

Séquence 7 :

TRANSFORMATION DE LA TERRE ET EVOLUTION DE LA VIE

Apparition de la vie sur Terre

<https://www.youtube.com/watch?v=XN39Qy0YleI>

Durant 1 milliard d'années, le bombardement de météoritique diminue, une croûte externe solide se forme, la température diminue (moins de 90°C), la composition de l'atmosphère change et les océans se forment par condensation de la vapeur d'eau.

Ces transformations vont permettre la vie sur Terre

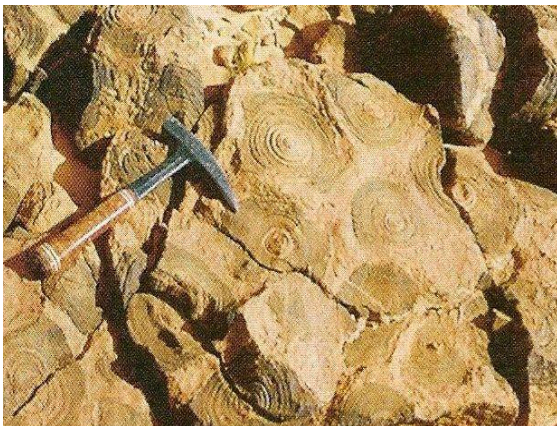
<http://education.francetv.fr/matiere/physique-chimie/quatrieme/video/l-apparition-de-la-vie-sur-terre>

La vie apparait alors dans les océans, comme en atteste les fossiles les plus anciens présents dans des roches datées de 3,5 milliards d'années.

En effet, l'eau bloque les rayons ultraviolets, nocifs pour la vie, qui s'abattent sur Terre à cette époque.

Par contre sur les continents, aucune vie n'est présente car l'atmosphère est dépourvue de dioxygène et surtout, en l'absence de la couche d'ozone, les rayons ultraviolets ne sont pas filtrés et empêchent toute vie.

Dans des roches sédimentaires marines, on trouve des fossiles « bizarres », les **stromatolites**, qui semblent formés de couches concentriques.



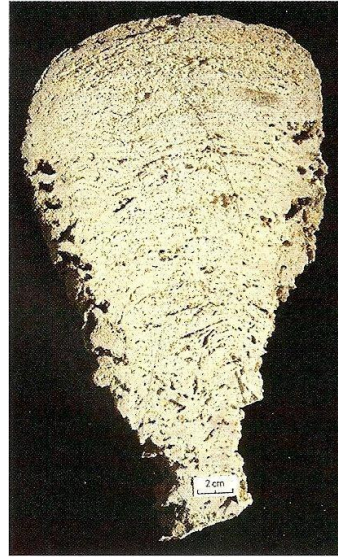
a Coupe dans un stromatolite fossile. Les premiers stromatolites sont datés de - 3,5 Ga.

Les stromatolites

On connaît à l'heure actuelle, des constructions similaires notamment en Australie



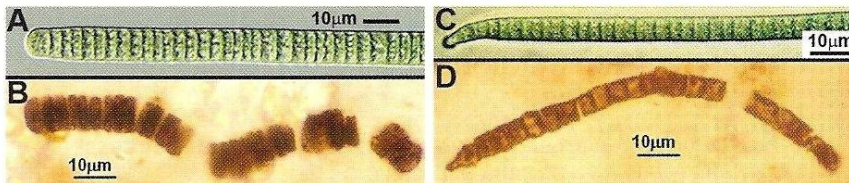
Champ de stromatolites actuels en Australie (baie de Shark).



Coupe dans un stromatolite actuel.

L'observation des stromatolites actuels permet de comprendre leur formation. Ce sont des couches de calcaire déposées par des cyanobactéries.

Les stromatolites actuels sont édifiés par des bactéries filamenteuses du groupe des **Cyanobactéries**. Elles contiennent des pigments chlorophylliens et, comme tous les organismes possédant de tels pigments, elles **produisent du dioxygène** lorsqu'elles sont exposées à la lumière. Les premières Cyanobactéries sont datées de $-3,5$ Ga et, même si d'autres organismes avec cellules à noyau et chlorophylle apparaissent, elles restent très longtemps les producteurs fondamentaux de dioxygène.



Bactéries édifiant des stromatolites actuels (A et C) et structures observées dans des lames minces de stromatolites fossiles (B et D).

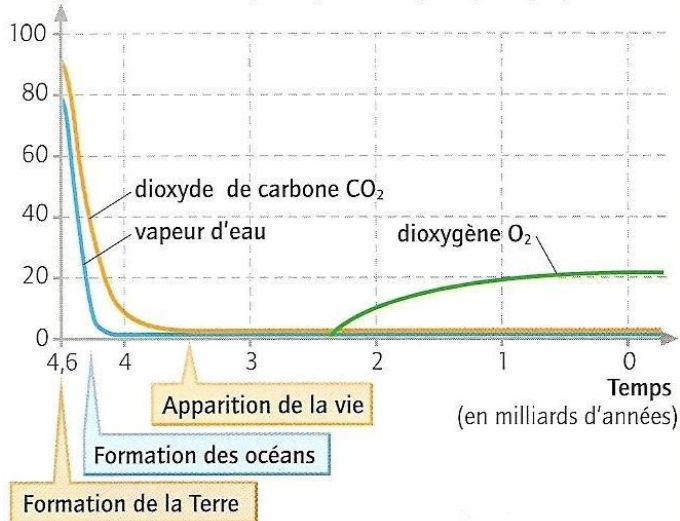
Les premiers êtres vivants ont donc été des **cyanobactéries**. Elles sont apparues dans les océans primitifs (température 90°C , absence de dioxygène).

Ces cyanobactéries fabriquent leur matière organique en utilisant du dioxyde de carbone. Ce phénomène s'accompagne d'un dégagement de dioxygène.

Les cyanobactéries vont pendant très longtemps produire du dioxygène et permettre son apparition dans l'eau puis dans l'air.

Ceci va progressivement modifier la composition de l'atmosphère.

Composition de l'atmosphère (en % des principaux gaz)



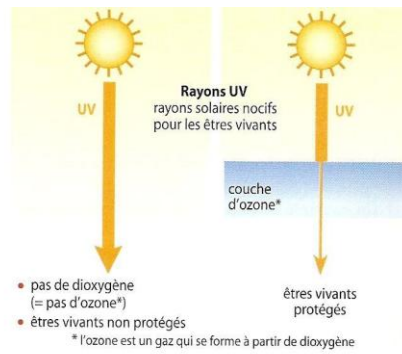
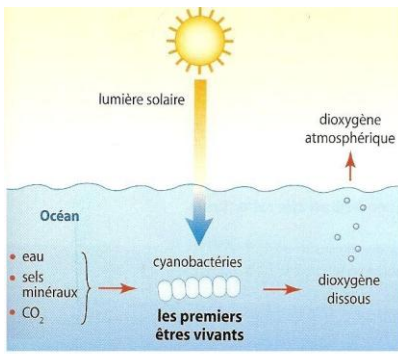
La présence de dioxygène dans l'atmosphère à partir de -2,3 milliards d'années est confirmée par la présence de sédiments rouges.

- Les premières roches sédimentaires rouges apparaissent sur les continents, il y a 2,2 milliards d'années. La couleur rouge est due à la présence d'ions Fe^{3+} (ion ferrique).
- Dans un milieu sans dioxygène, le fer ionisé se trouve sous forme Fe^{2+} (ion ferreux). Cet ion est très soluble. En présence de dioxygène, l'ion Fe^{2+} se transforme en Fe^{3+} . Cet ion est très peu soluble ; dès qu'il se forme, il précipite dans les sédiments.



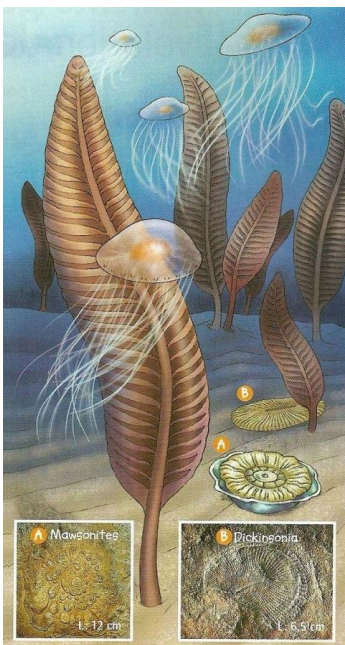
Affleurement dans la région de Pilbara en Australie.

Par la suite la présence de dioxygène dans l'atmosphère va permettre la mise en place de la **couche d'ozone**. L'ozone est un gaz qui se forme à partir du dioxygène.



La production de dioxygène par les cyanobactéries a bouleversé les conditions de vie sur Terre.

Les modifications des conditions de vie sur la Terre grâce au dioxygène produit par les cyanobactéries vont permettre dans un premier temps la diversification de la vie en milieu marin.



Les fossiles d'Ediacara (âge : 575 millions d'années ou 575 Ma). Ce sont les premiers organismes pluricellulaires connus ; leur corps était mou. Découverts en Australie, ils ont vécu dans différents océans.

Par la suite, le passage du dioxygène dans l'atmosphère et la mise en place de la couche d'ozone qui filtre les rayons ultraviolets nocifs vont permettre l'apparition de la vie sur les continents vers -450 millions d'années.

L'enrichissement de l'atmosphère en dioxygène

Temps	Dioxygène O ₂ [% par rapport à l'actuel]	Ozone O ₃ [% par rapport à l'actuel]	Formes de vie
- 400 Ma	100	100	Premiers animaux continentaux (<i>Palaeocharinus rhyniensis</i>) Premiers végétaux continentaux (<i>Rhynia</i>)
- 600 Ma	10	90	↑ Explosion de la biodiversité
- 2,3 Ga	0,0001	10	Développement important des stromatolites
- 3,5 Ga	0	0	Vie aquatique uniquement

L'ozone (O₃) se forme dans la haute atmosphère, à partir du dioxygène (O₂) et sous l'action des rayons ultra-violet (UV). L'ozone absorbe les rayons UV les plus nocifs

L'eau protège naturellement contre ces UV dangereux qui atteignent la surface de la Terre en l'absence de la couche d'ozone.

Comparaison de la teneur de l'atmosphère en dioxygène et en ozone par rapport à aujourd'hui, et évolution des formes de vie.



Paysage continental à Rhynies, daté d'environ - 400 Ma. Les Rhynies mesurent entre 20 et 50 cm de haut.

Trace écrite :

Moins d'un milliard d'années après la formation de la Terre, des modifications de l'environnement ont permis l'apparition de la vie dans l'eau, il y a 3,5 milliards d'années.

L'apparition de la vie (cyanobactéries) a permis à son tour l'apparition du dioxygène dans l'eau puis dans l'atmosphère. Ce changement a permis la diversification de la vie dans les océans puis sur les continents après la formation de la couche d'ozone

Quel est le lien entre les événements géologiques et l'évolution de la vie ?

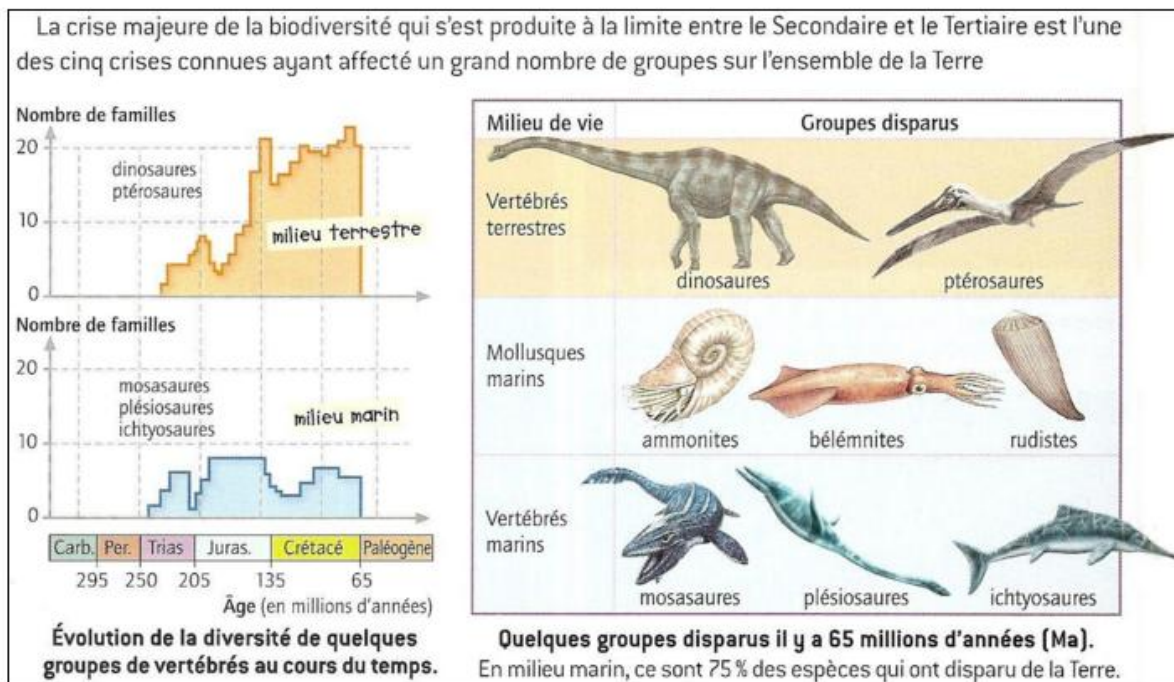
L'histoire de la vie a ensuite été marquée par des crises majeures de la biodiversité qui ont modifié son évolution.

La crise majeure de la biodiversité qui s'est produite à la limite entre le secondaire et le tertiaire est l'une des cinq crises connues ayant affecté un grand nombre de groupes sur l'ensemble de la Terre.

Cette crise transforma de façon profonde la composition des écosystèmes, et eu de ce fait une influence considérable sur le déroulement ultérieur de l'évolution.

En effet, il y a 65 millions d'années, on observe l'extinction de nombreux groupes d'êtres vivants dans les océans et sur les continents.

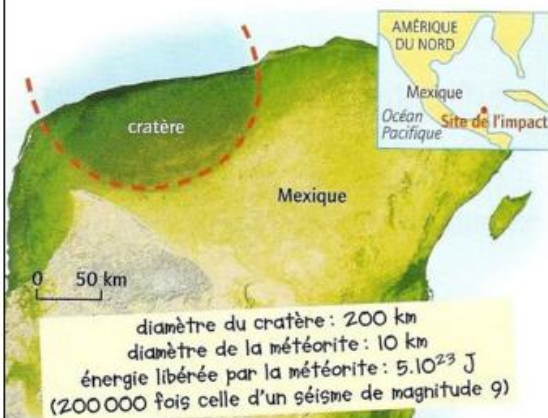
Voici quelques groupes disparus il y a 65 millions d'années :



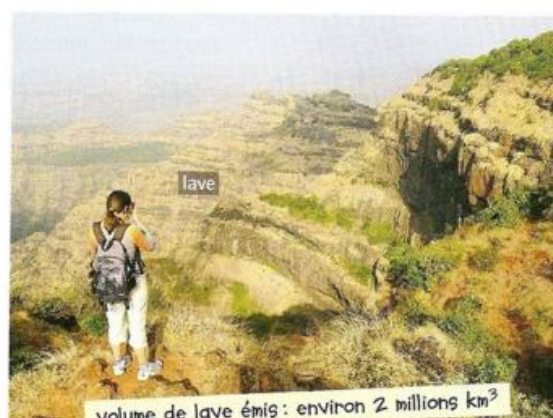
Il faut donc rechercher les causes de cette crise.

De nombreuses explications ont été avancées mais deux événements géologiques majeurs paraissent aujourd'hui admis par les scientifiques :

De très nombreuses explications ont été avancées pour expliquer la crise de la biodiversité survenue il y a 65 millions d'années. Voici deux causes qui paraissent aujourd'hui admises par les scientifiques.



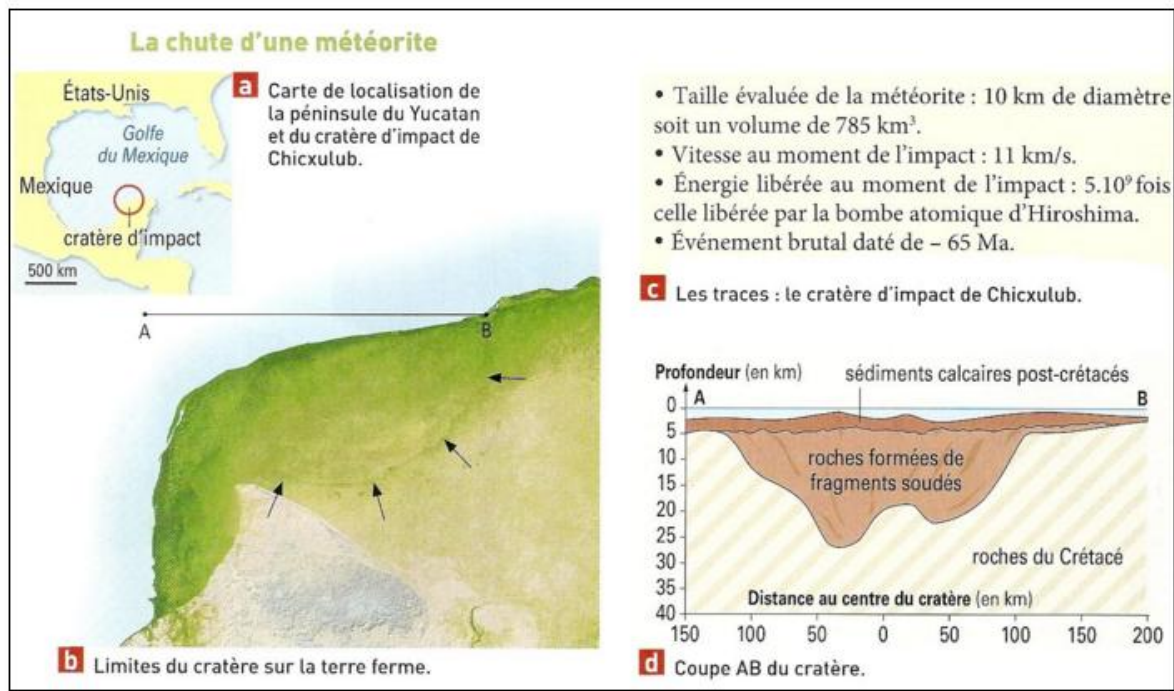
Des traces de la chute d'une météorite il y a 65 Ma : le cratère du Chicxulub au Mexique (image prise par la navette spatiale Endavour).



Des traces d'un volcanisme il y a 65 Ma : un empilement de roches volcaniques en Inde. Hauteur de la lave : 1 700 à 2 400 m.

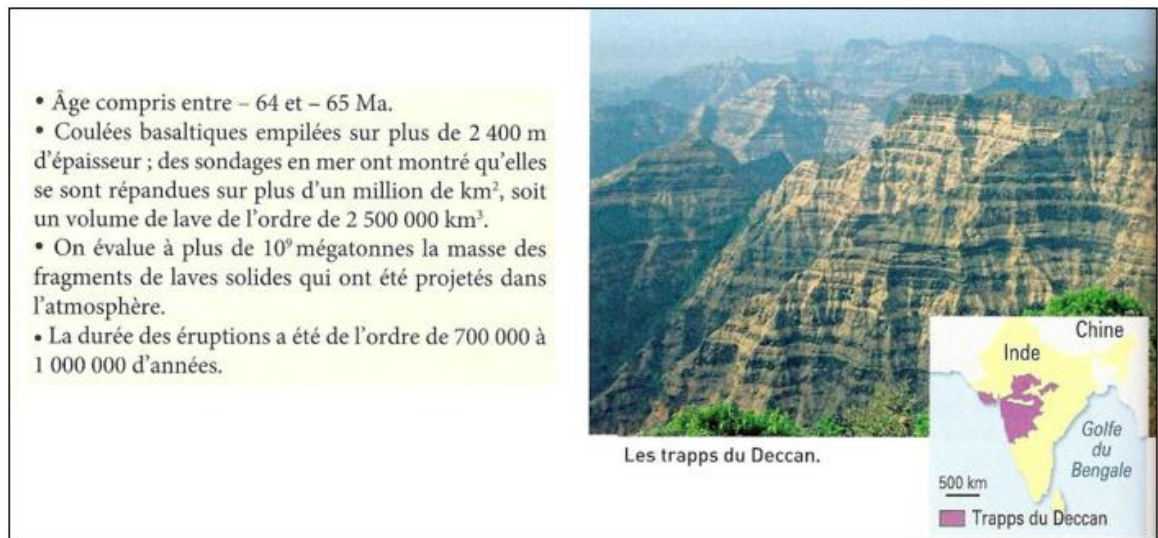
Première hypothèse : la chute d'une énorme météorite

La découverte d'un cratère de 200 Km de diamètre, au Mexique, dans des roches datés de 65 Ma, indique la chute d'une énorme météorite à cette époque.



Deuxième hypothèse : un volcanisme intense

La découverte d'un empilement de roches volcaniques important (1700 à 2400 m de hauteur) en Inde, sur une superficie équivalente à celle de la France, témoigne d'un épisode volcanique intense, il y a -65 Ma.



L'observation de phénomènes comparables plus récents mais d'une intensité beaucoup plus faible permet de comprendre comment ces 2 évènements géologiques majeurs ont pu conduire à la disparition de grands groupes d'êtres vivants.

Événements géologiques	Caractéristiques	Conséquences sur l'environnement
Éruption volcanique: Laki (Islande juin 1783 à février 1784)	<ul style="list-style-type: none"> • 12 km³ de lave • Importantes émissions de gaz et de poussières 	Diminution : <ul style="list-style-type: none"> • du rayonnement solaire reçu par la Terre • de la température moyenne (- 1 °C, hémisphère Nord) pendant des années
Chute de la météorite Tunguska, (Sibérie, 30 juin 1908)	<ul style="list-style-type: none"> • Masse: 100 000 tonnes • Diamètre: 50 m • Énergie libérée: 4 à 6.10¹³ J (celle d'un séisme de magnitude 6) 	<ul style="list-style-type: none"> • Immenses incendies • Nuage de poussières entraîné par les vents autour de la Terre • Modification de la température terrestre

Quelques caractéristiques et conséquences sur l'environnement d'événements géologiques récents.

Tout semble indiquer que la chute d'une météorite ou un volcanisme exceptionnel ou la conjonction des deux événements peut être à l'origine de l'extinction de nombreux groupes d'êtres vivants, il y a -65 Ma.

Ces événements peuvent engendrer de nombreuses conséquences sur l'environnement :

conséquences d'un impact météoritique :

Conséquences d'un impact météoritique du type Chicxulub	
<ul style="list-style-type: none"> • Une nuit profonde pendant plusieurs mois Il existe des produits nés de l'impact dans toutes les régions du globe. Au moment de l'impact, 200 000 km³ de matériaux de toute taille, projetés à plusieurs centaines de kilomètres, se sont dispersés tout autour de la planète : une nuit profonde enveloppa la Terre pendant plus de deux mois et la luminosité fut très faible pendant au moins six mois, entraînant une baisse importante des températures. 	<ul style="list-style-type: none"> • Des incendies planétaires Un grand nombre des dépôts sédimentaires datés de - 65 Ma contiennent des traces abondantes de suies (plus de 10 000 fois les valeurs courantes). • Une pollution atmosphérique Une élévation du taux de nickel, métal toxique pour les plantes, a été observé dans les dépôts contemporains de l'impact. L'atmosphère, en particulier la couche d'ozone, fut gravement perturbée par la traversée du bolide et la quantité énorme de projections.

conséquences d'une éruption volcanique :

Les éruptions volcaniques injectent dans la haute atmosphère une telle quantité de poussières que les rayons du soleil ne parviennent presque plus sur Terre : les plantes vertes privées de lumière meurent ; les herbivores, et secondairement les carnivores meurent aussi.

Émission de gaz
et de poussières par l'Etna
(éruptions de 2002 en Sicile).



Le scénario actuel est donc le suivant :

un événement géologique majeur (chute d'une énorme météorite et/ou volcanisme exceptionnel) entraînent la libération de quantités énormes de poussières et de gaz éjectées dans l'atmosphère.

Ce voile opaque va entourer la Terre et entraîner pendant plusieurs années une diminution de l'ensoleillement sur la Terre et une diminution de la température avec une régression du niveau de la mer.

Ces modifications profondes de l'environnement vont à leur tour avoir des répercussions sur le peuplement végétal et animal.

En effet, une diminution importante de la photosynthèse va se produire chez les végétaux verts qui constituent le premier maillon des chaînes alimentaires.

Cette diminution de la quantité de végétaux verts va perturber les chaînes alimentaires avec pour conséquences la disparition des grands herbivores puis des grands carnivores.

Trace écrite :

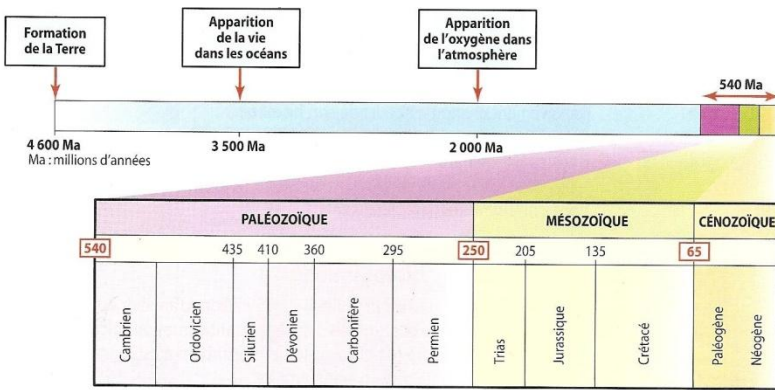
L'histoire de la vie a été marquée par des crises majeures de la biodiversité où s'accélère l'évolution (extinction de masse suivie d'une explosion évolutive).

Ces crises de la biodiversité semblent liées à des événements géologiques exceptionnels ayant profondément transformé l'environnement et les milieux de vie à l'échelle de la planète.

Comment sont découpés les temps géologiques ?

Tous les événements géologiques étudiés et toute l'histoire de la vie peuvent être replacés sur une frise chronologique.

Celle-ci construite tout au long de ce chapitre aboutit au résultat suivant :



La vie est apparue, il y a 3,5 milliards d'années dans les océans puis s'est diversifiée progressivement pour donner des organismes unicellulaires puis des organismes pluricellulaires marins (-580 Ma).

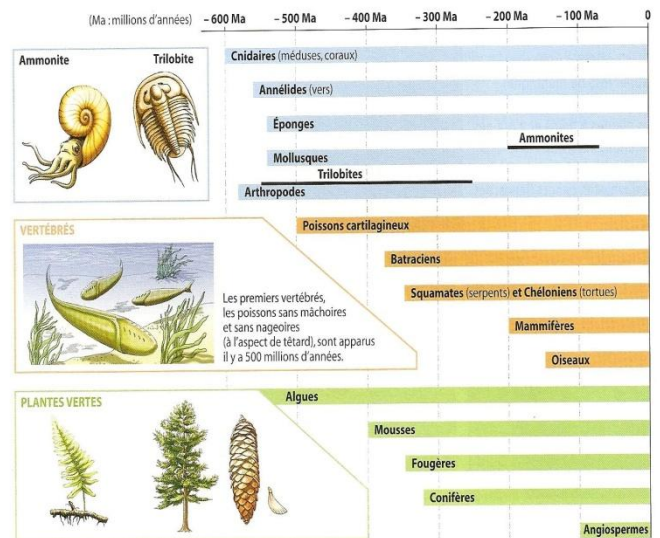
La vie par la suite va se développer sur les continents (-400 Ma) puis va être soumise à de grandes crises.

Cette histoire de la vie (crises datées de -435Ma, -355Ma, -250Ma, -205Ma et -65Ma) et certaines transformations géologiques vont être utilisées pour subdiviser les temps géologiques en ères et en périodes.

Ainsi des grands groupes d'êtres vivants vont se succéder

Groupes actuels	Âge
Plantes à fleurs	135 Ma
Conifères	310 Ma
Mammifères	205 Ma
Poissons à squelette cartilagineux	410 Ma
Tortues	210 Ma
Oiseaux	150 Ma
Fougères	380 Ma
Amphibiens modernes	240 Ma
Poissons à nageoires rayonnées	420 Ma

Quelques groupes actuels et âge de leur plus ancien fossile. Les fossiles sont ceux des plus anciennes espèces connues de chaque groupe.



L'apparition des grands groupes d'êtres vivants.

Trace écrite :

L'apparition de la vie et son évolution progressive ponctuée de nombreuses crises coïncident avec des événements géologiques majeurs.

L'histoire de la vie et les transformations de la Terre sont donc très liées et peuvent être replacées sur une frise chronologique.

La succession des formes vivantes et les transformations géologiques sont utilisées pour subdiviser les temps géologiques en ères et en périodes de durée variable.