



Club Minéraux Fossiles Soissons

La trame de cette exposition réalisée pour le profane sans expérience préalable des sciences de la Terre, trace un itinéraire dans l'espace et dans le temps,
Dans le temps d'abord car la chronologie est le moyen le plus simple de raconter cette histoire, dont les premières traces remontent à 2 milliards d'années, et qui se poursuit à l'heure actuelle. Dans l'espace aussi, puisque chaque tableau privilégie les périodes ou nous pouvons le mieux évoquer une époque.
Cette exposition n'aurait pas été possible sans le travail de tous les chercheurs – géologues, paléontologues et biologistes qui ont déchiffré l'histoire et publié les articles et rapports dont se sont inspirés les membres de notre association pour réaliser cette exposition en particulier : Alain Arvati et Pierre Babled.



L'Hadéen

est le premier éon de l'histoire de la Terre. Il commence avec la formation de la Terre il y a environ 4,6 milliards d'années (Ga) pour se terminer autour de −4 Ga, et dure donc approximativement 600 millions d'années (Ma). L'Hadéen, division la plus ancienne des temps géologiques, forme avec l'Archéen et le Protérozoïque (les deux éons suivants) **le Précambrien1.**

En raison de la rareté des roches ou des minéraux d'âge archéen et des transformations qu'ils ont pu subir par la suite, les connaissances géologiques et paléobiologiques à propos de l'Hadéen sont limitées. Elles sont complétées par l'étude des roches lunaires et martiennes de même âge.



Plusieurs hypothèses existent quant à l'apparition de l'eau sur Terre...

Hypothèse a) L'eau de la Terre aurait été libérée sous forme de vapeur d'eau, la vapeur se serait condensée pour former une épaisse couche nuageuse à l'origine de pluies torrentielles pendant plusieurs millions d'années. Certains géologues et astronomes estiment que c'est un bombardement de météorites et de comètes qui aurait provoqué la libération de la vapeur d'eau; d'autres pensent que la libération a été provoquée par un dégazage volcanique brutal.

Hypothèse b) L'eau aurait été apportée par une pluie de débris porteurs de glace provenant de l'extérieur de la ceinture d'astéroïdes. La course de ces débris aurait pu être modifiée par le champ de gravité de la plus grosse planète du système solaire: Jupiter. En se désintégrant lors de leur collision avec la Terre les météorites auraient libéré de l'eau. Au fil des collisions les océans seraient apparus.

C'est cette deuxième hypothèse qui à l'heure actuelle semble la plus vraisemblable.

Age des océans: Contrairement à ce que l'on a longtemps pensé, la formation des océans aurait été relativement rapide. Le géologue Stephen Mojzsis, en mesurant la teneur en oxygène de zircons extraits des plus anciennes roches terrestres, pense que les roches auxquelles appartenaient ces zircons se sont formées en présence d'eau. A partir de l'âge des zircons (environ 4 milliards d'années), S. Mojzsis a estimé que les océans avaient mis environ 150 millions d'années à se former.

150 millions d'années après sa formation, notre Terre avait donc des océans saturés en fer (de couleur verte).



Solidification de la croûte terrestre par le refroidissement de la Terre. Grand bombardement tardif. Formation des océans par condensation de l'eau de l'atmosphère composée de N2, CO2 et CH4. Formation de fer rubané par photosynthèse. Disparition du méthane CH4. Émergence des continents Vaalbara, Ur, Kenorland.



Un gisement de fer rubané de la région de Hamersley en Australie-Occidentale.
© *U.S. Geological Survey*, Beatriz Ribeiro da Luz

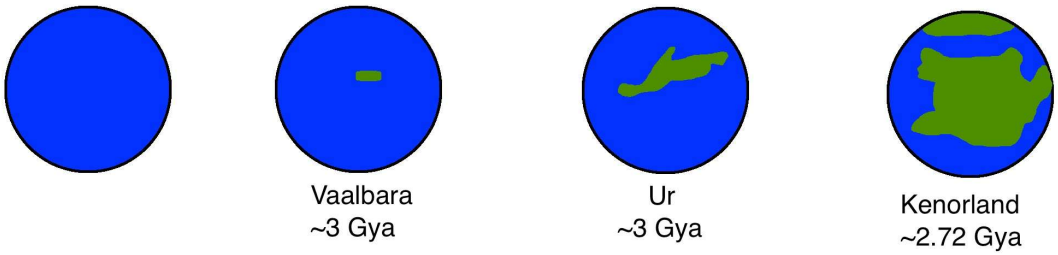


Les fers rubanés (*Banded Iron Formation*) de l'Archéen de Barberton, groupe de *Fig Tree* (-3,26 à -3,22 Ga), Afrique du Sud

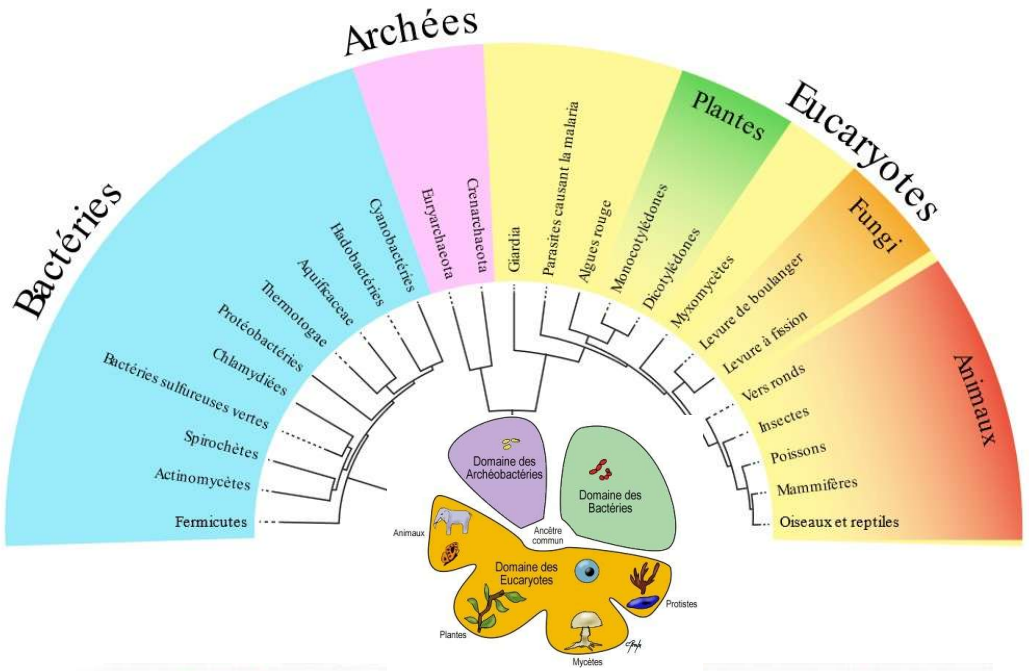
Photosynthèse ou photoferrotrophie ?

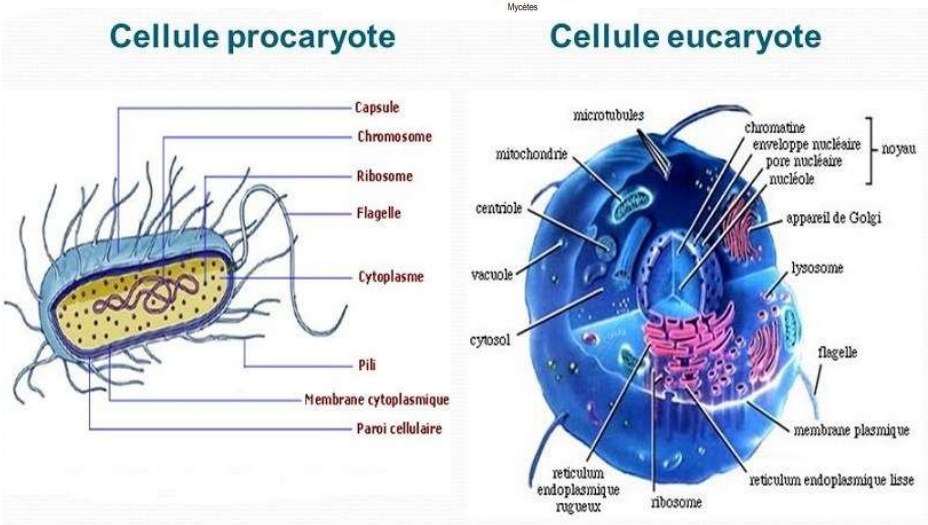
Il est certain qu'il s'agit de formations sédimentaires marines, ce qui permet d'envisager différentes hypothèses. Il y a environ 3 milliards d'années, l'atmosphère ne contenait quasiment pas d'oxygène, de sorte que l'altération des minéraux des continents riches en fer produisait des ions ferreux (Fe^{2+}), solubles dans l'eau et donc particulièrement mobiles. Il n'est de ce fait guère surprenant d'imaginer que ces ions se soient répandus massivement dans l'océan mondial. L'activité volcanique au niveau des sources hydrothermales peut elle aussi contribuer de façon très notable à la présence d'importantes quantités d'ion ferreux en solution à cette époque.

Lorsqu'il est oxydé, par exemple sous forme d'oxyde ferrique Fe_2O_3, et donc d'ion Fe^{3+} (ferrique), le fer n'est plus soluble. Une hypothèse naturelle pour expliquer la formation des BIF fait donc intervenir des dégagements massifs d'oxygène par des tapis microbiens de cyanobactéries, comme ceux des stromatolites, dans les océans. Elle avait logiquement conduit au scénario de la Grande Oxydation (« *great oxidation event* » en anglais), c'est-à-dire la brusque augmentation de l'oxygène dans l'atmosphère de la Terre, une fois achevée la précipitation du fer océanique dans les BIF.



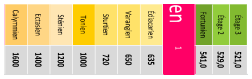
-2000 Apparition des cellules eucaryotes
-1000 Apparition multicellulaire





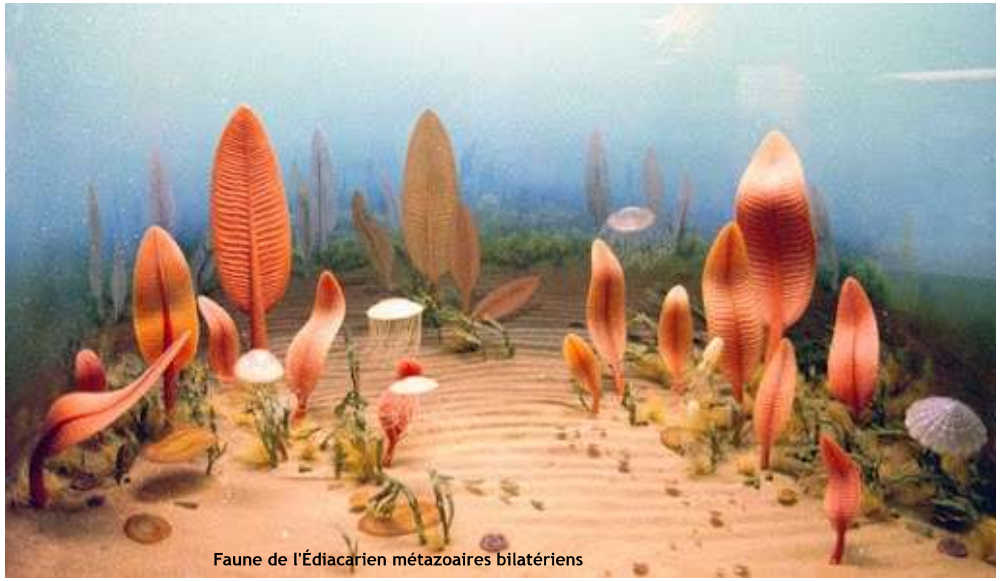
Dans un sens général, le terme eucaryote désigne l'ensemble des organismes unicellulaires ou multicellulaires dont les cellules sont dites « eucaryotes ». Elles possèdent un noyau et des organites (réticulum endoplasmique, appareil de Golgi, plastes divers, mitochondries, etc.) délimités par des membranes.

Les eucaryotes se distinguent des procaryotes (comme les bactéries) qui sont pour leur part dépourvus de ces structures.

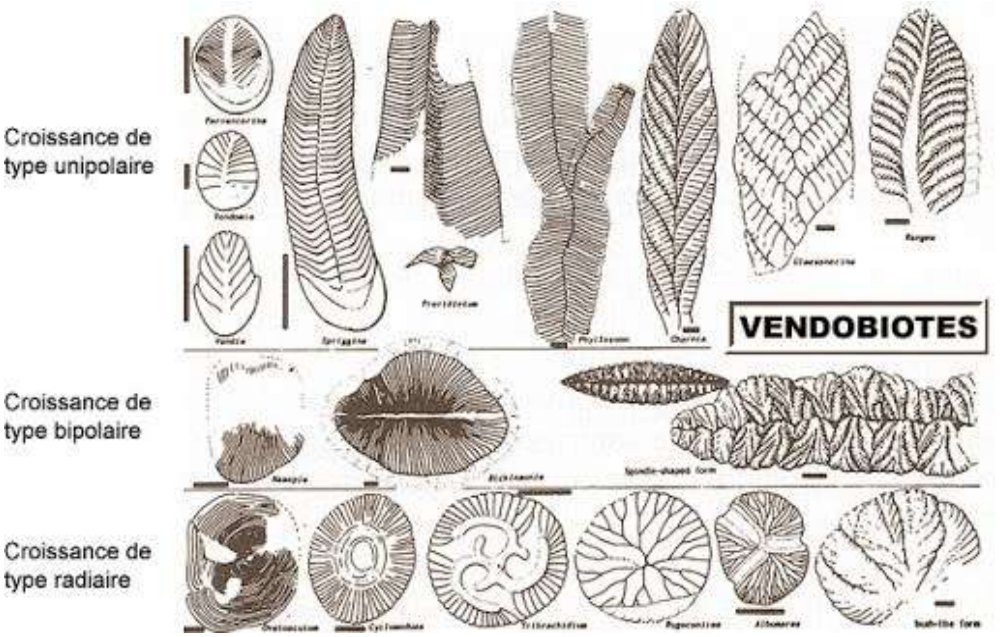


Faune de l'Édiacarien métazoaires bilatériens

-600 *Apparitions d'animaux «simples» Formation du continent Pannotia.*
-550 *Apparition d'animaux «complexes» Glaciation Varanger Formation du continent Rodinia.*
-500 *Apparition des poissons et des proto amphibiens Eucaryotes multicellulaires.*
-475 *Apparition des plantes terrestres (gymnospermes).*



Faune de l'Édiacarien métazoaires bilatériens





L'explosion cambrienne **(il y a entre –541 et –530 millions d'années)** désigne l'apparition soudaine – à l'échelle géologique – de la plupart des grands embranchements actuels de *métazoaires* animaux pluricellulaires) ainsi qu'une grande diversification des espèces animales, végétales et bactériennes Certains auteurs n'hésitent pas à parler de « big bang zoologique au Cambrien », avec l'apparition en quelques dizaines de millions d'années de la quasi totalité des grands pans d'organisation connus actuellement (Annélides, Mollusques, Echinodermes, Chordés, etc.).

Avant cette explosion, la plupart des organismes étaient simples et composés de cellules individuelles parfois regroupées sous forme de colonies. Le nombre de spécimens découverts reste faible mais démontre une grande diversité de classes dont certaines ont complètement disparu.

Cette explosion fut révélée par la découverte dans les schistes de Burgess au Canada, réalisée en 1909 mais qui n'a été correctement analysée que plus de cinquante ans après, d'un biotope marin encore inconnu jusque-là. Cependant, les raisons de cette apparition soudaine restent encore peu connues à cause du manque de fossiles.

faune de Burgess, premiers chordés.

La **faune de Burgess** est le nom des restes d'une faune originale, et exclusivement marine, composée d'annélides et de **chordés** présentant une grande diversité de formes et de tailles. Elle a été découverte en 1911 par le géologue américain Charles Doolittle Walcott. Le nom vient du site *Burgess* situé dans le Parc national de Yoho (Canada), sur les pentes du mont Wapta.

Les fouilles débutées en 1911 se poursuivirent jusqu'en 1917, puis en 1960 et se conclurent par une collection de plus de 80 000 spécimens.

Cette faune marine présente 140 espèces réparties en 119 genres, 37% sont des arthropodes. Elle contient un riche assortiment d'éponges, d'algues, 7 espèces de brachiopodes, 19 espèces de trilobites, 4 espèces d'échinodermes quelques mollusques ou cœlentérés.

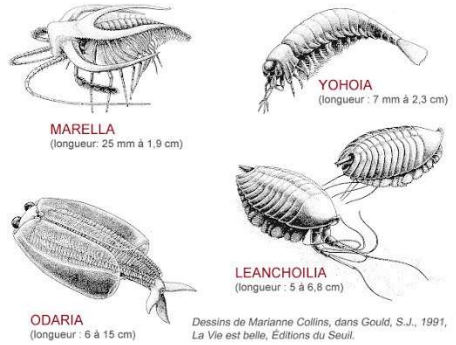
Certains des plans d'organisation de cette faune étaient inconnus et ne sont plus représentés actuellement.

Par la suite, on a retrouvé des faunes similaires au Groenland, en Europe, en Chine, en Australie et en Amérique du Nord.



chordés, nom masculin. *Membre de l'embranchement des Chordata, comprenant tous les spécimens pourvus d'une colonne vertébrale ou d'une de ses formes ancestrales.*





Dessins de Marianne Collins, dans Gould, S.J., 1991, La Vie est belle, Éditions du Seuil.

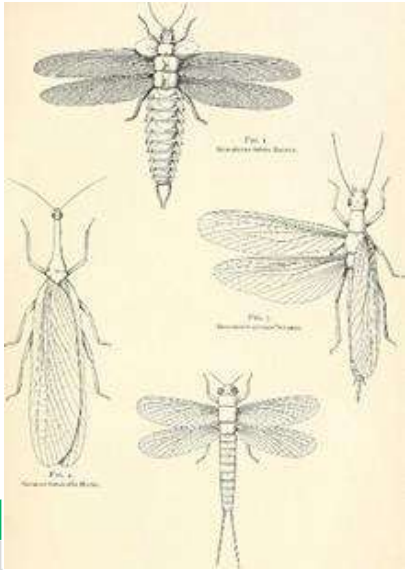
-400 Apparition des insectes et des graines.

La première apparition des insectes date du Dévonien inférieur. Ce sont les aptérygotes, des formes primitives sans ailes.

Mais au Carbonifère supérieur,

il y a -320 millions d'années, les insectes sont omnipresents.

Les nombreux fossiles retrouvés en témoignent.



Etage 4	Etage 3	Dumnien	Guttenbergien	Pâturien	Jeorgehirien	Etage 10	Ermoisien	Frasnien	Durbuyien
514,0	509,0	504,5	500,5	497,0	494,0	488,3	485,4	477,7	470,0

L'origine des plantes à graines est un mystère qui reste à ce jour non résolu.

Des données de plus en plus nombreuses tendent à situer cette origine dans le Dévonien moyen. En effet, la description en 2004 de la proto-graine de

Runcaria heinzelinii **dans le Givetien**

de Belgique constitue une indication de cette origine ancienne des plantes à graines.

Cependant, les premières plantes à graines « vraies » sont décrites dans le Dévonien supérieur qui est le théâtre probable de leur première radiation évolutive.



Extinction du Cambrien (environ 85 % des espèces)
Prédominance des invertébrés. Extinction de l'Ordovicien-Silurien.

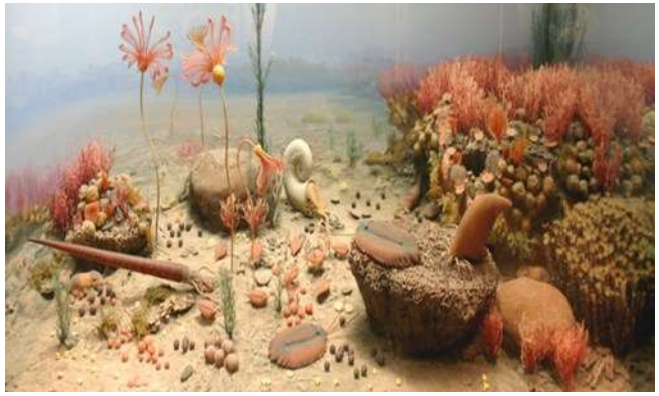
L'extinction de la fin du Cambrien

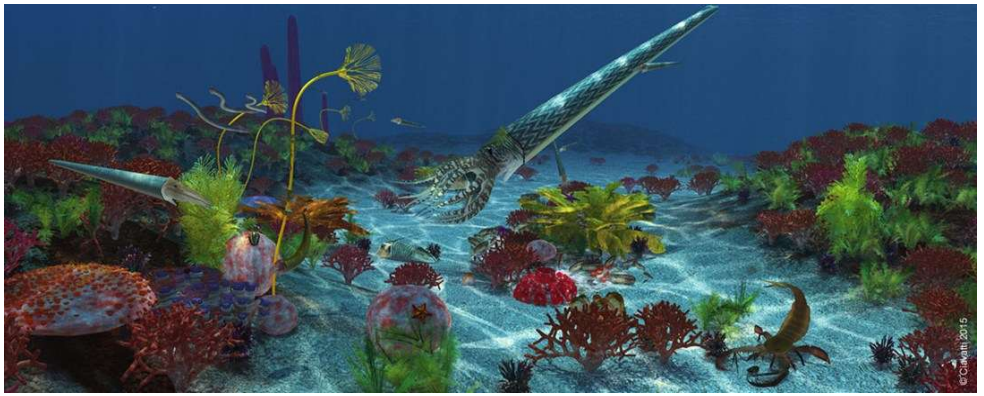
est une des extinctions importantes d'espèces vivantes sur Terre. Elle ne fait cependant pas partie des cinq classiquement reconnues. Elle marque la fin de la période géologique du Cambrien et précède la phase de grande bio-diversification ordovicienne qui va lui succéder.

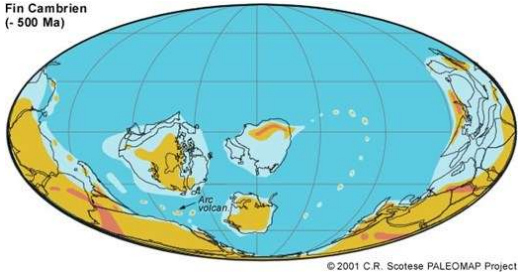
Cette extinction de la fin du Cambrien survient après plusieurs autres crises importantes de disparitions d'espèces connues durant le Cambrien, qui paraissent plus notables mais moins bien documentées par manque de données suffisantes.

Les **causes** extra-terrestres (impacts météoritiques) ne sont pas prouvées. Par contre, on peut incriminer un grand refroidissement global et des variations du niveau marin dites glacio-eustatiques.

Le supercontinent Gondwana, alors placé au Pôle Sud, porte une immense calotte glaciaire. Cette glaciation, qui mobilise d'énormes quantités d'eau, fait baisser le niveau des mers, ce qui entraîne un ralentissement de la circulation océanique et établit des conditions de faible teneur en oxygène, ce qui peut expliquer des conditions de vie plus difficiles.







En **conséquence**, les principaux groupes du registre fossile ayant montré des réductions importantes de leur nombre d'espèces sont les brachiopodes, les conodontes et les trilobites.

L'**extinction Ordovicien-Silurien** est la disparition d'une proportion significative des espèces vivant sur la Terre (essentiellement marines à cette époque), il y a environ 445 millions d'années Appelée parfois « extinction ordovicienne », elle est considérée comme la seconde plus importante des cinq grandes extinctions massives du Phanérozoïque (27% des familles et 57% des genres d'animaux marins soit une estimation de 85% des espèces).

La cause principale de cette extinction majeure paraît liée à une grande phase de volcanisme combinée avec une glaciation. Cette glaciation aurait entraîné des désordres climatiques et écologiques rendant difficile l'adaptation des espèces et écosystèmes au recul de la mer sur des centaines de kilomètres, puis à son retour en fin de phase glaciaire.

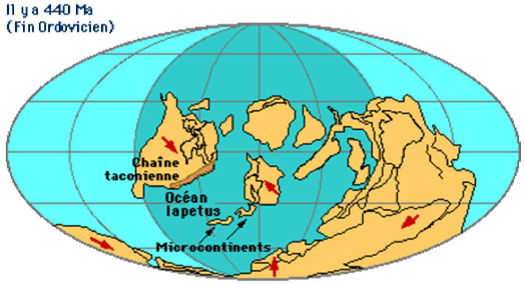
L'impact sur le monde vivant est considérable avec deux pics principaux d'extinction :
- un premier en début de glaciation, provoqué par la chute assez rapide du niveau marin,
- un second à la fin de la glaciation lorsque le niveau marin remonte et que les animaux marins doivent se réadapter à de nouveaux habitats.

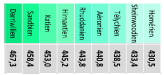
La **grande bio-diversification ordovicienne**

est la période de l'histoire de la Terre pendant laquelle la biodiversité de la vie océanique a le plus augmenté.

Le nombre de familles d'animaux marins recensés va passer d'une centaine à plus de 400 ; le nombre de genres évolue d'environ 500 à plus de 1600.

Parmi les causes possibles, la configuration paléogéographique particulière de cette période. C'est en effet à l'Ordovicien que les masses continentales sont les plus dispersées du fait de la tectonique des plaques. Ces conditions favorisent





Parmi les groupes d'animaux marins fortement affectés par cette phase d'extinction :

le plancton,

les graptolithes,

les trilobites,

les brachiopodes,

les coraux tabulés et tétracoralliaires,

les conodontes (formes denticulées fossiles),

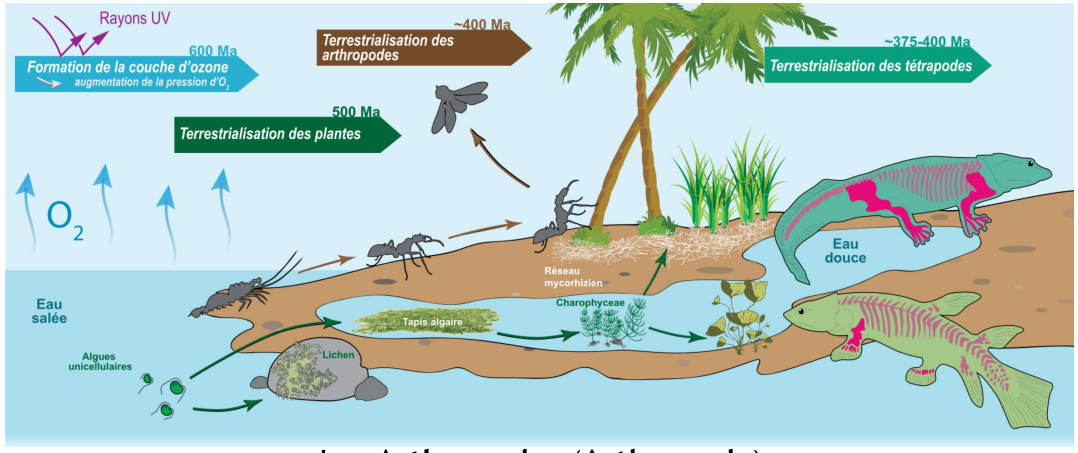
etc.





Le taux de disparition de familles d'animaux marins dans la partie supérieure de l'Ordovicien, sur environ 20 millions d'années est le plus élevé jamais enregistré au cours de l'histoire de la Terre, il est de l'ordre de 20 familles par million d'années.

premières plantes terrestres, arthropodes terrestres. Plantes ligneuses : prêles, fougères… Premières plantes à graines et premiers arbres



Les **Arthropodes** (Arthropoda)

— du grec *arthron* « articulation » et *podos* « pied », aussi appelés « articulés » — sont un embranchement d'animaux protostomiens dont le plan d'organisation est caractérisé par un corps segmenté. Ils sont formés de métamères hétéronomes munis chacun d'une paire d'appendices articulés et recouvert d'une cuticule ou d'une carapace rigide, qui constitue leur exosquelette, dans la plupart des cas constitué de chitine. Leur mue permet, en changeant périodiquement leur squelette externe, de grandir en taille (mue de croissance) ou d'acquérir de nouveaux organes, voire de changer de forme (mue de métamorphose). Ils seraient apparus il y a 543 millions d'années (543 Ma).



Les Chélicérés

(**Chelicerata**) ou **Chélicérates**[1], nom signifiant « doté de chélicères », forment un sous-embranchement de l'embranchement des Arthropodes qui comprend les classes actuelles des arachnides, des pycnogonides, et des mérostomes. Ces animaux, pour la plupart prédateurs, ont survécu après l'extinction des trilobites, arthropodes marins très communs du Paléozoïque. La plupart des chélicérés marins, comprenant notamment les euryptérides, sont maintenant éteints.



Les Crustacés

(Crustacea) sont un sous-embranchement des Arthropodes. Ce sont des animaux dont le corps est revêtu d'un exosquelette chitinoprotéique appelé exocuticule et souvent imprégné de carbonate de calcium. Cette forme de carapace est plus ou moins rigide, sauf en certaines zones qui demeurent souples et permettent l'articulation des différentes parties du corps ainsi que des appendices et autorisent les mouvements. Cette cuticule (à ne pas confondre avec la carapace, voir plus bas) constitue un squelette externe peu extensible qui rend nécessaire le recours à des mues pour réaliser la croissance linéaire. .



Les Hexapodes

(Hexapoda) constituent un sous-embranchement qui regroupe principalement les insectes et d'autres arthropodes à trois paires de pattes : les protoures, diploures et collemboles, considérés par les classifications plus anciennes comme des ordres de la classe des insectes, et qui constituent à eux trois la classe des Entognathes.



Les Myriapodes

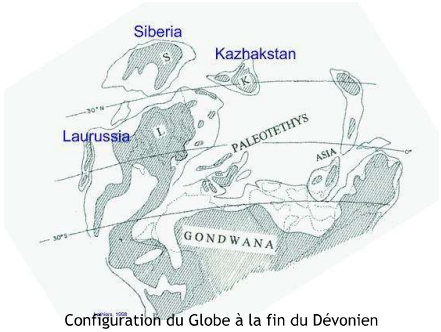
(Myriapoda, du grec μύριος murios, dix mille, et πους pous, podos, pied), communément appelés « mille-pattes » ou « millepattes », sont des animaux au corps allongé et segmenté, pourvus de nombreuses pattes, formant un sous-embranchement des arthropodes.



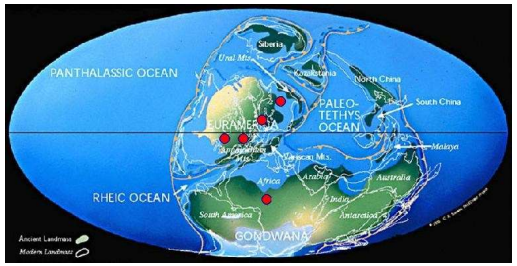
Les trilobites

(**Trilobita**) constituent une classe d'arthropodes marins fossiles ayant existé durant le Paléozoïque (*ère primaire*) du Cambrien au Permien. Les derniers trilobites ont disparu lors de l'extinction de masse à la fin du Permien, il y a 250 Ma. Les trilobites ont leur propre groupe (trilobites). Malgré leurs ressemblances avec ceux-ci, les cloportes (isopodes) ou certains chélicérates (limules, araignées, etc.) n'en sont que des parents éloignés, apparus à la fin du Précambrien.





Configuration du Globe à la fin du Dévonien



. Carte palinspastique sur le site Paleomap de C.A. Scotese. Traces d'impacts ● :

Suède 52km de diamètre à la limite Frasnien/Famennien. **Québec 46km** de diamètre, Famennien supérieur. Tennessee, Frasnien inférieur. **Tchad,** 3 cratères de **10 à 17km** de diamètre, Famennien inférieur. **Russie 15km** de diamètre, Dévonien supérieur.

Les impacts ne déclenchent pas d'extinctions en masse mais affaiblissent la biosphère.

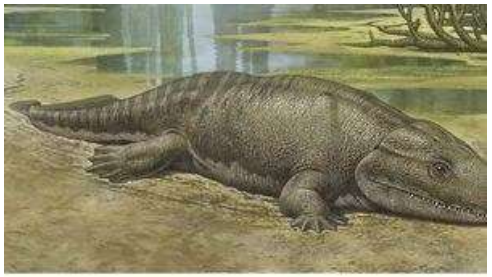
C'est à l'Ordovicien supérieur que les végétaux partent à la conquête des terres, donnant naissance aux premières plantes terrestres.

Celles-ci ont commencé à se diversifier à la fin du Silurien, il y a environ 420 millions d'années, et les résultats de cette diversification sont visibles en détail dans un fossile du début du Dévonien connu sous le nom de flore de Rhynie.

Vers le milieu du Dévonien, la plupart des caractéristiques connues des plantes actuelles sont déjà présentes, y compris les racines, les feuilles et certains tissus secondaires tels que le bois. Les premières graines apparaissent à la fin du Dévonien.

À cette époque, les plantes avaient déjà atteint un degré de complexité qui leur permettait de former des forêts de grands arbres.

Extinction du Dévonien Premiers vertébrés terrestres



« Sortie des eaux »

Ichthyostega est le plus ancien tétrapode connu adapté à la fois à la nage et à une forme de locomotion terrestre.

L'analyse des fossiles de tétrapodes éclaire d'un jour nouveau la transformation progressive, au Dévonien, de gros poissons en animaux aquatiques à quatre pattes bientôt capables de marcher.

Crise de la faune marine

La première crise a eu lieu à la charnière entre l'Ordovicien et le Silurien, il y a 440 MA : 85 % des espèces, alors uniquement marines (beaucoup de brachiopodes, céphalopodes, échinodermes, trilobites), disparurent. C'est l'événement dit « ashgillien » qui a duré entre 1 et 2 MA.

Une période de glaciation aurait conduit à la formation d'une immense calotte glacière à l'endroit du Sahara actuel causant une régression marine, avec une baisse du niveau de la mer de plus d'une centaine de mètres, affectant la faune luxuriante du plateau continental.

Un réchauffement serait intervenu ensuite entraînant une « transgression », la glace fondue donnant des eaux pauvres en oxygène.

Une autre hypothèse prend comme origine l'explosion trop proche d'une supernova, à 10 000 années-lumière de la Terre, qui aurait provoqué l'émission de doses énormes d'ultra-violets (UV) et aurait détruit la couche protectrice d'ozone.

L'**Ashgillien** était le dernier étage géologique de l'Ordovicien supérieur ou *Bala*, dans l'ère Paléozoïque.

Pendant l'**Ashgillien** se sont déposés les quartzites de Hamra (plate-forme saharienne).

Régression : Une régression est une baisse du niveau de la mer qui aboutit à un accroissement des terres émergées.

Transgression : Immersion d'une partie des continents par la mer causée par leur affaissement ou l'élévation du niveau des mers.

Elle peut être globale ou locale.

Insectes géants et premiers sauropsidés (reptiles). Arbres primitifs de grande taille. Fossilisation importante de matière organique. Formation du supercontinent Pangée.

Insectes géants et premiers sauropsidés (reptiles).



Pulmonoscorpius
est un scorpion du Carbonifère mesurant 70 cm de long. De nombreux arthropodes terrestres ont été de grande taille durant cette période grâce à la surabondance de l'oxygène.

Les **Meganisoptera** ou **méganisoptères**, constituent un ordre éteint d'**insectes** ayant vécu à la fin du **Paléozoïque**, du Carbonifère supérieur à la fin du Permien; certains étaient de grande taille, avec une envergure atteignant jusqu'à 71 centimètres.

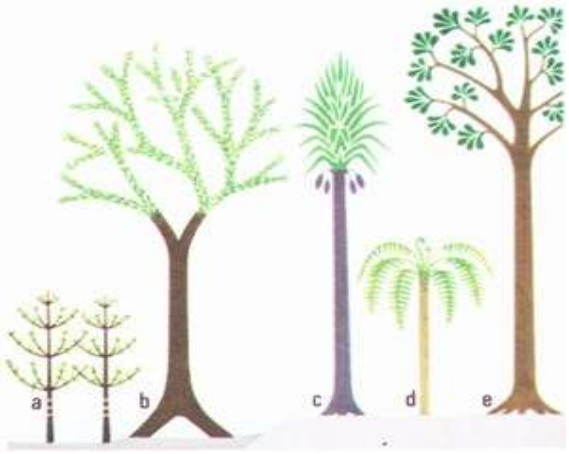


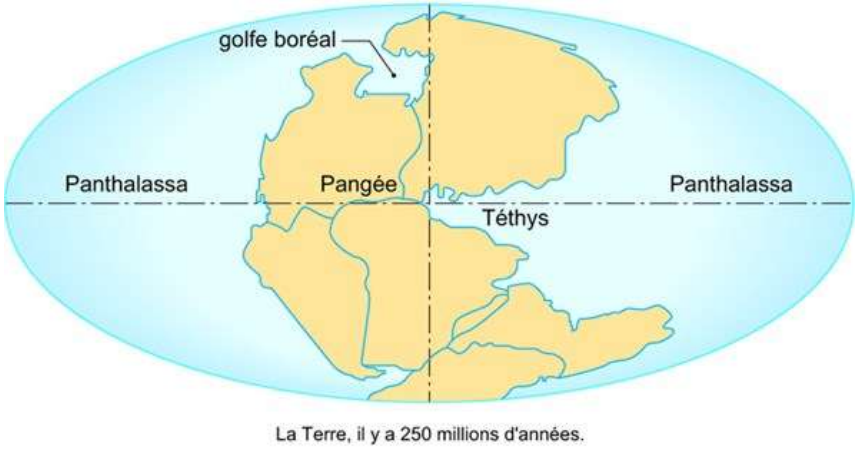


Les **sauropsides** regroupent les oiseaux, tous les reptiles actuels et une partie seulement des reptiles **fossiles**. C'est un groupe d'animaux qui est le groupe frère des **synapsides**, c'est-à-dire aujourd'hui des mammifères, avec lesquels ils forment le taxon des amniotes.

Carbonifère : Arbres de grande taille, fossilisation de matière organique.

Cette époque voit un développement très important de forêts tropicales luxuriantes : la forêt « **houillère** ».
Cette forêt contient principalement des plantes sans fleurs se reproduisant par des spores parmi lesquelles des fougères arborescentes (d), des prêles géantes ou Calamites (a), des lycopodes incluant le Lépidodendron (b) et la Sigillaire (c), les Gymnospermes ou premières plantes à fleurs aux graines non enfermées dans un fruit, les **Cordaïtes (e)** apparaissent.

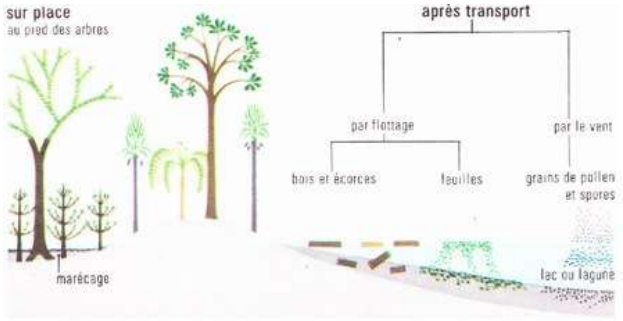




La Terre, il y a 250 millions d'années.

Le charbon.

Tout commence dans un marécage, en bordure d'un bassin sédimentaire (lagune ou lac). Des mouvements tectoniques provoquent la montée du niveau de la mer : la végétation, noyée, meurt. Les arbres et les débris végétaux s'accumulent et sont recouverts de masses de boue et de sable sous l'effet de la sédimentation. Cet enfouissement les met à l'abri de l'air et leur évite de pourrir rapidement. La végétation se reconstitue au-dessus... jusqu'au prochain engloutissement



Le bassin sédimentaire s'enfonçant peu à peu sous le poids des sédiments, les couches de végétaux morts sont soumises à une augmentation de la température qui provoque leur transformation progressive. La cellulose, composant principal du bois, passe ainsi par différentes phases pour constituer le charbon.

Formation de la Pangée.

Sa formation, qui regroupe l'ensemble des terres émergées, est due a la collision des supercontinents **Protogondwana** et de **Laurussia** qui eut lieu au début du Carbonifère (orogenèse hercynienne), fermant l'océan Centralien et élevant d'imposantes chaînes de montagnes, dites hercyniennes, allant des Appalaches au massif Silésien. A la même époque, le craton sibérien et **Kazakhstania** entre en collision avec **Laurussia** sur son bord oriental, fermant l'océan Ouralien et élevant la chaîne de l'Oural. A la fin du Permien, la formation de la Pangée est achevée. Le vaste océan entourant la Pangée se nomme **Panthalassa** (ancêtre de l'océan Pacifique) et le vaste océan situé à l'est, l'océan Téthys.
La formation du supercontinent Pangée a des conséquences importantes sur la vie : la superficie des eaux côtières diminue, entraînant une importante extinction marine, la majorité des espèces marines y vivant. L'éloignement du centre des terres, par rapport à la mer, conduit à une forte baisse des précipitations et à l'expansion de gigantesques déserts.
Il aura fallu plus de **200 Ma pour constituer la Pangée** (de l'Ordovicien au Permien), il en faudra 200 autres (de la fin du Trias a aujourd'hui), pour en disperser les morceaux, une dispersion qui se poursuit toujours.



Extinction du Permien-Trias (95% des espèces marines, 70% des espèces terrestres).



Les **trapps de Sibérie** sont une série de formations géologiques qui couvrent une vaste province magmatique située en Sibérie centrale et occidentale. Ils ont été formés par une succession d'éruptions volcaniques massives, durant une période d'environ un million d'années, survenues il y a 251 millions d'années. Cet évènement géologique, qui détermine la limite Permien-Trias, a probablement causé l'extinction Permien-Trias, la plus sévère des cinq extinctions de masse enregistrées au cours des 540 derniers millions d'années, avec la disparition d'environ 90 % des espèces vivantes de l'époque (95 % des espèces marines et 70 % des espèces terrestres).





Extinction du Permien : des éruptions volcaniques en cause ?

La cause de l'extinction de masse qu'ont subie 70 % de la faune vivant sur terre et 90 % de la faune marine il y a 250 millions d'années est encore incertaine.

Impact météoritique, éruption volcanique, changement climatique ?...

Les études ont montré que le processus a été progressif, s'étalant sur une dizaine de millions d'années, avant de s'accélérer à la limite du Permien et du Trias. L'oxygène se serait raréfié dans les couches supérieures de l'océan, avec une augmentation en soufre, l'environnement marin devenant toxique pour les espèces marines.

Il semble qu'il faille **écarter l'hypothèse d'une catastrophe comme la chute d'une météorite**, comme principale cause de la grande extinction du Permien-Trias.

Le responsable serait plutôt à rechercher du côté des **éruptions volcaniques de Sibérie** qui auraient à cette époque libéré suffisamment de gaz à effet de serre pour modifier radicalement l'écosystème de la planète.

Les trapps de Sibérie s'étalent aujourd'hui sur deux millions de kilomètres carrés, mais on soupçonne qu'ils recouvraient au départ plus du triple de cette surface.

Les trapps de Sibérie :

un scénario en trois phases pour expliquer l'extinction brutale.

Scénario des évènements qui ont conduit aux trapps de Sibérie, dans le bassin de Tougouska, et à l'extinction de masse du Permien-Trias, selon l'équipe de Seth Burgess.

Durant la première phase (*Stage 1* sur le schéma), le magma monte surtout verticalement formant des dykes et déjà un peu horizontalement les sills. Un volcanisme de surface de grande ampleur étale en surface les laves (*Lavas* sur la carte du bas) et les roches pyroclastiques.

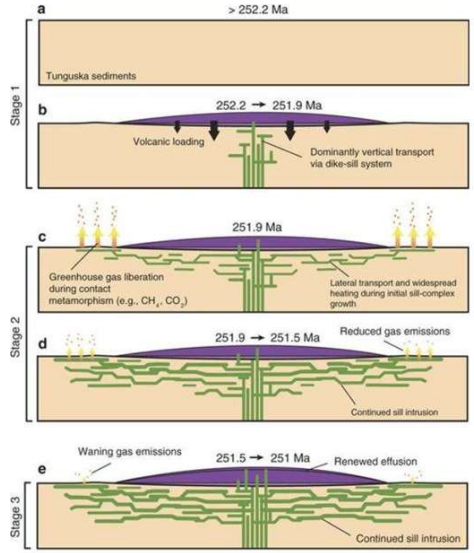
Durant la deuxième phase (*Stage 2*), le réseau de sills se développe fortement. La lave se déploie surtout horizontalement et rencontre des roches sédimentaires, carbonées. Le contact produit des gaz à effet de serre qui s'échappent. La température globale de la Terre commence alors à augmenter. L'émission de gaz va ensuite se réduire.

Durant la troisième phase (*Stage 3*), elle s'affaiblit jusqu'à disparaître tandis que la lave poursuit sa montée, perce le bouclier basaltique et produit à nouveau du volcanisme en surface.

La libération dans l'atmosphère d'une énorme quantité de gaz à effets de serre va modifier radicalement tout l'écosystème.

La vie de la planète est dévastée, de nombreuses lignées évolutives disparaissent.

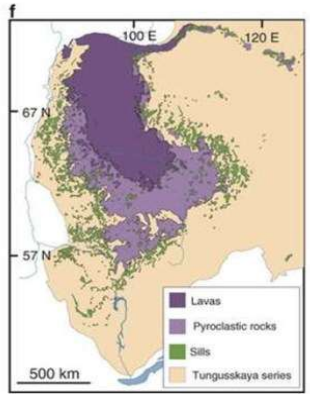
La nouvelle ère qui s'annonce sera celle des dinosaures.



L'extension des trapps de Sibérie, s'étendant sur environ deux millions de kilomètres carrés. La carte (légendée en allemand) montre les régions où affleurent la lave (*Lava*), le tuf et les tuffites (*Tuffe und Tuffite*).

© Jo Weber, CC by-nc-sa 3.0





Extinction du Trias-Jurassique (environ 50 % des espèces)
Premiers dinosaures. Premiers mammifères ovipares.
Algues calcaires dans les mers. Forêts de conifères. Division de la Pangée

L'extinction Trias-Jurassique ou extinction Tr-J

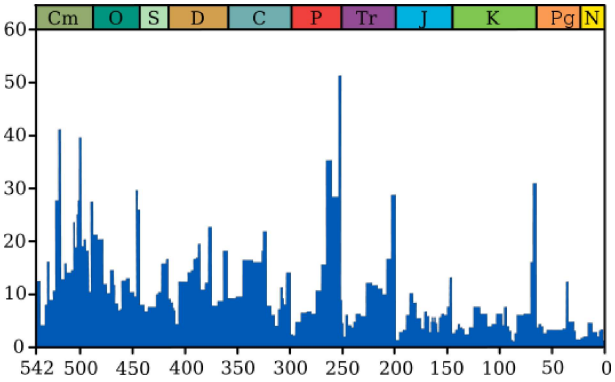
est une extinction massive qui s'est produite à la fin du Trias, il y a environ 200 Ma. Près de 20 % des espèces marines et une part importante des grands vertébrés terrestres ***Pseudosuchia, Therapsida, Temnospondyli, Embolomère***) ont disparu.

Elle s'est produite à peu près au moment où la Pangée s'est fracturée. La diversité biologique a été fortement diminuée.

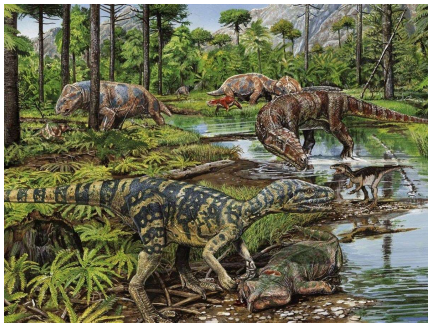
Cette extinction a permis l'explosion radiative des dinosaures et des mammifères en libérant des niches écologiques.



Intensité des extinctions marines au cours du Phanérozoïque



Le graphique bleu indique le **pourcentage apparent** (pas en nombre absolu) de genres d'**animaux marins** ayant disparu au cours d'un intervalle de temps. Il ne représente pas toutes les espèces marines, mais seulement les espèces marines **fossiles**. Les 5 plus grandes extinctions sont liées, voir les extinctions massives pour plus de détails.



Cette vision d'artiste illustre le nouveau souffle de vie apparu au cours des périodes du Trias inférieur et moyen. Les extinctions massives qui marquent la fin de la période du Permien ont permis aux plantes et aux animaux qui leur ont survécu de grandir et de se diversifier en l'absence relative de concurrence et de prédateurs. Ces conditions ont permis l'avènement des **dinosaures**, des **ptérosaures** et des premiers **crocodiliens**.



Sur cette illustration, un **Herrerasaurus** rôde dans les forêts de l'actuelle Argentine pendant que des animaux bien plus petits se cachent dans le sous-bois.

Les fossiles d'Herrerasaurus sont parmi les plus anciens jamais découverts, datant du Trias moyen il y a environ 228 millions d'années



Des rondins de bois pétrifié jonchent le sol du parc national de Petrified Forest en Arizona. La majorité des arbres pétrifiés du parc appartiennent à l'espèce **Araucarioxylon arizonicum**, un gigantesque conifère que l'on trouvait dans les basses-terres tropicales et humides de la région au Trias moyen, il y a environ 220 millions d'années. Dans cet environnement, les arbres finissaient souvent par tomber dans des rivières profondes où ils étaient rapidement ensevelis par les sédiments. Le manque d'oxygène empêchait leur décomposition puis au fil des millénaires, la chaleur et la pression ont peu à peu transformé le bois en quartz solide coloré par des impuretés comme le fer, le carbone et le manganèse.

Photographie de Ralph Lee Hopkins

Ce poisson du Trias fait partie des milliers de fossiles découverts dans les montagnes et formations karstiques de la province chinoise de Guizhou. Cette région était en grande partie recouverte d'un océan peu profond pendant le Trias et les sédiments que l'on y trouve aujourd'hui regorgent de fossiles de poissons, de dinosaures et de reptiles marins.



Datations

La datation U-Pb de cendres volcaniques (du bassin de Pucará, dans le nord du Pérou, et de New York Canyon (en), dans le Nevada) et de zircons inclus dans le basalte de la montagne du Nord (Nouvelle-Écosse), marqueurs de la limite Trias-Jurassique, a donné un âge très précis de 201,31 ± 0,43 Ma.

Différentes théories :

La cause, ou les causes conjuguées, responsables de l'extinction majeure de la fin du Trias ne sont pas connues.

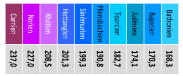
Plusieurs théories sont avancées :

un **changement climatique graduel** ou de fluctuations du niveau de la mer, mais ceci n'explique pas les disparitions marines ;

un ou plusieurs **impacts d'astéroïdes** : il n'y a pas de très grand cratère d'impact qui date de cette période, mais toute une chaîne de plus petits, dont ceux de Manicouagan et de Chassenon-Rochechouart. Leur datation est cependant remise en cause en 2017 par une nouvelle datation du site grâce à la méthode de datation argon-argon;

des **épisodes volcaniques** ayant entraîné un réchauffement climatique global, liés à l'ouverture de la province magmatique centre atlantique et entraînant le dégazage des hydrates de clathrate ;

des émissions de **substances volcaniques** toxiques à fortes concentrations pulsées de mercure, observées dans les sédiments marins et terrestres à la limite Trias-Jurassique dans le sud de la Scandinavie et le nord de l'Allemagne en corrélation avec l'activité volcanique intense de la province magmatique de l'Atlantique central. L'augmentation des niveaux de mercure, l'élément le plus génotoxique sur Terre, est également corrélée à une fréquence élevée de spores de fougères anormales, indiquant un stress environnemental grave et des perturbations génétiques chez les plantes mères.



Mammifères marsupiaux. Premiers oiseaux. Premières plantes à fleurs. Isolement de l'Afrique





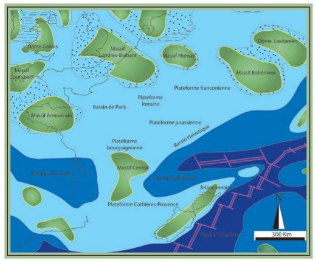
Les falaises des Vaches noires proviennent de l'accumulation de dépôts de sédiments marins du Jurassique (il y a environ 160 millions d'années) et du Crétacé (il y environ 100 millions d'années). Dans ces alternances de marnes et de calcaire, conservées dans les couches géologiques et les reliefs résultants des différents processus d'érosion, de nombreux fossiles ont été découverts :

pliosaures de 10 mètres de long, **ichthyosaures**, « crocodiles » marins mais aussi ammonites, oursins, éponges… Le gisement a même livré des restes de dinosaures !



A gauche :
Distichoceras bicoctatum,
(Sthal 1824)
Marnes de Dives ,
Callovien supérieur

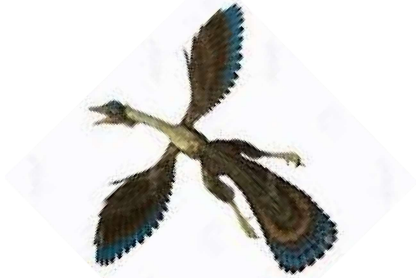
A droite :
Distichoceras bipartitum,
(Zieten 1830)
Marnes de Dives ,
Callovien supérieur



Carte paléogéographique de l'Europe durant l'Oxfordien, environ 160 Ma.

Le fossile Aurornis découvert dans les archives d'un musée chinois - Photo: Thierry Hubin / Royal Belgian Institute of Natural Sciences





Après être resté enterré pendant quelque 160 millions d'années, un fossile a été englouti dans les archives du musée du parc de géologie de Yizou, en Chine. Jusqu'à ce que le paléontologue Pascal Godefroit, de l'institut royal de sciences naturelles de Belgique, ne l'y déniche. Comme quoi une visite approfondie de certaines vieilleries peut se révéler plus fructueuse que des fouilles longues et laborieuses.

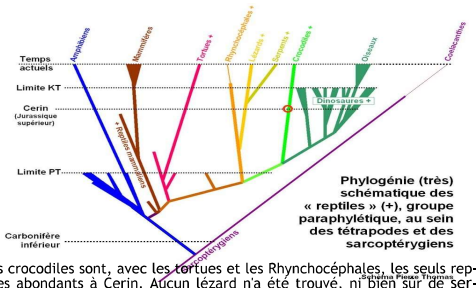
Car cet animal fossilisé, qui mesurait environ 50 cm de la queue au bec, pourrait bien être le plus ancien ancêtre connu de la lignée des oiseaux. Les reconstitutions d'artistes lui donne l'aspect d'une poule avec les mêmes capacités limitées pour le vol du fait de ses ailes très courtes mais des pattes très développées qui lui permettaient sans doute de courir vite.

Baptisé *Auromis xui*, il détrônerait le fameux *Archæoptéryx* découvert en 1861 en Allemagne et vieux de 150 millions d'années. Le nouvel oiseau possède un squelette assez primitif pour le placer à la base de la classe des Aves, c'est-à-dire des vertébrés tétrapodes, autrement dit des oiseaux.

Crocodileimus robustus Les crocodiles du Kimméridgien de Cerin (Ain)

Les crocodiles existent depuis la fin du Trias / début du Jurassique. Ce sont les plus grands des "reptiles" actuels, et leur taille n'a été dépassée que par celle du groupe (relativement voisin) des dinosaures. Leur corps est recouvert de plaques dermiques (parfois appelées « écailles ») qui fossilisent plus ou moins bien. Si les espèces actuelles sont différentes des espèces du Jurassique, la morphologie d'ensemble des crocodiles n'a que peu changé depuis le Mésozoïque. La différence entre les genres et les espèces (actuels comme fossiles) se fait principalement par la forme du crâne, du « museau » et par l'implantation des dents sur les maxillaires. Quatre genres de crocodiles ont été trouvés à Cerin.





Les crocodiles sont, avec les tortues et les Rhynchocéphales, les seuls reptiles abondants à Cerin. Aucun lézard n'a été trouvé, ni bien sûr de serpents apparus plus tard. Ce qui est plus surprenant, c'est la quasi-absence de dinosaures et de Ptérosaures, abondants dans des gisements con-

L'opossum : un survivant du Crétacé

Opossum est un terme s'appliquant à la plupart des espèces de Didelphidés. Le terme « sarigue » est également employé pour désigner la même espèce. Cette dualité de termes pour désigner un même animal nous éclaire sur ses origines. « Opossum » est en effet un mot provenant des langues parlées par les algonquins, tribus indiennes d'Amérique du Nord.

« **Sarigue** » dérive en revanche du parler Tupi, amérindiens vivant en Amazonie. De fait, la longue histoire de l'animal est à cheval entre les deux parties du continent américain. Les plus anciens fossiles de Marsupiaux datent du Crétacé inférieur. A ce jour, Sinodelphys szalayi, un marsupial arboricole chinois, est le plus vieux fossile de marsupial connu. Il vivait il y a 125 millions d'années.

Marsupiaux et Placentaires cohabitaient déjà au Crétacé inférieur.



Squelette opossum de Virginie. By cliff1066 . Licence



Quels enjeux pour cette découverte ?

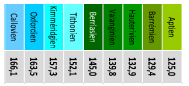
- On sait à présent que les premières plantes à fleurs sont apparues dans un environnement aquatique
- *Montsechia* se reproduisait en disséminant son pollen dans l'eau : pour nous, qui vivons une crise de disparition des abeilles, cela pourrait conduire à trouver des pollinisateurs alternatifs
- Une plante encore plus ancienne pourrait être mise à jour : il existe des traces de pollen vieux de 140 millions d'années

La "première plante à fleurs" a enfin une carte d'identité

La Montsechia vidalii donnait du fil à retordre aux paléobotanistes depuis un siècle et demi. Une équipe internationale, dirigée par un chercheur du Laboratoire de Géologie de Lyon, vient de la doter d'une identité définitive.

C'est l'histoire d'une plante inclassable, découverte un peu par hasard au XIX^{e} siècle par un géologue espagnol. A la recherche de roches utilisables en lithographie, une technique de gravure courante à son époque, il a récolté par la même occasion le premier spécimen fossile de *Montsechia vidalii* sur le site pyrénéen du **Montsec**. On collecte aussi *Montsechia vidalii* à **Las Hoyas**, dans la chaîne hibérique, où elle représente près de la moitié des plantes fossiles mises à jour. Décrite pour la première fois dans une publication scientifique en 1902, *Montsechia* a sa fiche Wikipedia depuis août 2015. Pendant les 113 ans qui séparent les deux dates, cette plante du Barrémien (-130 à -125 millions d'années environ) a donné bien du fil à retordre aux paléobotanistes.

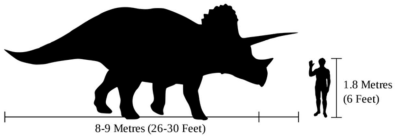
Une équipe internationale dirigée par Bernard Gomez, du laboratoire de Géologie Terre, Planètes, Environnement (Université Claude Bernard Lyon 1 / CNRS / ENS) vient de la doter d'une carte d'identité définitive, porteuse de deux caractéristiques clé : c'était une plante à fleurs, et une plante aquatique. Avec ses 130 millions de printemps, la *Montsechia* est même à ce jour la **doyenne des plantes à fleurs de la planète** (le précédent record était détenu par l'*Archaefructus*, découverte en Chine).



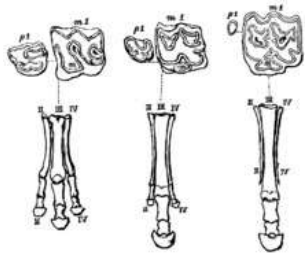
Isolement de l'Euramérique.
-100 Apparition des fleurs (angiospermes).







Triceratops est un genre éteint célèbre de dinosaures herbivores de la famille des cératopsidés qui a vécu à la fin du Maastrichtien, au Crétacé supérieur, il y a 68 à 66 millions d'années, dans ce qui est maintenant l'Amérique du Nord.
Il a été l'un des derniers dinosaures non-aviens vivant avant leur disparition lors de la grande extinction Crétacé-Tertiaire, il y a 66 Ma (millions d'années). Ayant une grande collerette osseuse, trois cornes et quatre grandes pattes, et montrant des similitudes avec le rhinocéros, le tricératops est l'un des dinosaures le plus reconnaissable et le genre le plus connu des cératopsidés. Il a notamment vécu à la même période que le redoutable tyrannosaure dont il était la proie.



Évolution du pied des Équidés.
De gauche à droite : *Mesohippus* aux 3 doigts subégaux, *Merychippus* aux 3 doigts inégaux dont les 2 latéraux ne touchent plus le sol, *Pliohippus* monodactyle



Une sorte de gros lama à trompe a longtemps prospéré en Patagonie puis a disparu, avec d'autres cousins, durant la dernière période glaciaire.

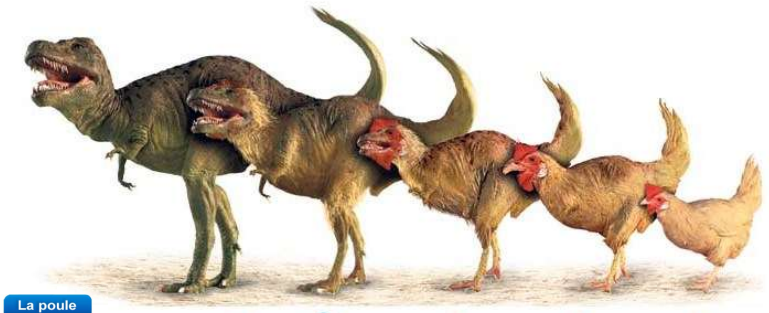
Depuis leur découverte par Darwin, ces ongulés sud-américains ont déconcerté les taxinomistes. Des chercheurs ont enfin pu analyser un peu d'ADN d'un fossile de *Macrauchenia patachonica* et sont parvenus à retrouver un cousinage avec les chevaux.

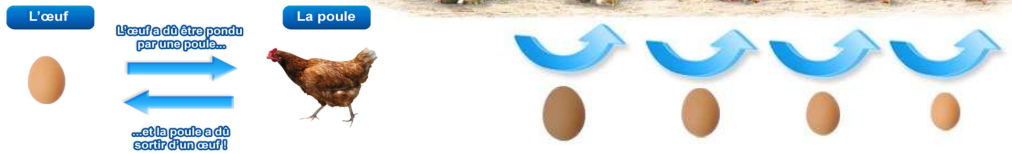
Les **Périssodactyles** (**Perissodactyla**) {du grec περισσός, *perissós*, « impair » et δάκτυλος, *dactylos*, « doigt »} ou **Imparidigités** (du latin *impar* « impair » et *digitus* « doigt ») sont un ordre de mammifères ongulés possédant un nombre impair de doigts aux membres postérieurs. Le poids du corps est supporté par le doigt médian.

Les Équidés ne possèdent qu'un seul doigt visible aux pieds (en fait ils en ont deux autres invisibles car ce sont des vestiges, un à l'intérieur de la jambe et un à l'arrière qu'on ne peut sentir qu'en mettant les doigts dans le poil) tandis que les Rhinocérotidés possèdent trois doigts bien visibles. Les Tapiridés possèdent quant à eux trois doigts aux membres postérieurs et quatre aux antérieurs.

65 Extinction Crétacé-Tertiaire
Premiers mammifères placentaires
Premiers périssodactyles, glires, primates…

Qui est apparu d'abord, l'œuf ou la poule ?





Une vision simplifiée des choses : de génération en génération, les petits changements se sont accumulés... jusqu'à ce que naisse la première poule !

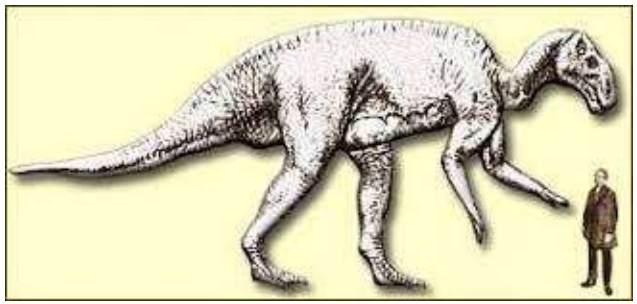
(Attention : Vue d'artiste sans grande valeur scientifique !) Image : D'après YourNewsWire.com

Mystère résolu ? Pas vraiment, car cela ne répond pas explicitement à notre question : est-ce la poule ou l'œuf de poule qui est apparu en premier ?

Malheureusement, cette question est compliquée par une horrible ambiguïté de langage : qu'est-ce qu'un œuf de poule ? S'agit-il d'un œuf *pondu par une poule* ou d'un œuf *qui contient une poule en devenir* ?

À titre purement personnel, la première définition me semble la plus logique, étant donné que l'on parle « d'œuf de poule » même pour désigner les œufs non fécondés que l'on peut acheter par douzaines dans le commerce, d'où aucun poussin ne sortira jamais.

En choisissant cette définition, ma réponse est donc « **la poule** »... et si cela ne vous plaît pas, je vous invite à aller vous faire cuire un œuf !



Hadrosaurus est l' un des premiers dinosaures découvert en Amérique du Nord.

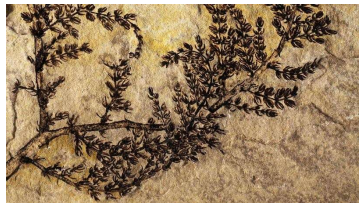
Grâce à son bec dépourvus de dents, il arrachait les feuilles et les broussailles, avant de les broyer et de les réduire en bouillies avec les milliers de petites dents au font de sa gueule.

-80 à -74 millions d' années (fin du crétacé)

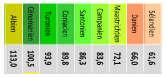


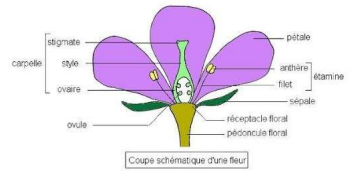
Des œufs fossilisés d'hadrosaure, une espèce de dinosaure à bec de canard... pondus il y a 80 millions d'années, longtemps avant l'apparition de la première poule !

Image : Sinclair Stammers/Science Photo Library, via NationalGeographic.com



Actuellement, la plupart des spécialistes estiment que les **angiospermes** ont fait leur **apparition** au Crétacé inférieur, voici 140 à 135 millions d'années, ce que nous savons grâce à la découverte de grains de pollen fossilisés.





Coupe schématique d'une fleur

Nombreuses nouvelles espèces de petits mammifères. Surrection des Alpes. Cétartiodactyles, rongeurs… Isolement du continent antarctique et établissement d'un courant circumpolaire





Il y a **45 millions d'années**, la Champagne était recouverte d'une mer chaude. Près du rivage, des dépôts de sables fins sur 18 mètres d'épaisseur ont favorisé la conservation de la faune aux environs de Damery (51). Le nombre d'espèces animales vivant dans cette mer explose : on recense par exemple près de 1.800 espèces de mollusques, comme ce campanile giganteum, et plusieurs milliers d'espèces de coquillages. A titre de comparaison, aujourd'hui, on compte seulement 250 espèces sur la côte Atlantique française. L'étage géologique correspondant à cette époque s'appelle le « Lutétien ». Pour en savoir plus visitez l'époustouflante **Cave aux Coquillages**, à Fleury-la-Rivière (51).

http://archeochampagne.epernay.fr/un-nouveau-musee/collections/histoire-du-sol-et-du-sous-sol-champenois/campanile-giganteum/



Les **Cétartiodactyles** (*Cetartiodactyla*)

forment un ordre (ou, selon d'autres sources, un clade non classé) de mammifères ongulés, dont la principale caractéristique est de posséder un nombre pair de doigts (2 ou 4), contrairement aux Périssodactyles.

Dans ce groupe, l'axe des membres postérieurs passe entre les doigts III et IV (cette disposition est appelée *paraxonie*). Ce clade regroupe les Tylopodes, les Suines, les Ruminants, les Hippopotamidés et les Cétacés.

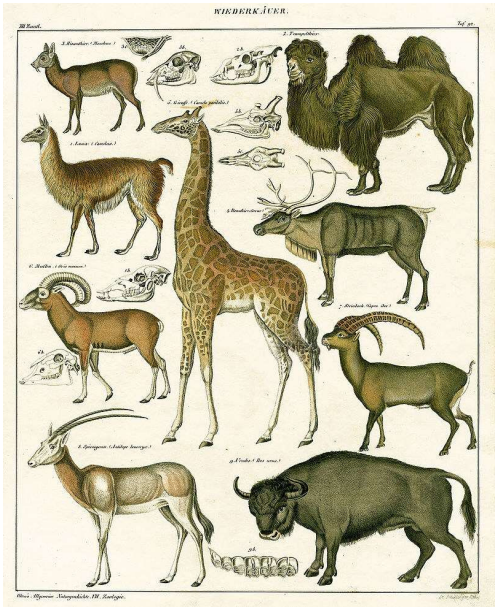
Plus précisément, ce clade est la fusion des deux anciens ordres Cetacea et Artiodactyla.

La parenté (proximité au sens phylogénétique) de ces différents groupes, qui rassemblent des animaux morphologiquement très différents, est fondée à la fois sur des caractères évolués communs (synapomorphies) et sur des études génétiques[1].

Ce taxon est, selon les auteurs, un ordre[2,3] (s'il remplace les ordres Cetacea et Artiodactyla) ou un clade non classé[4].

Il est parfois considéré comme un super-ordre[5] (s'il est placé au-dessus des ordres Cetacea et Artiodactyla), bien que l'arbre phylogénétique montré ci-dessous infirme cette hypothèse. En effet, il montre que le groupe « Artiodactyla » serait paraphylétique, car celui-ci, excluant les Cetacea, regrouperait des animaux plus proches génétiquement de ces derniers (tels que l'hippopotame) que des autres Artiodactyla.

On compte actuellement 332 espèces reconnues de cétardiodactyles, réparties dans 132 genres et 22 familles[6].



A visiter : LA CAVE AUX COQUILLAGES à Fleury-la-Rivière (51)

Imaginez : il y a 45 millions d'années, la Champagne était une plage tropicale, arpentée par des Campaniles giganteum (escargots géants de plus de 40 cm de long !)



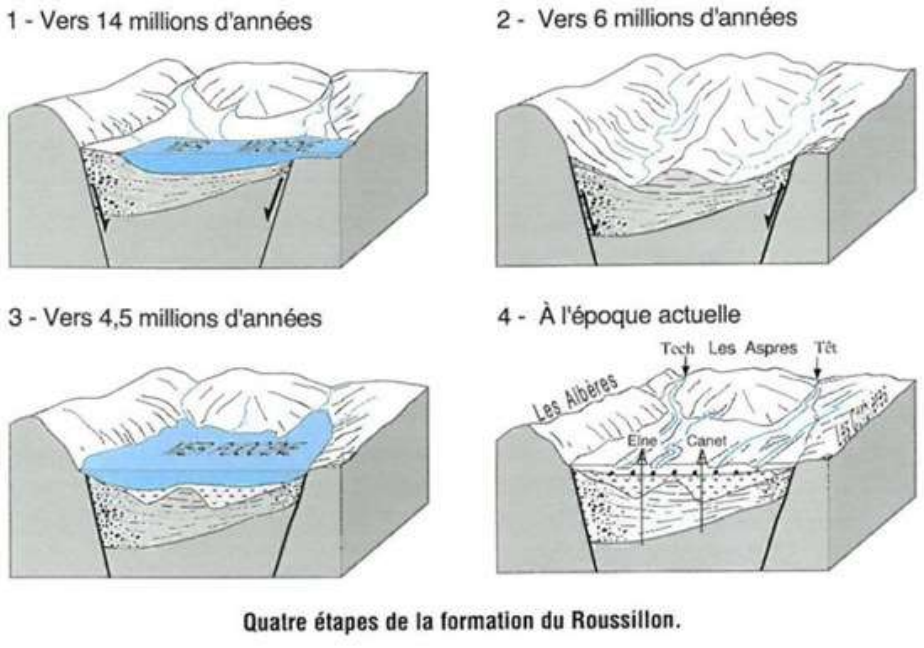
39 Rue du Bourg de Vesle, 51480 Fleury-la-Rivière Tél. +33 (0)3 26 58 36 43
Ouverture du 15 avril au 15 novembre et du jeudi au dimanche 10/12h - 14/18h / Du 16 novembre au 14 avril ou tout autre moment, sur rendez-vous
Départs des visites guidées de la Cave aux Coquillages : Jeudi après-midi à 14h30, 16h et 17h30 / Vendredi, samedi et dimanche à 10h, 14h30, 16h et 17h30
http://www.geologie-oenologie.fr/



Séparation de la lignée humaine et de la lignée des chimpanzés Abel, Lucy
Cycles glaciaires dans l'hémisphère Nord. Extinction des mammifères géants.
Evolution de l'homme moderne. Agriculture et sédentarisation







Quatre étapes de la formation du Roussillon.

Subdivision supérieure de l'ère cénozoïque – qui comprend aussi le système tertiaire –, le quaternaire a débuté il y a 2,6 millions d'années, avec l'apparition de l'homme, dont les ancêtres (**famille des hominidés**) sont apparus et ont évolué durant le tertiaire.

Il se poursuit aujourd'hui.

Au début du quaternaire, la position des continents était proche de l'actuelle.

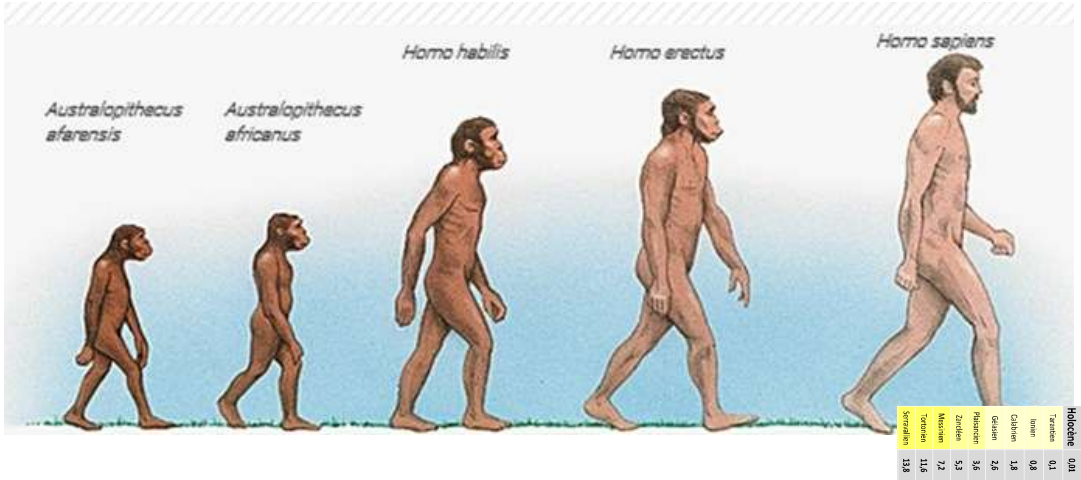
Quatre grandes glaciations successives (dont la dernière s'est achevée il y a environ 10 000 ans), séparées par des périodes de réchauffement, ont façonné les reliefs et sont largement responsables des paysages actuels.

Ainsi, toute l'Europe du Nord et l'Amérique du Nord étaient recouvertes par une calotte glaciaire qui les a rabotées et a laissé, en fondant, de multiples lacs.

Les mouvements relatifs des plaques continuent, notamment dans la mer Rouge et dans le golfe d'Aden, où on assiste à l'ouverture d'un nouvel océan qui éloignera progressivement l'Afrique du Moyen-Orient.

On distingue deux périodes au cours du quaternaire : la première correspond au cycle glaciaire, c'est le *pléistocène*, la seconde, l'*holocène* correspond au cycle postglaciaire actuel.

Principales étapes de l'évolution des hominidés





En seulement quelques générations, l'Homme a profondément transformé son support de vie pour l'adapter à ses "besoins".

Malheureusement, la pression insoutenable des activités humaines a rompu les grands équilibres naturels de la Terre et notre passage, même bref, laissera sans doute une empreinte dans l'histoire géologique de notre planète.

L'**Anthropocène** serait donc une nouvelle période de l'ère géologique quaternaire et succéderait à l'Holocène daté de seulement - 11 700 ans.

Rappelons que l'**Holocène** est une période interglaciaire qui a été particulièrement propice à l'expansion des sociétés humaines sur la Terre.

Sources :

Hadeen : 2 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hadean.png

L'échelle des temps géologique présentée est basée sur celle de la Commission internationale de stratigraphie (ICS).
Les dates et incertitudes sont celles de l'échelle publiée en 2012 par l'ICS. Ces incertitudes sont le fait des méthodes de mesure liées à la datation.

3 http://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/limites/Temps/allee/comprendre/premiers_oceans

https://sagascience.com/origines/emergences-de-la-vie/#partie8
https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/bacteries-il-y-25-milliards-annees-vie-consommait-fer-58791/
https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/genetique-eucaryote-144/
http://www.slate.fr/life/73163/premier-oiseau-sur-terre-poule

https://sciencespourtous.univ-lyon1.fr/la-premiere-plante-a-fleurs-a-enfin-une-carte-didentite/

https://controverses.minesparis.psl.eu/ (Réalisé par Alain Fourny Titre : « *Quelles relations entre l'Homme et Gaïa à l'heure de l'Anthropocène ?* »)

(Extrait repris de l'avant-propos du livre Terre de France de Charles Frankel)

Anthropocène : http://www.notre-planete.info/actualites/images/climat/climat-humains-nature.jpg

Dérive des continents : http://www.vulgarisation-scientifique.com/wiki/Dictionnaire/D%C3%A9rive_des_continents

Echelle des temps géologique : https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89chelle_des_temps_g%C3%A9ologiques#Tableaux_de_l'échelle_des_temps_géologiques

