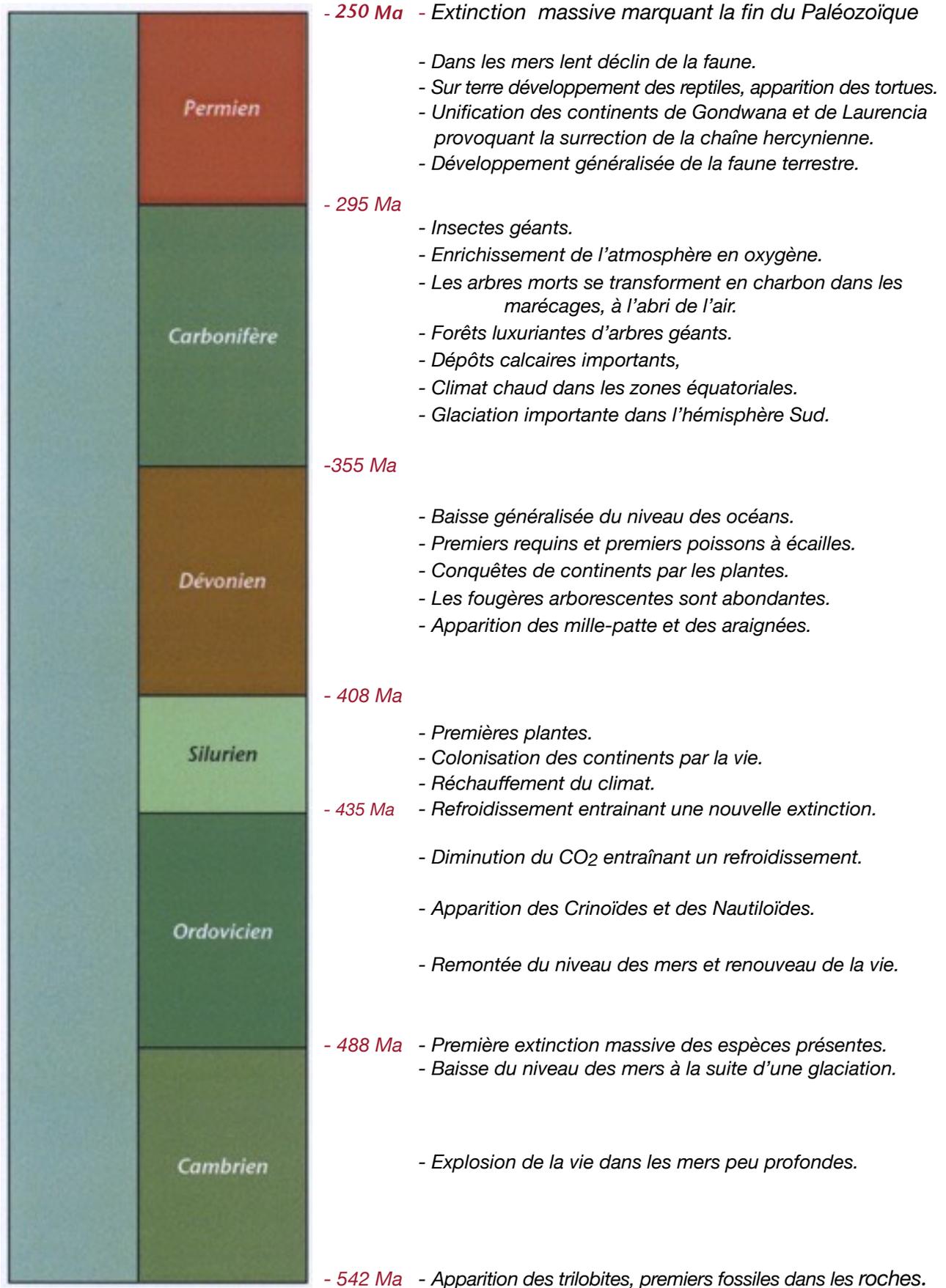
Le Permien marque la fin de l'ère primaire. Pour une raison non connue avec certitude, 95% des espèces marines et 70% des espèces terrestres disparaissent. C'est la crise la plus marquante que le monde vivant ait connue. Cet événement catastrophique est survenu il y a 252 millions d'années.

Plusieurs hypothèses concernant les causes de ce phénomène ont été proposées :

- *L'émission soudaine de plusieurs millions de km³ de basalte qui ont recouvert toute la Sibérie il y a 250 millions d'années aurait pu être la cause d'une profonde modification de l'environnement.*
- *La chute d'un corps céleste de grande taille (météorite, comète), aurait pu dégrader aussi les conditions climatiques.*

Mais des temps nouveaux se préparent qui vont voir un développement renouvelé de toute la faune et de la végétation.

Synthèse de l'évolution au Paléozoïque (ère primaire)



Avènement du Mésozoïque ou ère secondaire

La grande extinction qui marque la fin du Paléozoïque annonce une nouvelle ère qui va s'étendre sur près de 180 millions d'années, de -250 à -65 millions d'années. Une nouvelle extinction catastrophique marquera encore une fois la fin de cette période.

Les géologues ont découpé le Mésozoïque ou ère secondaire en trois périodes :

- **Le Trias** (-225 à -180 millions d'années),
- **Le Jurassique** (-180 à -135 millions d'années),
- **Le Crétacé** (-135 à -65 millions d'années).

Ce qui conditionne toute l'histoire de cette longue période, c'est le morcellement progressif de la Pangée, ce supercontinent unique qui a réuni presque toutes les terres émergées à la fin de l'ère primaire. Cette dislocation a eu des conséquences énormes sur l'évolution de la vie, en isolant les espèces du nord et du sud. Les climats ont été modifiés et le caractère continental aride de cet immense continent s'est diversifié avec des zones humides, de zones tempérées, des zones tropicales et des zones polaires. La fragmentation du continent entraîne encore d'importants épanchements de lave qui atteignent des épaisseurs considérables au Brésil et en Afrique du Sud.

L'ère secondaire voit la domination des dinosaures et des reptiles aussi bien terrestres que marins ainsi que le développement considérable des ammonites dans les océans.

Cette longue période prendra fin par la plus importante extinction d'espèces, catastrophe qui aurait été provoquée par la chute d'une gigantesque météorite à Chicxulub, au Mexique, près de la péninsule du Yucatan.

Les ammonites hôtes des mers du Mésozoïque

Ce sont des mollusques de la classe des céphalopodes. Les ammonites possédaient une coquille généralement enroulée, constituées d'une succession de loges cloisonnées. L'animal vivait dans la dernière loge et en construisait une nouvelle, plus grande, lorsque sa taille augmentait. Elles vivaient entre 50 et 300 mètres de profondeur. Elles ont été abondantes durant tout le Mésozoïque. Portées par les courants elles ont été largement dispersées et on les retrouve un peu partout où elles constituent de très bons marqueurs des terrains sédimentaires.



Coquilles fossiles d'ammonite



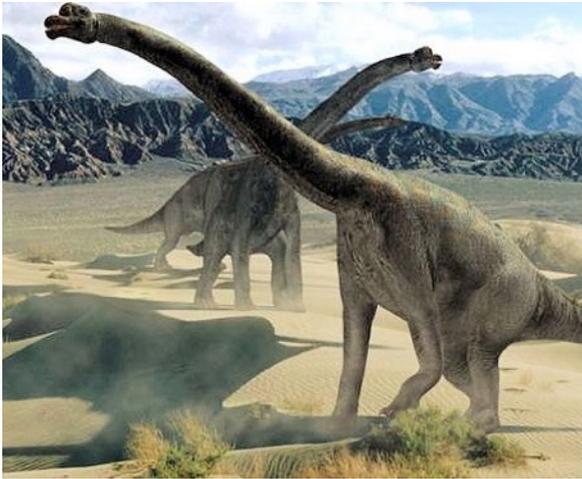
Reconstitution artistique d'une ammonite

Les dinosaures hôtes des continents du Mésozoïque

Les dinosaures sont des vertébrés voisins des reptiles. Ils sont ovipares. La plupart d'entre eux avaient une posture redressée, se déplaçant sur leurs pattes arrières. Beaucoup atteignaient des tailles considérables qui leur ont valu leur nom de dinosaure qui signifie «lézard terrible». Certains dinosaures volaient. On a retrouvé un petit dinosaure à plumes capable de voler, c'est l'**Archeopteryx**. Les oiseaux actuels sont les descendants de ces petits dinosaures. Ce sont les seuls représentants des dinosaures qui ont survécu à la grande extinction de la fin du Crétacé.

Les dinosaures ont donné des animaux extrêmement diversifiés. On distingue toutefois deux groupes, les herbivores et les carnivores.

L'imagerie populaire, à travers le film «Jurassic Park», a fait des dinosaures des prédateurs gigantesques et effrayants. En réalité, ce sont surtout les herbivores qui étaient les plus grands. Les carnivores qui devaient courir après leur proie restaient avec des tailles relativement raisonnables.



Le Brachiosaure, un herbivore tranquille, est probablement le plus grand dinosaure qui ait existé. Sa taille oscillait entre 12 et 15 mètres de haut, 20 à 25 mètres de long et il devait peser une cinquantaine de tonnes. © [Jon Hughes](#)

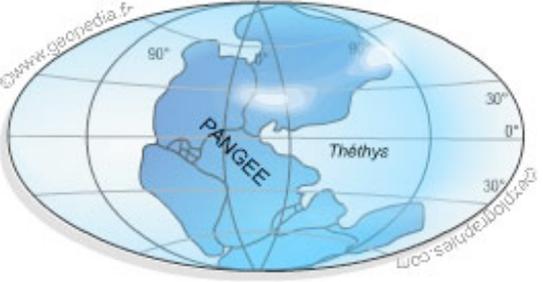
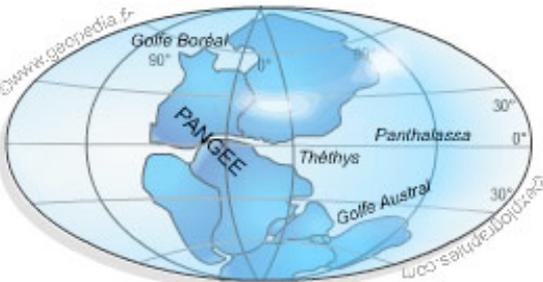
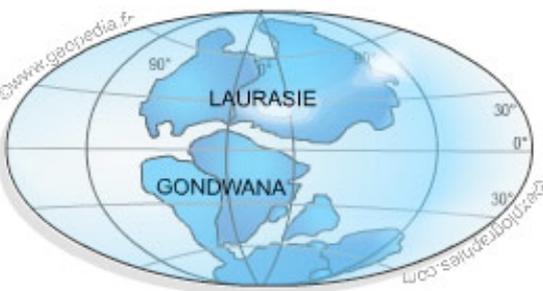
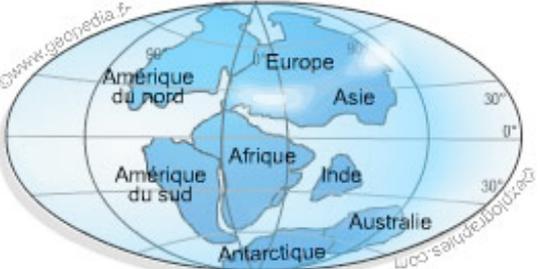


Le Tyrannosaure a été le plus grand carnivore de son temps. Il mesurait 12 mètres de long et devait peser 7 tonnes. Il vivait au Crétacé peu avant l'extinction des dinosaures.

L'Archeopteryx était un dinosaure volant recouvert de plumes. C'est l'ancêtre probable des oiseaux. Il est apparu au cours du Jurassique.



Evolution des continents au cours du mésozoïque

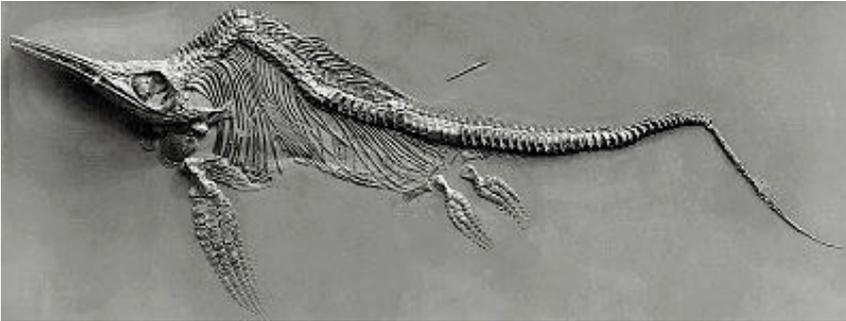
 <p>A paleogeographic map showing the supercontinent Pangaea. The landmass is a single large block covering most of the Earth's surface. The Tethys Ocean is labeled between the northern and southern parts of the supercontinent. The map includes latitude lines at 90°, 30°, 0°, and 30°.</p>	<p>A la limite entre le primaire et l'ère secondaire, toutes les terres sont réunies en un seul continent, la Pangée. Ce supercontinent va se morceler durant toute l'ère secondaire, conditionnant l'évolution de la vie et des roches caractéristiques de cette période.</p>
 <p>A paleogeographic map of Pangaea during the Triassic period. The supercontinent is beginning to rift apart. The northern Gulf of Boreas and the southern Gulf of Austral are labeled. The Tethys Ocean and the Panthalassa Ocean are also shown. The map includes latitude lines at 90°, 30°, 0°, and 30°.</p>	<p>Au Trias, (-225 à -180 Ma) une fracture s'ouvre entre le nord et le sud de la Pangée individualisant progressivement deux masses continentales : La Laurasie au Nord, le Gondwana, au Sud. Cette ouverture est la conséquence de la tectonique des plaques qui devient très active.</p>
 <p>A paleogeographic map showing the separation of the supercontinent Pangaea into Laurasia in the north and Gondwana in the south during the Jurassic period. The Tethys Ocean is clearly defined between the two landmasses. The map includes latitude lines at 90°, 30°, 0°, and 30°.</p>	<p>Au Jurassique, (-180 à -135 Ma), un océan baptisé Thétys sépare la Laurasie du Gondwana. Il recueille les sédiments provenant de l'érosion des plateformes continentales. Une grande faille océanique occasionne des épanchements sous marins de basalte. L'Antarctique et l'Inde se séparent du continent de Gondwana. Un autre rift commence à s'ouvrir qui va séparer petit à petit l'Amérique du Sud de l'Afrique. C'est l'ouverture de l'Atlantique.</p>
 <p>A paleogeographic map showing the further fragmentation of continents during the Cretaceous period. The continents are labeled: Amérique du nord, Europe, Asie, Amérique du sud, Afrique, Inde, Australie, and Antarctique. The Tethys Ocean is still visible. The map includes latitude lines at 90°, 30°, 0°, and 30°.</p>	<p>Durant le Crétacé (-135 à -65 Ma), l'individualisation des continents se poursuit : l'Inde entame sa migration vers le Nord et l'océan Thétys amorce sa fermeture sous la poussée de l'Afrique qui remonte vers le Nord L'ouverture de l'Atlantique se poursuit.</p>

Le Trias

Le début du Trias est une période relativement chaude. Dans des lagunes soumises à une intense évaporation on observe d'importants dépôts de sel accompagnés de gypse. Ils sont à l'origine des salines de Lorraine, des fameux gisements de Pologne, des salines de Bex, en Suisse. Les localités dans lesquelles on a exploités ces gisements portent des noms évocateurs : Salin-les-Bains, Lons-le-Saulnier, en France, Salzburg en Autriche.

Le début du Trias est souvent appelé **Buntsandstein** (grès bigarrés) à cause de nombreux dépôts continentaux de conglomérats et de grès colorés dans les rouge-brun.

La faune reprend vie et montre une lente diversification. On voit apparaître de petits dinosaures qui courent sur leurs pattes arrières. Parmi les reptiles aquatiques on voit apparaître l'**ichtyosaure** qui devait ressembler à un dauphin, ainsi que les premiers reptiles volant tel le **ptérosaure**. Ces reptiles vont se développer au cours du Trias moyen.



Ichtyosaure fossile, un vertébré marin qui ressemblait à un dauphin

Dans les mers, des algues calcaires font leur apparition à côté du développement de récifs de coraux. Mais le principal événement dans les océans est l'apparition, vers la fin du Trias, du plancton à coquille calcaire. Cette apparition a une profonde incidence sur l'alimentation des organismes marins et sur la chimie des calcaires.

Sur terre, les conifères se développent et on voit aussi apparaître les premières plantes à graines.



Reconstitution d'un ptérosaure, un des premiers vertébrés volant.

Le Jurassique

Le terme «Jurassique» doit son origine aux roches du Jura où les dépôts de cette période sont particulièrement bien représentés. Le Jurassique est marqué par une certaine stabilité climatique qui favorise le développement des faunes marines et terrestres. Les dinosaures envahissent tous les continents. Ils se développent en plusieurs lignées et resteront maîtres du monde pendant près de 150 millions d'années. Dans les airs apparaissent les premiers oiseaux.



Vue imaginaire d'un paysage jurassique

Le climat devient plus humide et plus chaud, le niveau des mers s'élève et provoque l'inondation de vastes zones. L'événement marquant est la dislocation de la Pangée :

l'océan Atlantique s'ouvre, l'Antarctique et l'Inde s'individualisent. Sur chacun de ces continents naissants les formes de vie se diversifient.

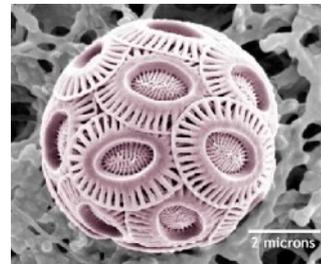
Le Crétacé

Le nom de Crétacé est dû aux vastes dépôts marins de craie qu'on retrouve dans de nombreuses régions d'Europe, en particulier en Angleterre.

*La fragmentation de la Pangée se poursuit : l'Amérique du Sud s'éloigne du continent africain et l'Atlantique Nord s'élargit. Les continents se rapprochent progressivement de la configuration que nous leur connaissons aujourd'hui. Les rifts océaniques sont très actifs et participent à l'érection d'importantes chaînes sous-marines. Cette activité enrichit les océans en calcium, favorisant le développement d'algues calcaires microscopiques. C'est l'accumulation des test calcaires de ces microorganismes qui sont à l'origine de la **craie**. Le niveau des mers est très élevé et le domaine marin envahit les basses terres des continents.*

La Craie

La craie est un calcaire constitué par l'accumulation des squelettes calcaires d'organismes microscopiques, principalement des microalgues unicellulaires recouvertes de plaques calcaires discoïdales, les coccolithophoridés. C'est une roche poreuse qui s'effrite et laisse une trace lorsqu'on la frotte sur une surface rugueuse (un tableau noir, par exemple).



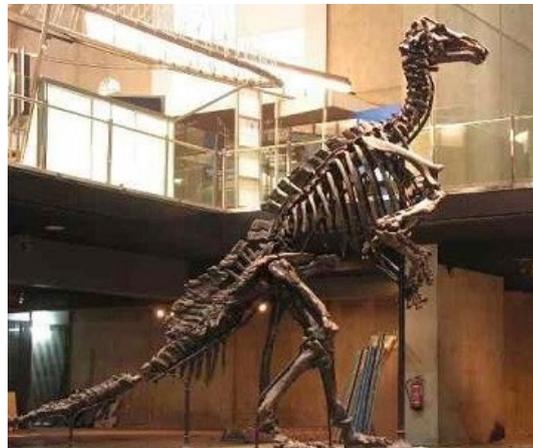
Coccolithophoridé, une algue calcaire vue au microscope électronique

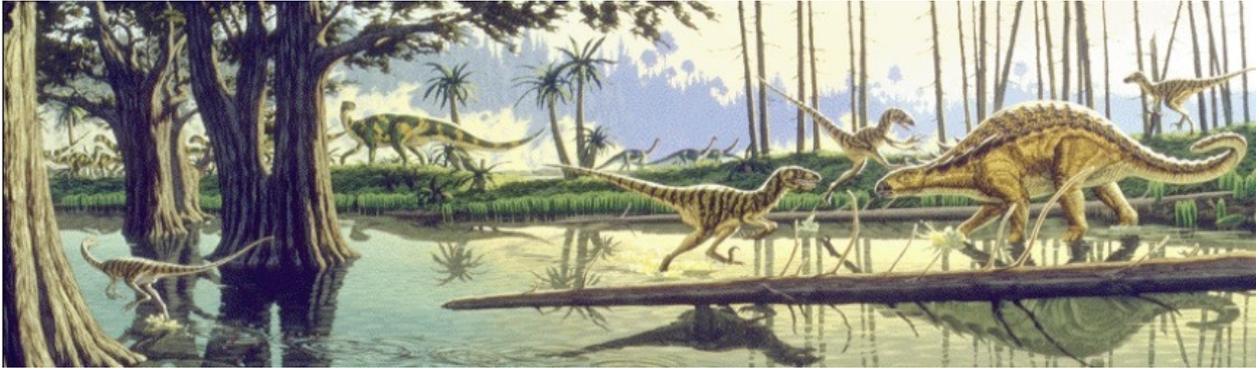
Dans les océans, les ammonites sont omniprésentes, les lamellibranches, les échinodermes les spongiaires et les brachiopodes prolifèrent. Les foraminifères et les algues calcaires envahissent les mers chaudes. Sur terre, les plantes à fleurs apparaissent et les insectes sont abondants. Les dinosaures sont toujours bien présents et leur gigantisme s'accroît. Les plus représentatifs sont l'Allosaure et l'impressionnant Tyrannosaure, des prédateurs redoutables et l'Iguanodon, un paisible herbivore.

Les Iguanodons de Bernissart

En 1878, on a trouvé dans une mine de charbon située à Bernissart (Belgique), trente squelettes d'iguanodons «noyés" dans une poche d'argile à 320 mètres de profondeur. C'est probablement un troupeau en fuite qui est tombé dans un piège boueux. Les iguanodons vivaient au début du Crétacé.

Squelette d'un iguanodon trouvé dans la mine de Bernissart





Vue imaginaire d'un paysage au début du Crétacé

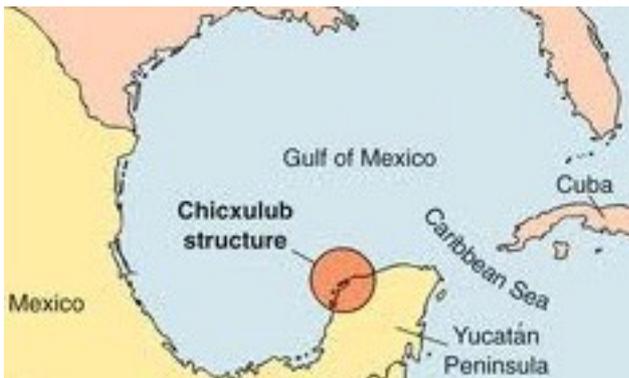
Décadence du Mésozoïque

Le Crétacé va se terminer brutalement par une extinction massive de très nombreuses espèces vivantes. Sur terre les dinosaures disparaissent, dans les mers les ammonites disparaissent aussi.

Une catastrophe écologique est la cause de ces disparitions. Les rares endroits où la limite entre le Crétacé et les roches du Cénozoïque est visible, on trouve une mince couche d'argile, qui renferme une quantité anormalement élevée d'iridium, un élément très rare dans la croûte terrestre mais abondant dans les météorites.

Catastrophe causée par la chute d'une météorite géante ?

On a découvert les traces d'un gigantesque cratère météoritique à Chicxulub, dans le Golfe du Mexique datant d'environ 65 millions d'années. La chute de cette météorite aurait envoyé dans l'atmosphère des quantités considérables de cendres qui auraient obscurci le ciel pendant de nombreuses années, interrompant la photosynthèse. Les herbivores auraient péri, ainsi que les carnivores qui en dépendaient.

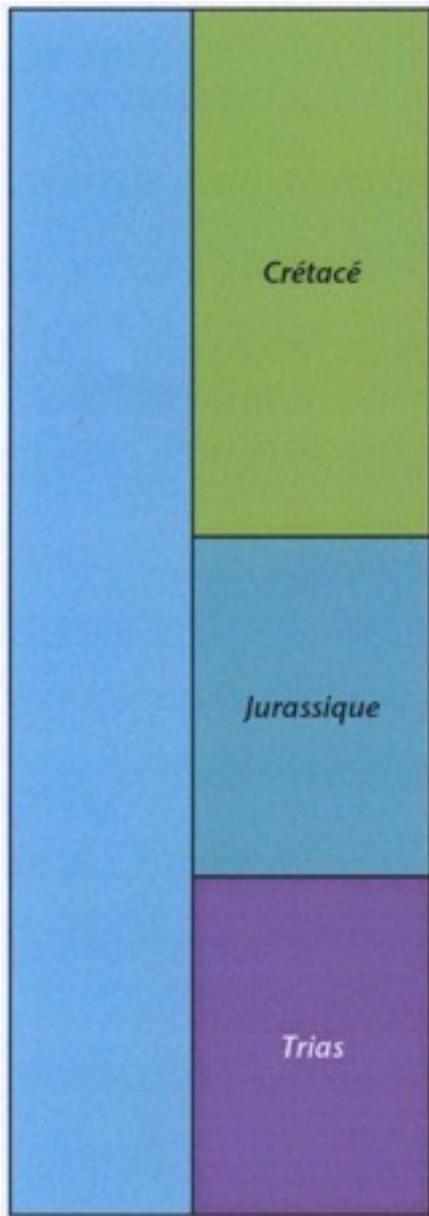


Cratère de Chicxulub, dans le Golfe du Mexique



Reconstitution artistique de la chute d'une météorite géante.

Synthèse de l'évolution au Mésozoïque (ère secondaire)



- 65 Ma Extinction massive de la plupart des espèces vivantes
Disparition des dinosaures et des ammonites

La fragmentation de la Pangée se poursuit.
L'Atlantique s'élargit, l'Amérique du Sud s'éloigne de l'Afrique.

Le volcanisme sous-marin enrichit les océans en calcium.

Les algues calcaires microscopiques pullulent favorisant les dépôts de craie.

-135 Ma

Dislocation de la Pangée et ouverture de l'Atlantique.
Le climat devient chaud et humide.

Les mers envahissent les parties basses des continents.

Les dinosaures envahissent tous les continents.

Les ammonites envahissent les océans.

Apparition des premiers oiseaux.

-180 Ma

Période chaude avec nombreuses lagunes dans lesquelles se déposent des couches de sel.

Apparition de petits dinosaures ainsi que des reptiles aquatiques (Ichtyosaures) et volants (Ptérosaures).

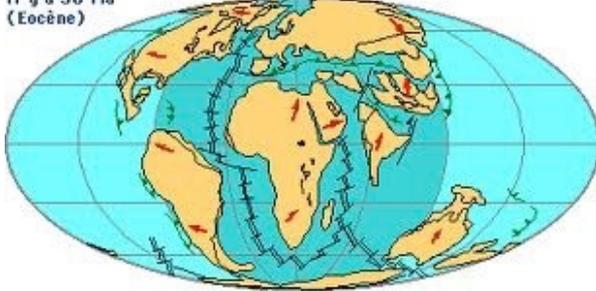
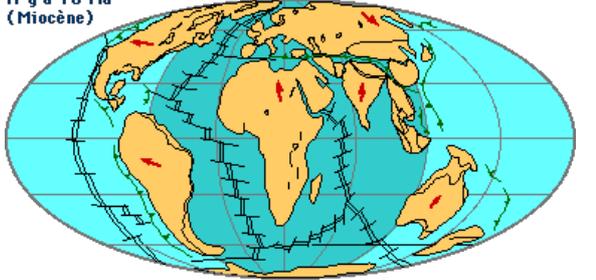
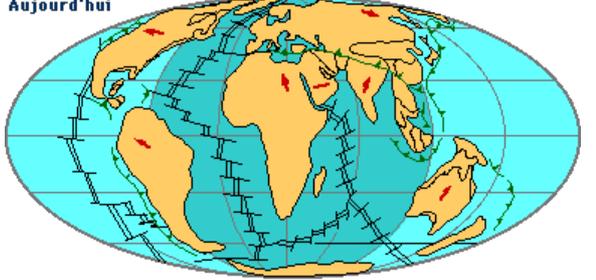
Apparition du plancton à coquille calcaire.

Développement nouveau de la vie.

- 250 Ma Extinction massive de la fin du Permien

Le Cénozoïque (ères tertiaire et quaternaire)

C'est l'ère dans laquelle nous vivons. Elle a commencé il y a 65 millions d'années. Cénozoïque signifie «nouvelle vie». En effet, après l'extinction catastrophique qui marque la fin du Crétacé, une vie nouvelle s'est développée avec le fait marquant du développement majeur des mammifères et des oiseaux.

<i>Evolution des continents au cours du cénozoïque</i>	
<p><i>Au début du Cénozoïque, l'Atlantique poursuit son ouverture, l'Afrique se rapproche du continent eurasien. L'Inde dérive rapidement vers le Nord, l'Australie et l'Antarctique poursuivent leur individualisation.</i></p>	<p>Il y a 50 Ma (Eocène)</p> 
<p><i>La fermeture de la Thétys se poursuit, entraînant la surrection de la chaîne alpine et de l'Himalaya. L'Australie se sépare de l'Antarctique. Ce dernier continent se positionne au pôle Sud. Un courant circumpolaire modifie progressivement les climats. La température diminue et annonce les prochaines glaciations.</i></p>	<p>Il y a 10 Ma (Miocène)</p> 
<p><i>Le Thétys est entièrement refermée et les continents occupent leur position actuelle. Les Alpes commencent de s'éroder. Vers la fin de cette ère se produit une succession de glaciations qui affectent l'hémisphère nord avec une périodicité d'environ 150'000 ans.</i></p>	<p>Aujourd'hui</p> 

Les mammifères occupent l'espace

Ils existaient déjà au Mésozoïque, mais ils étaient de petite taille et ne pouvaient se développer à cause des dinosaures qui les chassaient. Dans ces temps nouveaux, ils peuvent occuper tout l'espace et n'ont que peu de prédateurs. Les mammifères présentent des innovations intéressantes : ils ont le sang chaud et, surtout, ils sont vivipares, portant en eux leurs petits jusqu'à leur naissance. Ils n'ont donc pas à craindre les chasseurs d'oeufs !

Les marsupiaux et les placentaires

Très vite, les mammifères se divisent en **marsupiaux** et en **placentaires**. Chez les mammifères placentaires, le fœtus se développe dans un placenta à l'intérieur du ventre de la femelle jusqu'au moment de sa naissance.

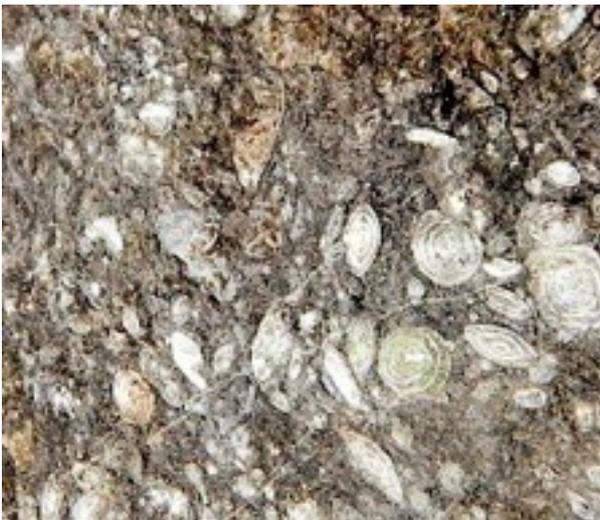
Chez les marsupiaux, la femelle accouche prématurément d'une larve fœtale qui poursuivra son développement dans une poche ventrale externe.

Les mammifères placentaires étaient beaucoup mieux armés contre les prédateurs. Ils se sont donc largement développés. Les marsupiaux n'ont survécu qu'en Australie, un continent isolé sans prédateurs pour ce groupe. Ce sont les actuels Kangourous et les koalas.



Une femelle Kangourou avec son petit dans la poche ventrale.

Subdivisions du Cénozoïque



Calcaire à nummulites, daté de l'Eocène, Col des Essets, Vaud, Suisse

Les géologues divisent le Cénozoïque en deux grandes périodes. La plus ancienne est le **Paléogène**, qu'on appelait aussi autrefois **Nummulitique** à cause de l'abondance de ces foraminifères calcaires dans les océans. La plus récente est le **Néogène**. La limite entre ces deux périodes est marquée par une inversion du champ magnétique terrestre.

- Le Paléogène englobe les époques Paléocène, Eocène et Oligocène. Le Néogène comprend le Miocène et le Pliocène.
- L'**éocène** (-59 à -35 Ma) débute sous un climat extrêmement chaud et humide dû vraisemblablement à une teneur élevée de l'atmosphère en gaz à effet de serre. Des forêts tropicales recouvrent les continents. Les mammifères sont toujours de petite taille. On voit l'apparition des premiers primates.
- L'**Oligocène** (-35 à -23 Ma) débute par des extinctions massives provoquées probablement par la chute d'une météorite. L'ouverture du passage de Drake favorise une circulation circumpolaire des vents et entraîne un refroidissement général. L'Antarctique se couvre d'une calotte de glace. La forêt tropicale est petit à petit remplacée par une forêt

d'arbres à feuilles caduques. La famille des Rhinocéros apparaît, Presque toutes les familles de mammifères modernes sont présentes.

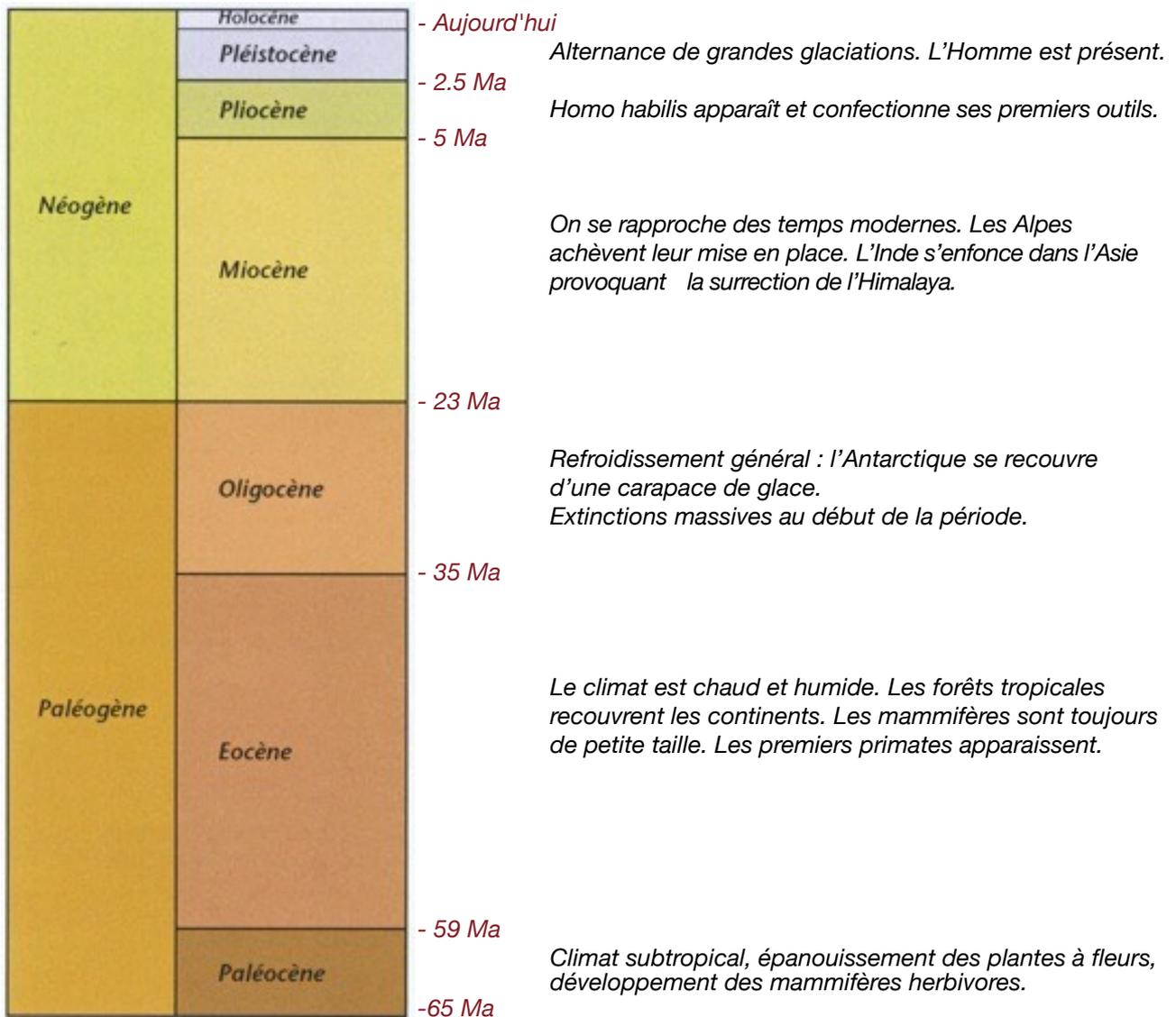
- **Le Miocène** (-23 à -5 Ma) se rapproche des temps modernes. Les Alpes poursuivent leur croissance et l'enfoncement de l'Inde dans le continent asiatique augmente encore l'élévation de l'Himalaya. Le climat devient plus froid et plus sec. La faune est pratiquement la même qu'aujourd'hui. On dénombre de nombreuses espèces d'hominidés. C'est probablement à cette époque que la lignée des grands singes et celle de l'homme se séparent.
- **Le Pliocène** (-5 à -2.5 Ma). La connexion de l'Amérique du Nord et de l'Amérique du Sud par l'isthme de Panama, bloque la circulation des courants marins équatoriaux, ce qui entraîne le refroidissement de l'Atlantique. Sur les calottes polaires nord et sud l'épaisseur de glace augmente. Ces modifications vont faire naître les oscillations climatiques qui entraîneront les cycles des grandes glaciations. Les forêts tropicales sont réduites à la zone équatoriale. Les plaines herbeuses envahissent tous les continents. Les forêts d'arbres à feuilles caduques occupent les latitudes moyennes et les conifères colonisent les latitudes élevées.
Les Australopithèques sont présents tout au long de Pliocène et, vers la fin de cette période, l'Homo habilis apparaît et confectionne les premiers outils.

Et le Quaternaire ?

Du point de vue géologique, nous sommes encore dans l'ère cénozoïque. Mais notre anthropocentrisme nous pousse à distinguer cette période bien particulière qui a vu l'Homme se développer. Flattons donc notre ego et admettons l'ère quaternaire ! Cette ère est subdivisée en Pléistocène et l'Holocène.

- **Le Pléistocène** (-2.5 Ma à -12'000 ans) concerne la période des grandes glaciations. Celles-ci se manifestent par une extension périodique des glaciers jusqu'à environ 40° de latitude. Les glaces scandinaves recouvrent toute la Grande Bretagne et les glaciers alpins descendent jusqu'à Lyon. L'épaisseur de la glace peut atteindre 1'500 mètres. Chaque glaciation fait baisser le niveau des mers de plus de cent mètres. Durant les périodes interglaciaires le niveau marin remonte. En étudiant les sédiments, on a pu démontrer l'existence d'au moins quatre grandes glaciations au cours de cette période. Les continents sont très proches de leur position actuelle. Durant cette période les hommes sont déjà présents.
- **L'Holocène** est la période actuelle. Elle concerne les 10'000 dernières années. C'est la période interglaciaire qui a suivi la dernière glaciation dite de Würm et dans laquelle nous vivons aujourd'hui. A la suite de la fonte des dernières glaces, le niveau des mers est remonté d'une centaine de mètres. Le climat s'est réchauffé. Les grands mammifères ont petit à petit disparu (Mastodonte, Mammouth, tatou géant, ours géant...). Et l'Homme, tel une espèce invasive, s'est mis à façonner son environnement pour son bien-être au détriment de nombreuses espèces animales et végétales.

Synthèse de l'évolution au Cénozoïque (ère tertiaire)



Conclusion provisoire

Cet opuscule est évidemment incomplet : en voulant présenter un texte compréhensible, j'ai dû simplifier de nombreux chapitres de cette immense aventure. Mais où s'arrêter pour ne pas ennuyer et décourager le lecteur ? C'est le principal questionnement lorsqu'on essaie de vulgariser la science. Aussi je vous demande d'être indulgent vis-à-vis de ce texte, de me signaler les erreurs qui pourraient s'y être glissées et de me faire part de vos commentaires et suggestions.

Table des matières

<i>Tout vient des étoiles</i>	3
<i>Comme une enquête policière</i>	9
<i>La préhistoire de notre planète</i>	16
<i>Histoire sommaire des continents</i>	24
<i>Le Paléozoïque, le début des temps modernes</i>	89
<i>Avènement du Mésozoïque</i>	37
<i>Le Cénozoïque</i>	44
<i>Glossaire</i>	49

Glossaire

- Allosaure** *C'est un dinosaure de grande taille (jusqu'à 10 m.). Il se déplaçait sur ses pattes arrières. C'était un carnivore redoutable qui s'attaquait aux dinosaures herbivores. Il vivait à l'époque jurassique.*
- Ammonites** *Ce sont des mollusques de la classe des céphalopodes apparus à la fin de l'ère primaire et qui ont disparu à la fin de l'ère secondaire. Les ammonites possédaient une coquille généralement enroulée, constituées d'une succession de loges cloisonnées. L'animal vivait dans la dernière loge et en construisait une nouvelle, plus grande, lorsque sa taille augmentait. Les ammonites vivaient entre 50 et 300 mètres de profondeur. Leur grande répartition spatiale et leur évolution rapide en font un fossile qui a permis de bien dater les roches calcaires de l'ère secondaire.*
- Amphibiens** *Vertébrés tétrapodes, les amphibiens ont une vie aquatique au début de leur vie (sous forme de larve) puis deviennent terrestres lors de leur vie adulte. Parmi les amphibiens, citons la grenouille, le crapaud, la salamandre.*
- Archéen** *Deuxième éon du Précambrien, s'étendant de -3'800 à -2'500 Ma. Il débute par l'apparition probable de la vie sous la forme de bactéries primitives qui ont engendré la construction des stromatolites. On observe des épanchements de komatiites, roches rares qui témoignent d'un manteau encore très chaud.*
- Archeopteris** *Arbre géant présent au Dévonien et au Carbonifère, probable ancêtre des arbres modernes. Il se reproduisait par des graines et non plus par des spores comme les fougères.*
- Archeopterix** *Ancêtre probable des oiseaux. C'était un petit dinosaure à plumes capable de voler. L'archeopterix est apparu au Jurassique. Les oiseaux ont survécu à la grande extinction de la fin du Crétacé et sont, aujourd'hui, les seuls descendants des dinosaures.*
- Arthropodes** *Ce sont des invertébrés constitués de segments rigides recouverts de chitine qui constitue une sorte de squelette externe. Ces segments sont articulés les uns aux autres. Dans ce groupe, citons les trilobites, les crustacés, les insectes, les mille-pattes.*
- Australopithèques** *Ancêtre de l'homme ayant vécu de -7 à -1 Ma en Afrique. Un squelette féminin assez complet a été découvert en Ethiopie. Il a été baptisé «Lucy» par ses découvreurs. Il est âgé de 3.2 Ma.*
- Brachiopodes** *Ce sont des mollusques composés d'une double coquille. Mais, contrairement aux lamellibranches, on distingue une valve avant et une valve arrière. Les deux valves diffèrent par leur taille : on distingue la valve ventrale, la plus grande, de la valve dorsale, plus petite. La valve ventrale se prolonge un peu au delà de la charnière, formant un petit tunnel creux qui laisse le passage d'un pédoncule qui permet à l'animal de se fixer au fond rocheux. Les brachiopodes ont été extrêmement abondants au cours de l'ère primaire. Ils sont beaucoup moins abondants aujourd'hui. Ils sont représentés aujourd'hui par les térébratules et les rynchonelles.*
- Cénozoïque** *Troisième ère du Phanérozoïque (ou ère tertiaire) marquée par le développement des mammifères et l'avènement des hominidés. La fermeture de l'océan Téthys entraîne la formation des Alpes.*
- Céphalopodes** *Ce sont des mollusques dont le pied est divisé en de nombreux bras munis de ventouses qui surmontent la tête. On distingue les octopodes (huit bras) et les décapodes (dix bras). Les plus connus sont les pieuvres, les calmars, les seiches qui ont un squelette interne (os de seiche). Les nautilus ont une coquille externe ainsi que les ammonites, groupe important qui a complètement disparu à la fin du Crétacé.*

- Coccolithophori-**
dés *Algues unicellulaires protégées par une couche de plaques discoïdes de calcite. A leur mort, ces organismes s'accumulent sur le fond des océans, formant d'épaisses couches de craie.*
- Coraux** *Petits organismes invertébrés qui vivent généralement en colonie. Il vivent dans des loges le plus souvent calcaires, contigües à celles de leur voisin. Leur empilement constitue les récifs coralliens. Pour survivre il faut que l'eau soit agitée, très transparente et que sa température soit supérieure à 22°. Ils sont apparus très tôt, dès le début du Paléozoïque*
- Crinoïdes** *Ce sont des échinodermes qui ressemblent à une fleur constituée d'un corps muni de longs bras relié au fond marin par une sorte de tige qui se fixe sur le fond de la mer. Cette ressemblance avec une fleur les ont fait surnommer «lis de mer». Abondants pendant les ères primaire et secondaire, ils constituaient des sortes de prairies sous-marines. A leur mort, leur squelette calcaire participe à l'élaboration des roches calcaires. Les éléments de la tige, les entroques, sont très abondants dans certaines roches qu'on appelle alors «calcaires à entroques».*
- Croûte terrestre** *Partie la plus superficielle de la Terre. On distingue la croûte continentale d'environ 35 km d'épaisseur constituée principalement de roches granitiques et la croûte océanique constituée d'une mince couche d'une dizaine de km, faite principalement de basalte.*
- Crustacés** *Ce sont des arthropodes le plus souvent marins. Ils possèdent 2 paires d'antennes et respirent grâce à leurs branchies. Toutes les parties du corps sont protégées par une carapace. En grandissant, ils abandonnent leur carapace et se recouvre rapidement d'une autre, plus grande. Les plus connus sont l'écrevisse, le homard, la langouste et la crevette.*
- Cryogénien** *Période glaciaire, appelée glaciation Varanger, qui se serait étendue à la Terre entière, vers la fin du Protérozoïque, entre - 850 et - 650 Ma.*
- Cyanobactéries** *Organismes unicellulaires sans noyau (procaryotes) appelé souvent «algue bleue». Les cyanobactéries sont apparues il y a 3.8 milliards d'années. Elles ont contribué à l'édification des stromatolites et à synthétiser l'oxygène.*
- Dimérodons** *Reptile carnivore qui vivait durant le Permien, il mesurait un peu plus de trois mètres et comportait une sorte de grande voilure dorsale.*
- Dinosaures** *Groupe de vertébrés ovipares ayant régné durant tout le Mésozoïque. La plupart d'entre eux avaient une posture redressée, se déplaçant sur leurs pattes arrières. Beaucoup atteignaient des tailles considérables qui leur ont valu leur nom de dinosaure qui signifie «lézard terrible». Certains dinosaures volaient. Les oiseaux actuels sont les descendants actuels de petits dinosaures.*
- Echinodermes** *Ce sont des organismes marins benthiques, c'est à dire qu'ils vivent sur les fonds marins. On compte des milliers d'espèces dont les plus anciennes sont apparues déjà au Cambrien. Ils ont une symétrie apparente pentaradiée. Les représentants les plus connus sont les oursins, les étoiles de mer et les crinoïdes.*
- Eoraptor** *Un des premiers dinosaures. Sa taille ne dépassait pas un mètre et il devait peser une dizaine de kg. Ses membres inférieurs très développés et terminés par trois griffes acérées lui permettait de courir rapidement. Il était probablement omnivore.*
- Eponges** *Ce sont des invertébrés marins fixés aux fonds marins et vivant en colonies, un peu comme les coraux. Il en existe de très nombreuses espèces.*
- Eriops** *Tétrapode ayant vécu au Permien. Considéré comme un amphibien primitif. Il mesurait près de 2 mètres.*
- Eucaryotes** *Regroupe tous les organismes uni ou pluricellulaires dont les cellules comportent un noyau.*

<i>Foraminifères</i>	<i>Ce sont des organismes unicellulaires. Ils sont donc très petits et leur taille est inférieure à un millimètre. Leur test est le plus souvent calcaire, beaucoup plus rarement siliceux. Ils sont apparus dès le début de l'ère primaire. A leur mort, les test s'accumulent dans les sédiments. Leur étude, en micropaléontologie, est très utile pour la datation des roches sédimentaires.</i>
<i>Gastéropodes</i>	<i>Ce sont des mollusques à coquille asymétrique unique, généralement spiralée. Le représentant qui nous est le plus familier est l'escargot. La plupart des gastéropodes sont marins. Ils sont apparus très tôt à l'ère primaire et on les retrouve un peu partout à l'état fossile. On en a recensé plus de 100'000 espèces.</i>
<i>Géante rouge</i>	<i>Cycle d'une étoile de taille moyenne qui a brûlé une grande partie de son hydrogène et voit son hélium s'effondrer puis entrer en fusion. La force radiative fait gonfler l'étoile dont la surface, un peu moins chaude, prend une couleur rouge.</i>
<i>Globigérines</i>	<i>Foraminifères dont le test calcaire forme des loges sphériques à paroi mince. Ils abondent dans les eaux équatoriales. A leur mort, les coquilles s'accumulent sur le fond des océans, formant des boues calcaires qui formeront plus tard des roches calcaires.</i>
<i>Gondwana</i>	<i>Supercontinent réunissant l'Afrique, l'Amérique du Sud, l'Antarctique et l'Australie, issu de la dislocation de la Pangée au début du Mésozoïque.</i>
<i>Hadéen</i>	<i>Eon le plus ancien de l'histoire de notre planète, compris entre -5'500 et 3'800 Ma. On y voit la séparation d'un noyau central métallique surmonté du manteau de matériau silicaté. C'est l'époque de la formation de la Lune, conséquence d'un bombardement intense de météorites. Les océans apparaissent pendant cette période.</i>
<i>Homo habilis</i>	<i>Espèce du genre homo qui vivait en Afrique il y a environ 2 millions d'années. Il confectionnait déjà des pierres taillées, ce qui lui a valu la qualification d'«habilis». Parfaitement bipède, il mesurait environ 130 cm.</i>
<i>Ichtyosaure</i>	<i>C'est un vertébré marin ressemblant à un dauphin, qui pouvait atteindre 10 mètres de longueur. L'ichtyosaure est apparu un peu avant les dinosaures. Il a peuplé les mers durant toute l'ère secondaire.</i>
<i>Iguanodon</i>	<i>Un dinosaure herbivore ayant vécu au Crétacé. Haut de 5 mètres, long de 6 à 10 mètres, il devait peser environ 4 tonnes.</i>
<i>Komatiite</i>	<i>Roche volcanique ultrabasique, constituée d'olivine et de pyroxène. C'est l'équivalent volcanique des péridotites. Les komatiites ne sont présentes que pendant l'Archéen</i>
<i>Lamellibranches</i>	<i>Appelés aussi bivalves, ce sont des mollusques qui comportent une double coquille formée de deux valves calcaires reliées par une charnière. Ces valves sont généralement symétriques. L'une est gauche, l'autre est droite. Les moules, les huîtres, les coquilles Saint-Jacques en sont les représentants les plus connus.</i>
<i>Laurasie</i>	<i>Continent réunissant l'Eurasie et l'Amérique du Nord, issu de la dislocation de la Pangée au début du Mésozoïque.</i>
<i>Lépidodendron</i>	<i>C'est une fougère arborescente pouvant dépasser 50 mètres de hauteur et dont le tronc pouvait atteindre 2 mètres de diamètre. Les lépidodendrons peuplaient les forêts équatoriales durant le Carbonifère.</i>
<i>Lithosphère</i>	<i>Partie rigide de la surface terrestre, englobant la croûte terrestre et la partie la plus supérieure du manteau. C'est la lithosphère qui constitue les plaques qui se déplacent au cours du temps, faisant et défaisant les continents.</i>

<i>Manteau terrestre</i>	<i>Partie interne de la Terre comprise entre le noyau et la croûte terrestre, soit environ entre 2'900 km et 40 km de profondeur. Constitué principalement de silicates de fer et de magnésium, les minéraux sont sous des formes dites de «haute pression».</i>
<i>Marsupiaux</i>	<i>Ils constituent une sous-classe des mammifères. La femelle possède une poche ventrale à l'intérieur de laquelle le foetus, très incomplet à sa naissance, termine sa gestation dans la poche ventrale. Très vulnérables, ils ont disparu des continents sauf en Australie où ils n'avaient pas de prédateurs. Le Kangourou est un survivant de ce groupe.</i>
<i>Mésozoïque</i>	<i>Deuxième ère du Phanérozoïque appelée anciennement ère secondaire. Elle s'étend de -250 à -65 Ma, entre l'extinction massive qui a marqué la fin du paléozoïque et celle qui marquera son déclin avant l'avènement du Cénozoïque. Période marquée par l'abondance des dinosaures et des ammonites</i>
<i>Mollusques</i>	<i>Ils font partie des invertébrés. Leur corps est mou et ils sont dépourvus de squelette interne. Le plus souvent ils sécrètent une coquille externe calcaire. Les principaux mollusques sont les Gastéropodes, les Lamellibranches et les Céphalopodes.</i>
<i>Naine blanche</i>	<i>Stade ultime de la vie d'une étoile de taille moyenne qui a épuisé tout son combustible nucléaire.</i>
<i>Nautiloïdes</i>	<i>Ce sont des céphalopodes qui comportent une coquille spiralée constituée d'une succession de loges cloisonnées. L'animal vit dans la dernière loge, la plus grande, et en construit une nouvelle chaque fois que sa taille augmente. ils sont apparus il y a plus de 400 millions d'années et ont relativement peu évolué.</i>
<i>Nébuleuse</i>	<i>Objet céleste diffus composé de gaz et de poussière issus souvent de l'explosion d'une supernova.</i>
<i>Noyau terrestre</i>	<i>Partie centrale de notre planète, d'environ 3'500 km de rayon, constituée d'un mélange de fer et de nickel. Le centre, rigide, est entouré d'une partie faite d'un liquide plus ou moins visqueux.</i>
<i>Paléogéographie</i>	<i>Science qui tente de reconstituer la géographie des périodes géologiques anciennes.</i>
<i>Paléozoïque</i>	<i>Première ère géologique de la vie de la terre après le Précambrien. Elle s'étend de -542 à -250 ma. Elle débute avec l'apparition des premiers fossiles bien conservés dans les roches et se termine avec un extinction majeure de nombreuses espèces vivantes. Appelé autrefois ère primaire.</i>
<i>Pangée</i>	<i>Nom du supercontinent qui a rassemblé toutes les terres émergées de la fin du Carbonifère jusqu'au début du Jurassique.</i>
<i>Pélagique</i>	<i>Qui concerne toute la colonne d'eau de l'océan, donc les paries autres que les fonds marins et les côtes.</i>
<i>Phanérozoïque</i>	<i>Phanérozoïque (du grec phaneros, « visible », et zôon, « animal »), période au cours de laquelle on observe des fossiles, ces restes visibles d'organismes dans les roches sédimentaires.</i>
<i>Procaryotes</i>	<i>Organisme unicellulaire dont la structure ne comporte pas de noyau. Ce sont les premiers organismes vivant connus. Il sont apparus dans les mers il y a environ 3.8 milliards d'années.</i>
<i>Progymnospermes</i>	<i>Groupe de plantes fossiles très abondantes au Dévonien et au Carbonifère. Ce sont des sortes de fougères arborescentes mais dont la tige est un vrai tronc très élancé.</i>
<i>Protérozoïque</i>	<i>Dernier éon du Précambrien, il s'étend de -2'500 à -542 Ma. Il se singularise avec l'augmentation de l'oxygène dans l'atmosphère et l'oxydation des minerais de fer.</i>

<i>Ptérosaure</i>	<i>Ce sont probablement les premiers vertébrés volants. Ils sont apparus vers la fin du Trias. Certains ont la taille d'un moineau alors que d'autres pouvaient atteindre 10 mètres d'envergure.</i>
<i>Radiolaires</i>	<i>Organismes unicellulaires mesurant entre 0.1 et 2 mm, à squelette siliceux, vivant dans les eaux froides, souvent à de grandes profondeurs. L'accumulation de leur squelette aux grandes profondeurs forment les boues siliceuses qui, en s'indurant, forment les radiolarites.</i>
<i>Sauriens</i>	<i>Terme pas très bien défini. On classe habituellement parmi les sauriens, les lézard et les serpents.</i>
<i>Stromatholites</i>	<i>Constructions calcaires dues à l'activité de cyanobactéries, sortes d'algues bleues unicellulaires. Les premiers stromatolites sont apparus il y a plus de 3 milliards d'années.</i>
<i>Supernova</i>	<i>Ensemble des phénomènes qui accompagnent l'explosion d'une étoile massive en fin de vie. Le plupart des éléments chimiques sont synthétisés au cours d'une telle explosion.</i>
<i>Tétrapodes</i>	<i>Sous embranchement des vertébrés, les tétrapodes comportent deux paires de membres. Les premiers tétrapodes, apparus du Dévonien, étaient marins. Ils ont gagné les continents il y a environ 380 Ma et se sont pourvus de poumons. Actuellement ils sont représentés par les reptiles, les amphibiens, les oiseaux et les mammifères.</i>
<i>Thétys</i>	<i>Océan engendré par la dislocation dès la fin du Paléozoïque de la Pangée, séparant le continent de Gondwana au Sud de la Laurasia au Nord. La fermeture de cet océan au cours du Cénozoïque provoquera la formation d'une immense chaîne de montagnes allant des Alpes à l'Himalaya.</i>
<i>Trilobites</i>	<i>Arthropodes marins abondants durant toute l'ère primaire. C'est le premier organisme dont la carapace indurée a laissé des traces dans les roches. C'est réellement le premier fossile conservé dans les roches. Son apparition a été choisie marquant le début de l'ère primaire.</i>
<i>Tyrannosaure</i>	<i>Dinosaure carnivore pouvant atteindre 12 mètre de longueur. C'est un des derniers dinosaures qui vivait à la fin de l'ère secondaire, juste avant la grande extinction de la fin du Crétacé. Il se déplaçait sur ses puissantes pattes arrière. Les membres antérieurs se réduisaient à deux bras partiellement atrophiés terminés par deux doigts griffus.</i>
