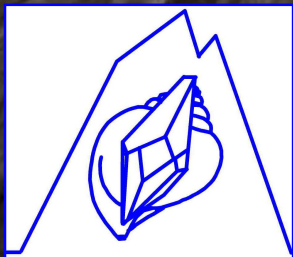


Le Temps en Géologie et en Archéologie

Eric Legendre



Minéraux et Fossiles des Pyrénées

Billère – 22 octobre 2022

LE L'ACAOÜ
Centre d'Animation Municipal



Géologie et Temps sont indissociables :

la géologie étudie les roches et retrace l'histoire de la Terre

**→ ce qui amène à considérer des échelles de temps très longues
(avec des évènements se déroulant sur des millions
voire des milliards d'années)**

Comment a-t-on pu concevoir et mesurer de telles durées ?

**L'histoire de la mesure du temps fait partie de la recherche
de nos origines et de la place qu'occupe l'humanité**



Sommaire :

**Introduction
(notion de temps, définitions)**

Datations relatives

Datations absolues

Quelques repères



INTRODUCTION



Définition et concepts

Temps : Milieu indéfini où paraissent se dérouler irréversiblement les existences dans leur changement, les événements et les phénomènes dans leur succession.

(Source : Le Petit Robert - 2020)

Le temps n'est ni de la matière qu'on peut toucher, ni de l'espace qu'on peut parcourir. Il n'est directement perceptible par aucun des cinq sens...et pourtant il a une réalité (il apparaît grâce à des repères). On peut le mesurer (on parle de 4^{ème} dimension).

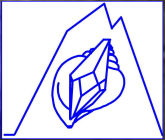
Le temps peut être perçu comme cyclique (renouvellement des saisons) ou comme vectoriel (il a un sens → temps qui passe → notion d'histoire). Pas de retour en arrière !

A l'échelle humaine, le temps a d'abord été mesuré grâce à des cycles.

On peut mesurer le temps → il représente une valeur objective. Cependant, on peut l'interpréter de façon subjective (chacun le perçoit à sa façon).

La notion du temps caractérise l'approche du géologue dans son étude de l'histoire de la Terre. L'unité employée dans ce cas est le million d'années.

(Source : P. de Wever et al. - 2005)



Les origines (1/3)

Chronos

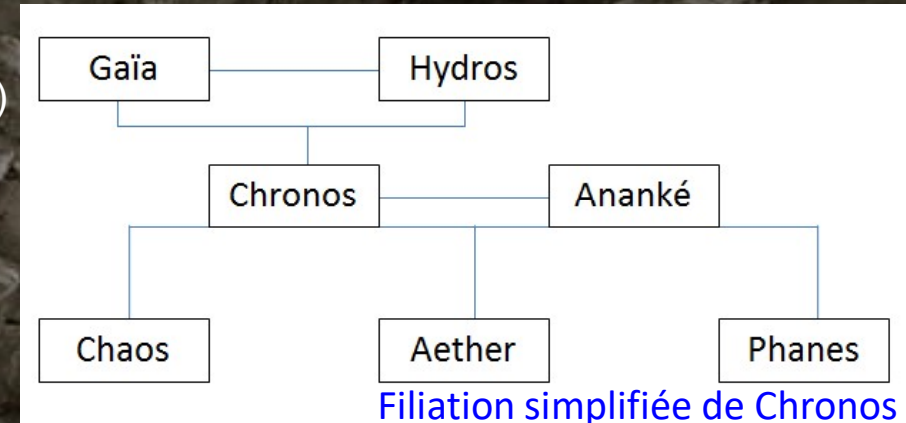
Dans la mythologie grecque, Chronos est le dieu personnifiant le Temps et la Destinée.

(Ne pas le confondre avec Cronos le roi des Titans)

Il a été engendré par la Terre et l'Eau.



(Source : Wikipédia)



ARISTOTE

(384 – 322 av. J.C.)

Aristote

Cependant, dans la philosophie classique, la Terre était éternelle

→ son âge n'avait donc pas d'importance !

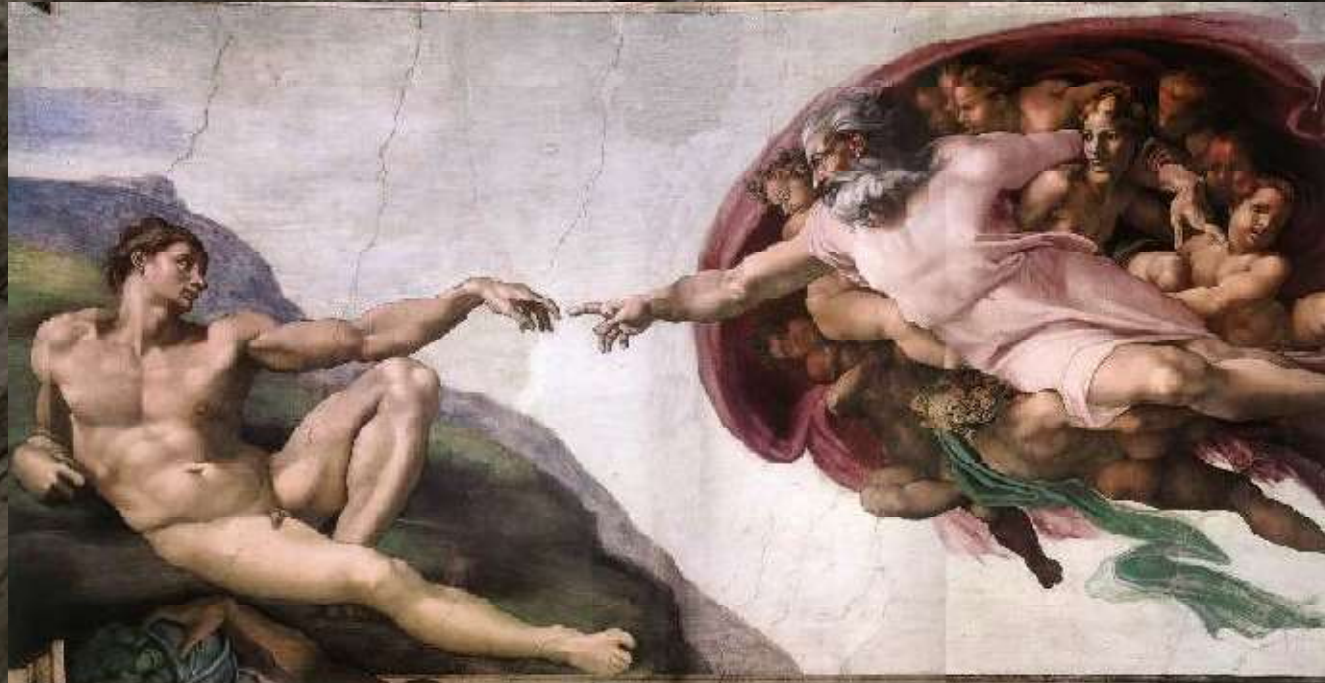
(Source : Univ. Bristol)



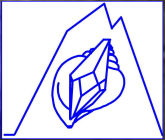
Les origines (2/3)

La Bible

*Au commencement, Dieu créa le ciel et la terre. Dieu dit alors :
Que la lumière soit ! Et la lumière fut. Ce fut le premier jour...*



... le septième jour, Dieu se reposa.



Les origines (3/3)

En marge des dogmes religieux, certains éléments curieux ont été remarqués très tôt par des personnages observateurs :



STRABON

(57 av. J.C. – 21 à 25 ap. J.C.)

Strabon (géographe grec), en observant les Nummulites contenues dans le calcaire des pyramides d'Égypte, en déduisit que.....c'étaient des sortes de lentilles, et qu'il s'agissait de restes pétrifiés de la nourriture des ouvriers !

Montaigne était intrigué par la falaise d'huîtres de Sainte-Croix-du-Mont : pour lui, il s'agissait de coquilles laissées par le passage de nombreux pèlerins se rendant à Saint-Jacques-de-Compostelle !!!



Michel de MONTAIGNE
(1533 – 1592)

→ **Traces +/- anciennes, d'origine humaine !**

Bernard Palissy (potier, émailleur...savant naturaliste) s'interroge, à partir de ses observations de terrain en particulier en Saintonge :

"Pourquoi trouve-t-on tant de fragments de coquilles entre deux couches de pierres, sinon parce que ces coquilles déjà déposées sur la plage y furent recouvertes d'une terre rejetée par la mer, laquelle terre est venue ensuite à se pétrifier ?"

→ **Changements de paysages anciens (variations marines)
à la surface de la Terre**



Bernard PALISSY
(1510 – 1589 ou 90)



Quelques définitions ...

Géochronologie : Ensemble des méthodes permettant d'attribuer un âge aux roches ou aux minéraux

1- **la géochronologie** (ou datation) **relative**, basée sur les principes de la stratigraphie et les répartitions en fossiles

2- **la géochronologie** (ou datation) **absolue**, permettant de dater des minéraux

Stratigraphie : Science qui étudie la succession des dépôts (strates) sédimentaires

Biostratigraphie : Division des dépôts sédimentaires fondée sur le contenu en fossiles

Chronostratigraphie : Division des dépôts sédimentaires en couches auxquelles on fait correspondre des intervalles de temps se rattachant à des **étages**

Etage : Division de base en chronostratigraphie, définie par rapport à un affleurement de référence appelé **stratotype**

Le nom de l'étage est souvent dérivé d'un lieu géographique (actuel ou antique)

Exemples : Aquitanien (Aquitaine)

Briovérien (Briovera = nom latin de Saint-Lô, 50)

Cénomaniens (Cenomanum = nom latin du Mans, 72)

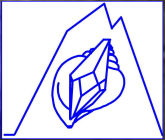
Oxfordien (Oxford, GB)

Toarcien (Thouars, 79)

(Source : Dictionnaire de Géologie)



DATATION RELATIVES



Le principe de superposition



La superposition est un principe fondamental de la chronologie relative. Son principe a été énoncé par l'anatomiste et géologue danois Niels STENSEN : il observa (autour de 1660) que la craie du Danemark était en fait constituée de la superposition de nombreuses couches.

*Niels STENSEN,
dit STENON (1638 – 1686)*

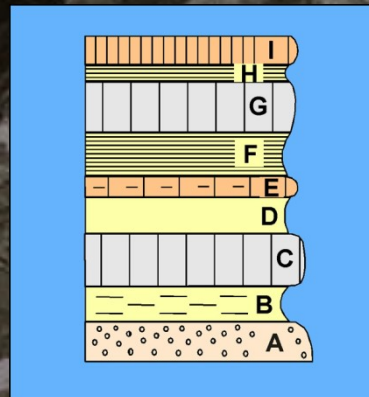


Møns Klint (Wikipédia)

«Une formation sédimentaire récente est toujours située au-dessus d'une formation plus ancienne»

Autrement dit : une couche est + jeune que celle qu'elle recouvre et + ancienne que celle qui la recouvre

L'empilement enregistre le passage du temps, mais seulement de façon relative (couche + jeune, couche + vieille) sans idée de durée ni de continuité.



*Principe de superposition :
La couche B s'est déposée après la couche A.
La couche I est la dernière déposée.*



Le principe de superposition (suite)

Le principe de superposition peut également s'appliquer aux coulées volcaniques



La différence de morphologie entre les deux coulées provient d'une différence de viscosité (due à une variation de température et/ou de teneur en gaz et/ou de subtiles différences de composition chimique). Un même volcan peut émettre les deux types de coulées lors de deux éruptions distinctes. Il peut aussi souvent émettre ces deux types de coulées lors d'une même éruption (cas du Kilauea à Hawaï lors de la grande éruption de 1972-74). Les émissions les plus tardives sont plus fréquemment aa que pahoehoe. Il est donc très fréquent de voir des coulées aa recouvrir des coulées pahoehoe.



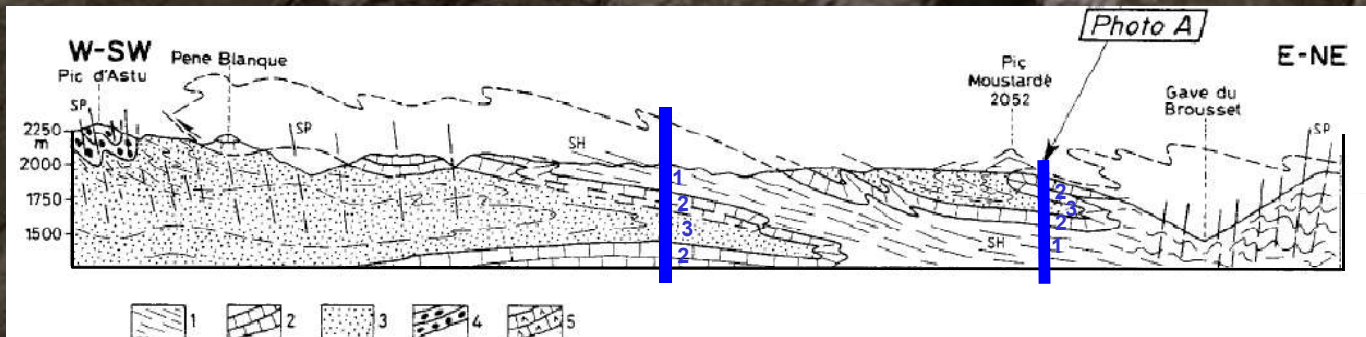
Ile de La Réunion : Coulée de lave aa (ocres) recouvrant un ensemble de coulées pahoehoe (grises)

(Source : P. Thomas - ENS Lyon)



Le principe de superposition ne fonctionne plus quand les roches ont été plissées !

Exemple des plis du Moustardé
= plis couchés hercyniens (Vallée d'Ossau)

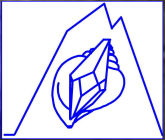


1. Dévonien inférieur à moyen essentiellement schisto-gréseux
2. Dévono-Dinantien calcaire
3. Flysch Namuro-Westphalien
4. Schistes, grès et conglomérats Permians
5. Calcaires du Crétacé

SH = schistosité hercynienne

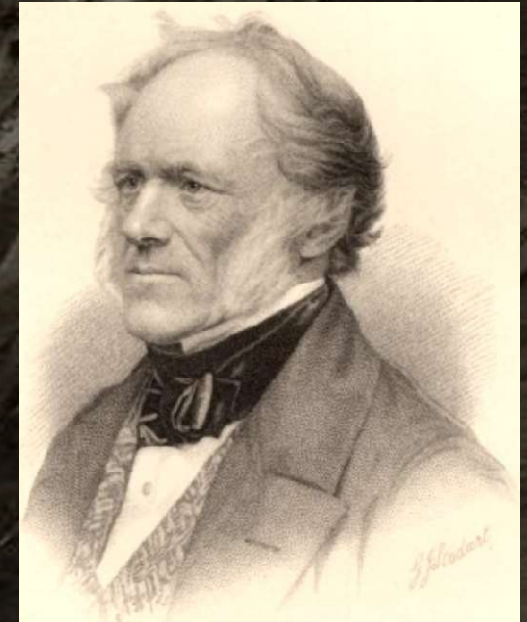
SP = schistosité pyrénéenne

(Source : P. Matte - 2002)

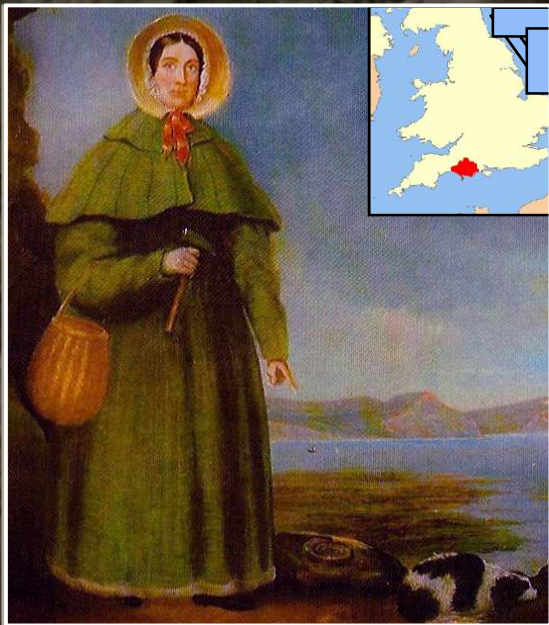


La collection de fossiles est en vogue fin XVIII^{ème} et début XIX^{ème} siècle, d'abord comme un passe-temps, puis elle se transforme progressivement en une science au fur et à mesure de la prise de conscience de l'importance des fossiles amenant notamment des preuves de l'extinction d'espèces.

Charles Lyell est un géologue britannique qui a popularisé l'uniformitarisme ("la terre a été façonnée lentement sur une très longue période de temps par des forces toujours existantes").
Son plus important travail concerne la stratigraphie.



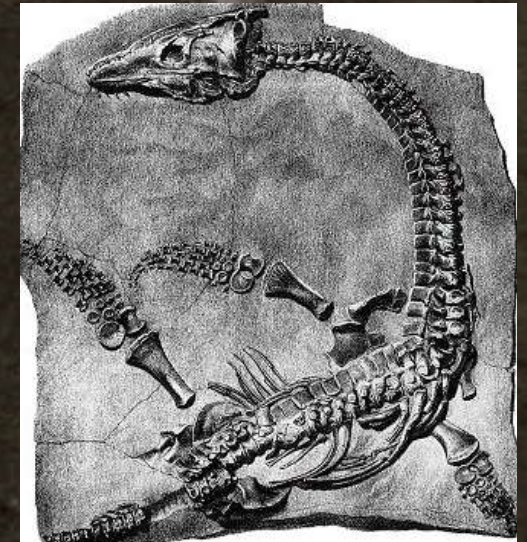
Sir Charles Lyell
(1797 – 1875)

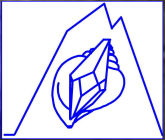


Mary ANNING (1799 – 1847)

Mary Anning est une collectionneuse de fossiles anglaise, devenue paléontologue, originaire de Lyme Regis dans le Dorset ("Jurassic Coast"). Elle découvre en particulier le premier squelette d'*ichtyosaure* complet (1811) puis le squelette d'un *plésiosaure* (1821) et un fossile de *ptérodactyle* (1828).

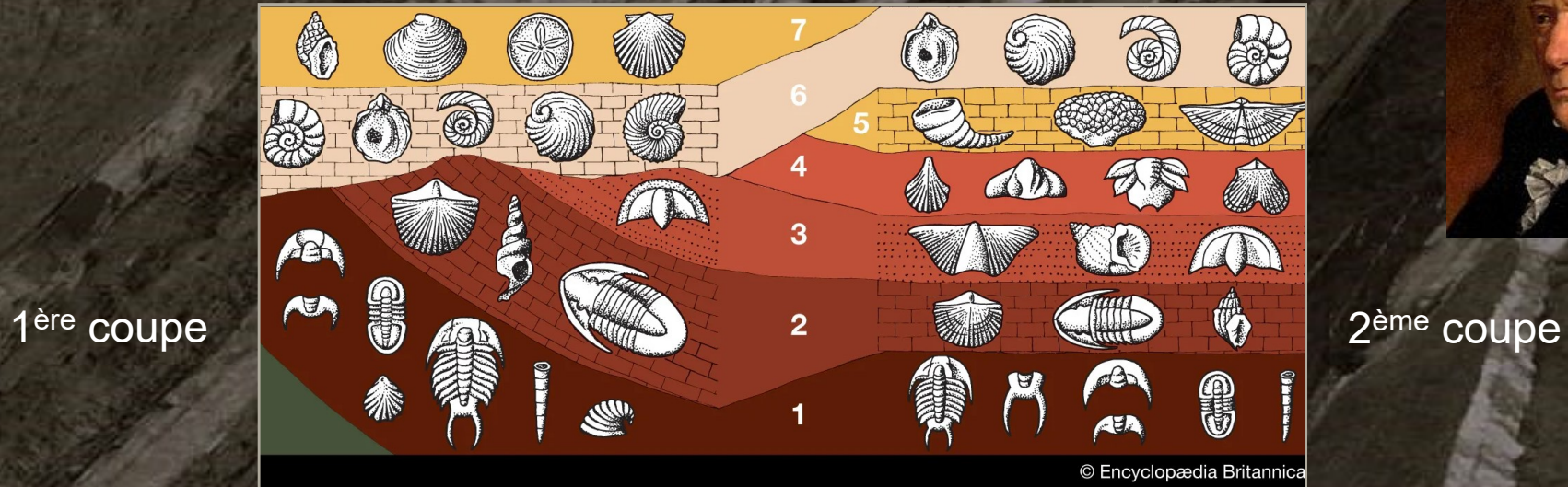
(Source : Wikipédia)





Le principe d'identité paléontologique

Les géologues se sont d'abord appuyés sur l'étude des fossiles pour se repérer dans le temps : « Deux couches contenant les mêmes fossiles sont considérées comme ayant le même âge. » *William Smith (1769 – 1839)*



Ils ont ainsi pu déterminer que le Jurassique, période caractérisée par le règne des Dinosaures, a été suivie du Crétacé qui en a connu l'extinction complète. Cette reconnaissance fondée sur les fossiles a été la base de l'établissement d'une échelle stratigraphique, avec âge relatif (+/- ancien) des niveaux, mais sans la durée.

On nomme fossiles stratigraphiques des espèces ayant à la fois une existence brève à l'échelle géologique, et une répartition géographique importante de leur vivant. Leur forme, leur ornementation, varient suffisamment au cours des temps géologiques pour donner de bons repères chronologiques.

Exemple : Cas des Ammonites à l'ère secondaire, mais plus encore de nombreuses espèces de microfossiles (+ petits donc + abondants !) comme les Foraminifères, les Pollens



La notion d'étage fut introduite en 1842 par Alcide d'Orbigny.
Il définit également les stratotypes (affleurement de référence)
dont celui du Toarcien)

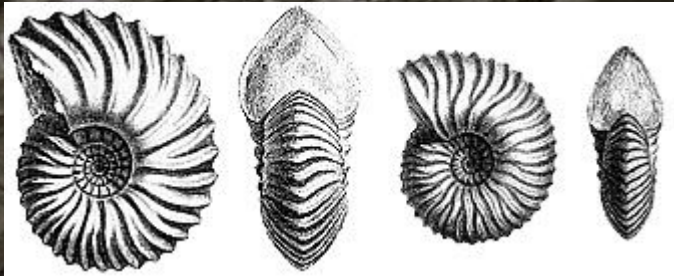
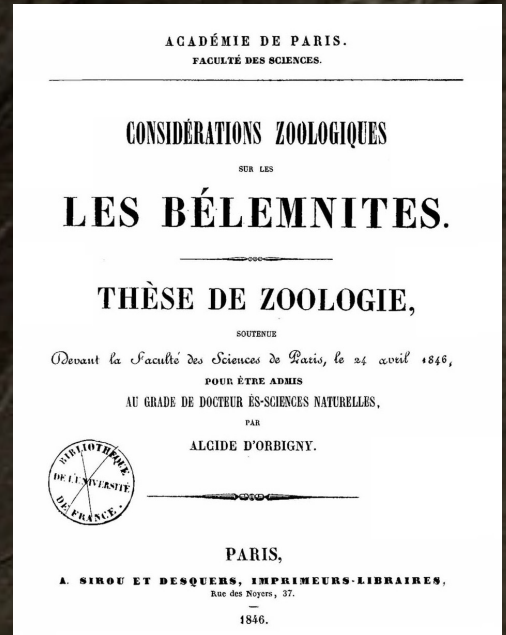


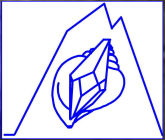
Alcide d'ORBIGNY
(1802 – 1857)

*Remarque : les stratotypes n'ont pas toujours été bien choisis
(séries de plateforme, peu tectonisées et riches en fossiles
...mais avec des lacunes de temps ! Dans ce cas,
ils ne matérialisent qu'une fraction du temps écoulé.)*

Pour A. d'Orbigny, suivant Cuvier, la succession
des stratotypes était due à des événements
catastrophiques.

(Source : P. de Wever et al. - 2005)

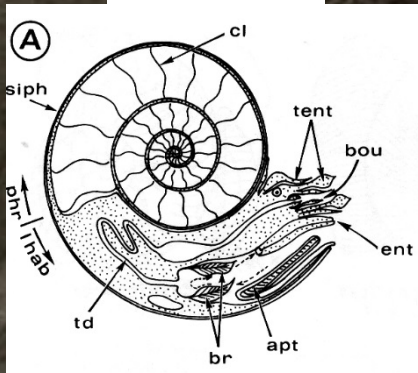




Familles éteintes :

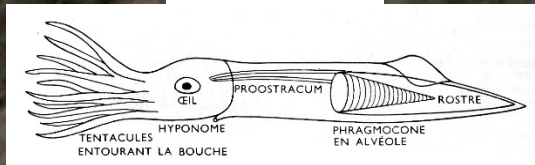
Ammonoides (tous)

Ammonite



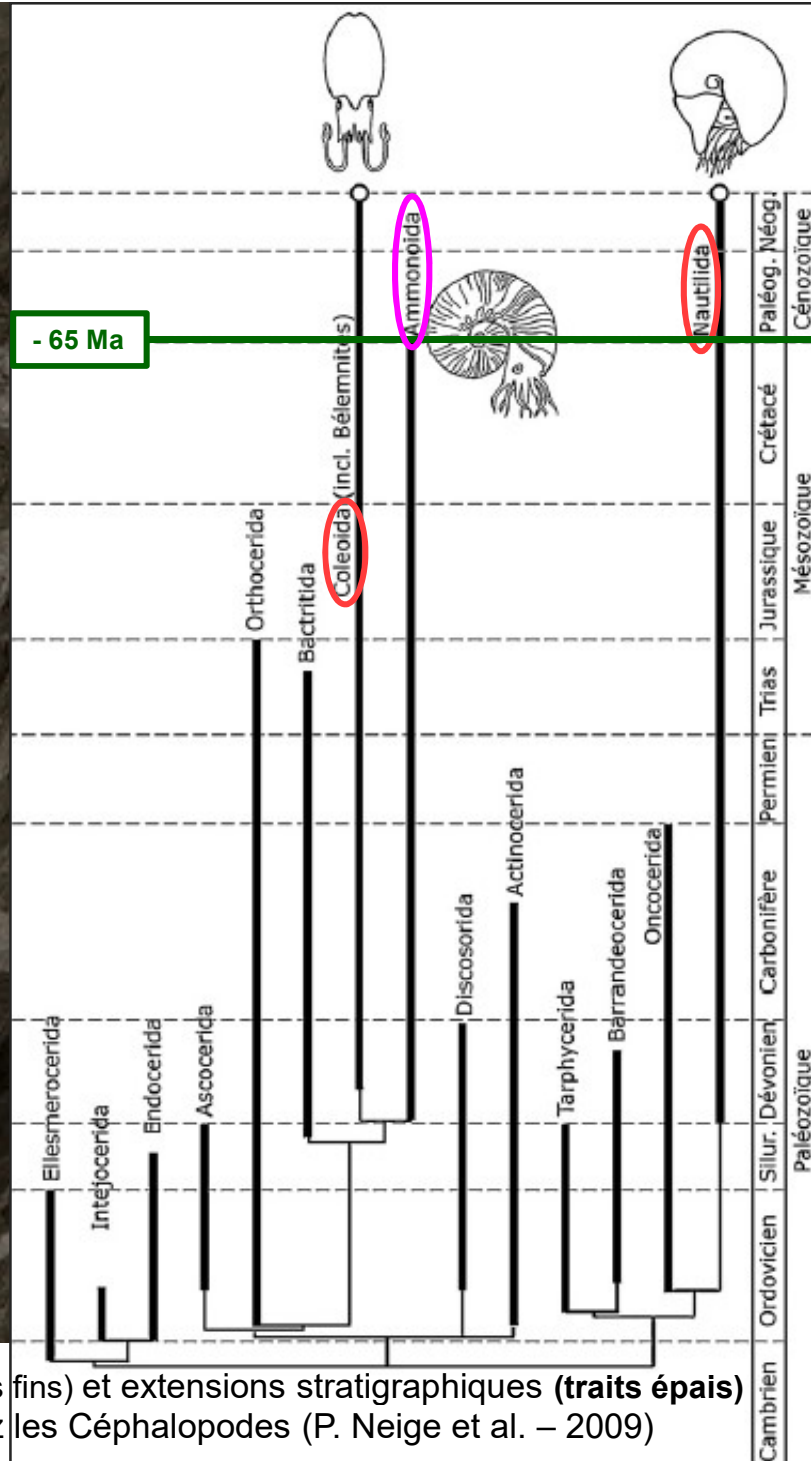
Coléoides fossiles

Bélemnite



Beaucoup d'autres (Orthocères...)

Relations phylogénétiques (traits fins) et extensions stratigraphiques (traits épais) des groupes majeurs chez les Céphalopodes (P. Neige et al. – 2009)



Ammonites et Bélemnites

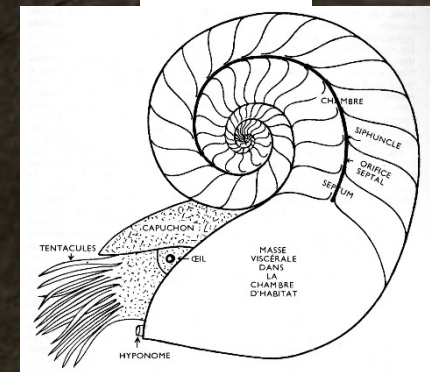
2 sous-classes de Céphalopodes ont des représentants à l'Actuel :

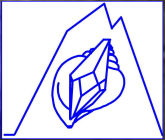
Coléoides actuels
Seiches, Calmars, Pieuvres



Nautiloides actuels

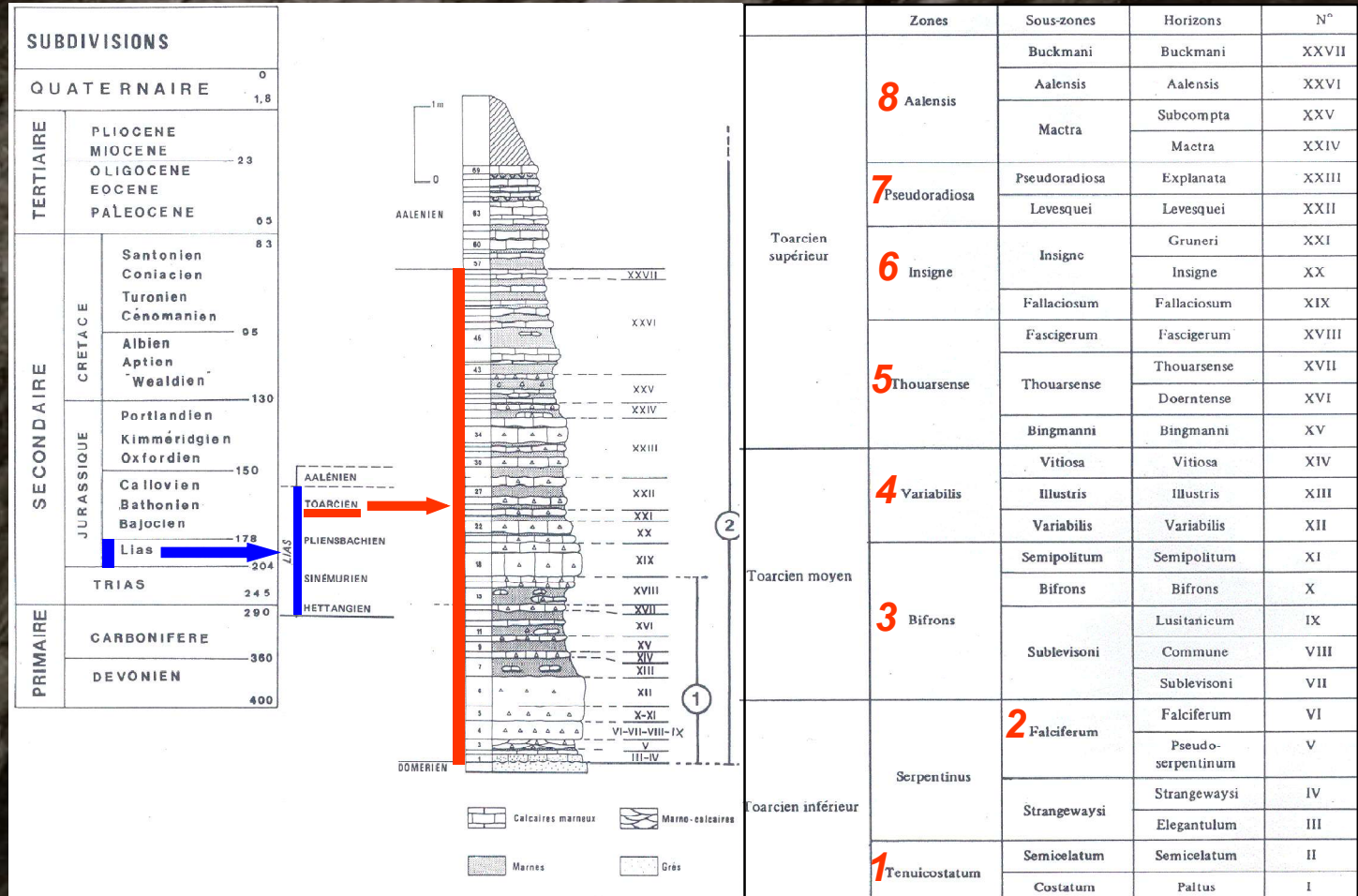
Nautille



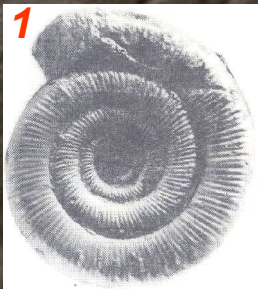


Les zones d'ammonites du Toarcien

L'étage Toarcien a été défini en 1849, par Alcide d'Orbigny.
 Ultérieurement, il a été découpé en 8 zones puis en 27 horizons.



(Source : P. Hantzpergue & J. Gabilly - 1988)





Le principe de recoupement

« Les couches sédimentaires sont plus anciennes que les failles ou les roches qui les recoupent »



Micro faille décalant un bélemnite du Jurassique

F. Kalfoun & P. Thomas - ENS Lyon



Datations relatives et relations géométriques

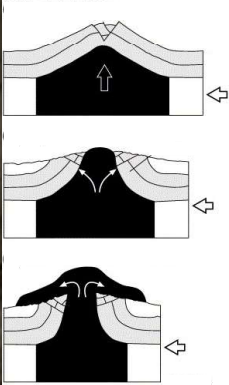
Vue aérienne de « glaciers » de sel (Montagnes du Zagros en Iran)



Image NASA/GSFC/MITI/ERSDAC/JAROS, U.S./Japan

Le sel est remonté jusqu'à la surface, recoupant des séries postérieures à son dépôt.

Arrivé en surface, le sel s'est écoulé par gravité, comme des glaciers, formant des langues de plus de 5 km de long (en gris foncé) sur des fonds de vallées plus récents.

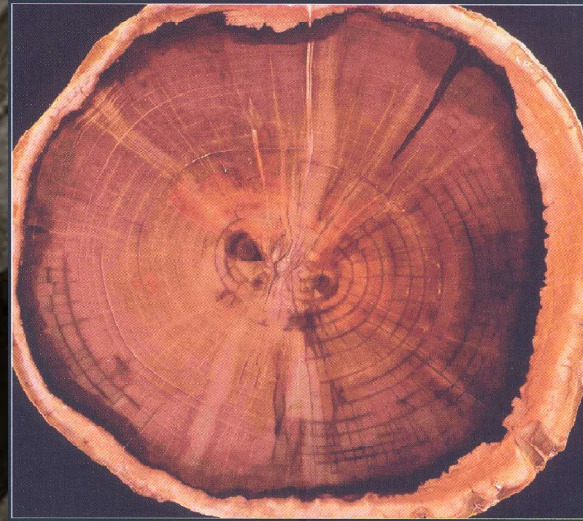




Autres méthodes : comptage des jours, saisons, années

On peut mesurer la durée d'un phénomène en jours, saisons, années, mais ça reste une méthode relative, car on ne sait pas à quelle période s'est déroulé ce phénomène.

*Visualisation de l'alternance de saisons sèches et humides dans un tronc de conifère silicifié
→ ça représente quelques décennies.....
...mais quand ?*



Remarque : Attention aux méthodes basées sur la durée de phénomènes journaliers (par exemple les stries de croissance des coraux). Ces méthodes peuvent être efficaces à l'échelle humaine, mais ne le sont plus à l'échelle géologique : le nombre de jours par année a baissé au cours de l'histoire de la Terre, car la rotation de la Terre diminue régulièrement.

Ainsi, une année au Silurien (419-444 Ma) durait 400 jours car la Terre tournait alors plus vite sur elle-même.

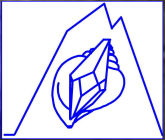
(Source : P. de Wever et al. - 2005)



DATATIONS ABSOLUES

**Les géologues sont restés en quête d'âge absolu
et non pas seulement relatif ...
pour aboutir à un résultat chiffré, exprimé en années**

**Cela concerne un objet, une couche géologique ou un
niveau archéologique**



Premiers essais

James Ussher était archevêque d'Armagh et primat de toute l'Irlande. Il calcula, notamment à partir des âges des patriarches de l'Ancien Testament, que la date de la création était le 23 octobre 4004 av. J.C.

(Source : Wikipédia)



Archevêque James USSHER
(1581–1656)

Au XVIII^{ème} siècle, on fait des calculs basés sur l'extrapolation des taux de sédimentation mesurés dans des mares ou des lacs, qui laissent soupçonner des âges allant jusqu'à + de 10000 ans.



Georges-Louis de BUFFON (1707 – 1788)

Buffon va tenter une approche expérimentale : il fait forger 10 boulets de fer de 1/2 à 6 pouces de Ø, puis chauffer à la limite de la fusion, et mesure ensuite la durée de leur refroidissement

→ courbe durée = fonction Ø extrapolée à la durée de refroidissement d'un boulet ayant le diamètre de la Terre !

Il arrive d'abord à 25000 ans, puis publie des estimations à 50000 et 75000 ans (et même jusqu'à 10 Ma, sans le publier).

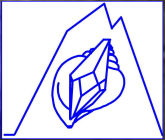
En Angleterre, ses idées seront reprises par Lyell.

D'autres méthodes ont été tentées, comme par exemple le calcul du temps nécessaire pour éroder les continents : ainsi, l'abbé Palassou (1784) était arrivé à au moins 1 Ma pour éroder les Pyrénées.

Lord Kelvin (1824-1907) partant de l'hypothèse que la Terre avait initialement une température de 7000 °F (3871 °C) calcule un âge de refroidissement de 20 (à 400) Ma.

Au XIX^{ème} siècle : idée d'un âge de la Terre très ancien est soutenue par la découverte de l'évolution des espèces vivantes, qui est plus compatible avec des durées de temps très longues.

(Source : P. de Wever et al. - 2005)



Radioactivité et datation absolue

La découverte par Henri Becquerel en 1896 de la radioactivité naturelle a permis aux géologues d'élaborer une échelle absolue qui leur manquait.

Le terme de radioactivité (inventé vers 1898 par Marie Curie) désigne la propriété de certains éléments au noyau instable à se transformer en un autre élément plus stable par désintégration du noyau atomique, en dégageant de l'énergie sous forme de rayonnements.

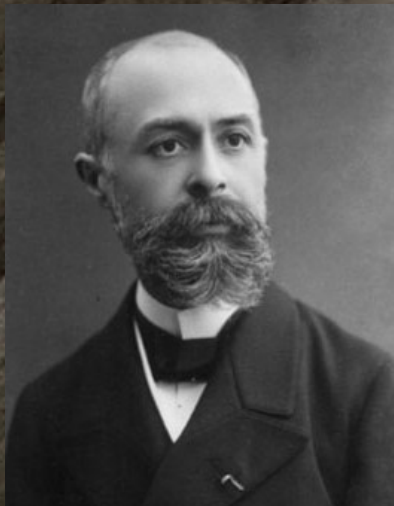
Or l'intérieur de la Terre (manteau) est composé de roches faiblement radioactives dont la désintégration produit de la chaleur.

L'utilisation de la désintégration nucléaire liée à la radioactivité des roches s'est révélée une véritable « horloge naturelle » : c'est la Radiochronologie.

On définit la radiochronologie (ou géochronologie absolue) comme l'ensemble des méthodes de datation des minéraux et des roches fondées sur l'étude de leurs éléments radioactifs et de leurs produits de désintégration

On utilise principalement les couples Rb/Sr, U/Pb, K/Ar et pour les périodes très récentes le Carbone 14

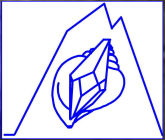
Les âges obtenus sont appelés radiométriques (ou absolus)



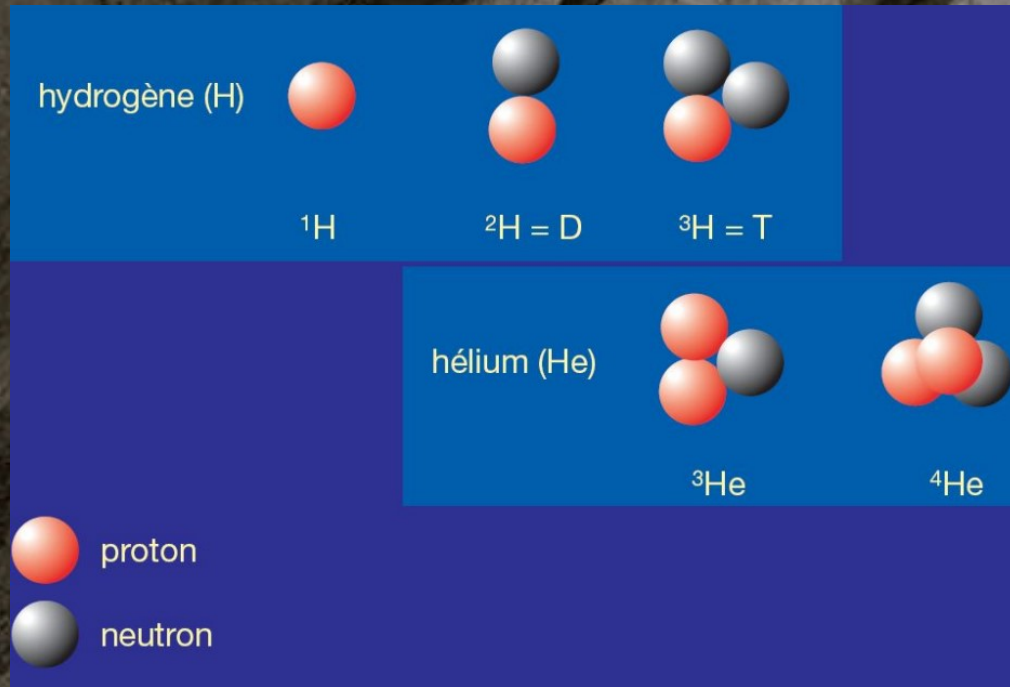
*Henri BECQUEREL
(1852 – 1908)*



*Marie CURIE
(1867 – 1934)*



1- Isotopes :



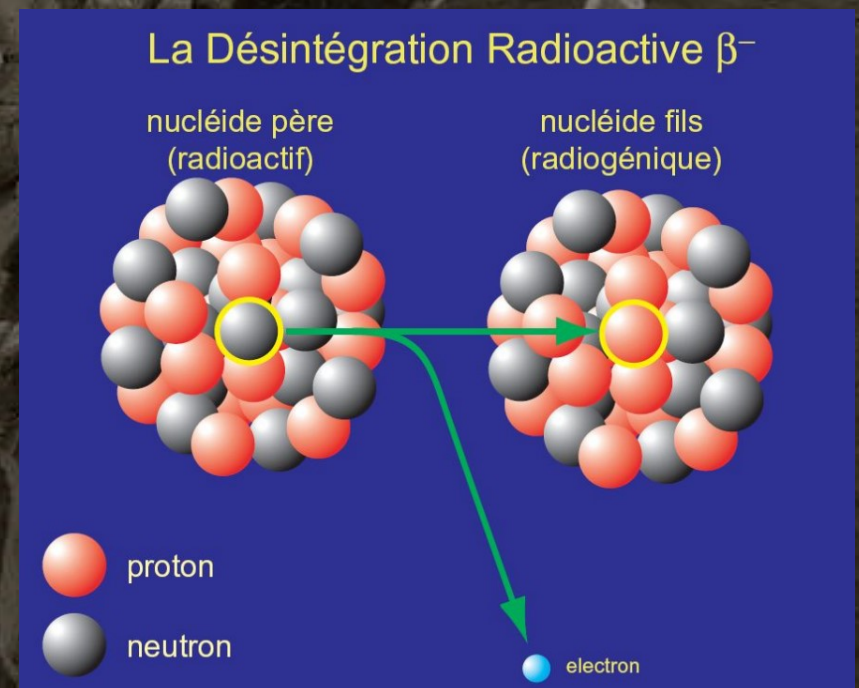
Isotopes :

même nombre de protons mais
nombre de neutrons différent

2- Radioactivité naturelle :

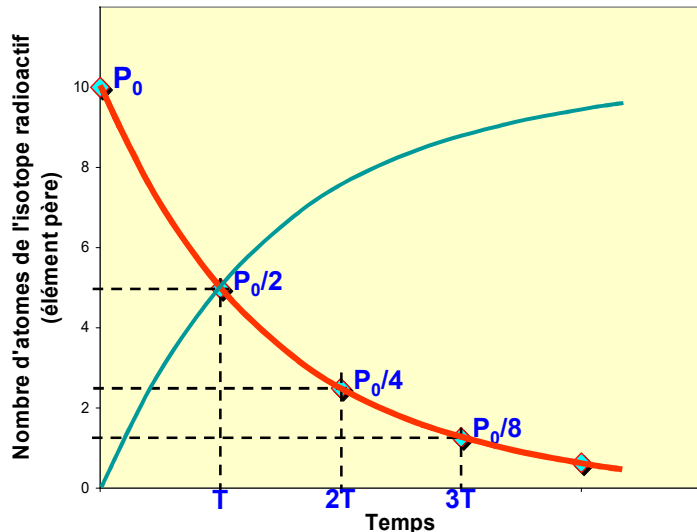
Lors d'une simple désintégration,
l'élément radioactif (père) se transforme
en un autre élément appelé élément fils.

Il émet de l'énergie sous la forme
d'un rayonnement (β^- dans ce cas).

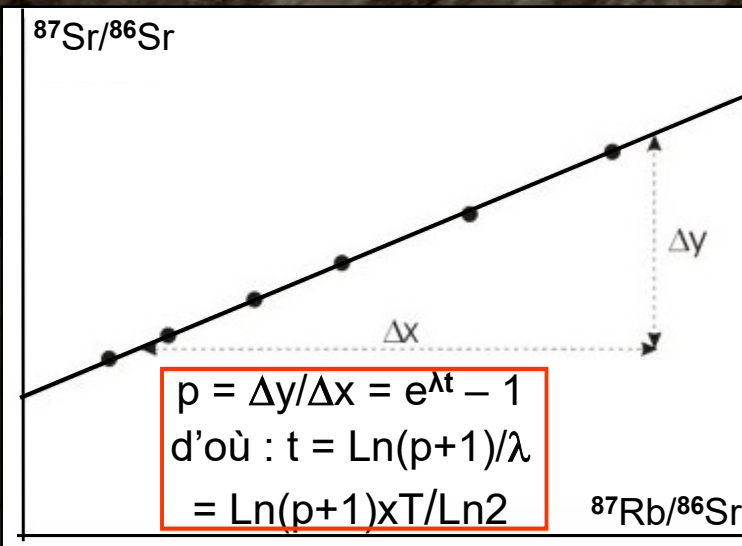




Décroissance radioactive



La méthode Rb/Sr :



L'abondance de l'isotope radioactif (élément père) décroît avec le temps, et celle de l'isotope radiogénique (fils) augmente avec le temps, selon des lois de type : $P = P_0 e^{-\lambda t}$ (décroissance exponentielle, de constante de temps λ).

$$F = F_0 + P \times (e^{\lambda t} - 1)$$

On définit la période T (ou demi-vie – $T = \ln 2 / \lambda$) comme le temps au bout duquel il ne reste plus que la moitié des isotopes P présents au départ.

Exemples de périodes : Carbone 14 $\rightarrow T = 5730$ ans

Rubidium $\rightarrow T = 48,8$ milliards d'années

Pour déterminer le temps, on peut mesurer le nombre d'éléments pères qui restent, ou le nombre d'éléments fils qui s'accumulent. Le problème est que la quantité de noyaux radioactifs initiale est inconnue et que l'élément fils peut être présent initialement lors de la formation de la roche !

Le Rubidium 87 se désintègre en Strontium 87 ($^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr}$)

L'équation de la désintégration donne : $^{87}\text{Sr} = ^{87}\text{Sr}_0 + ^{87}\text{Rb} (e^{\lambda t} - 1)$

Mais on ne connaît ni Sr_0 ni le temps t (qu'on cherche).

On s'en sort en faisant intervenir le ^{86}Sr , ni radioactif ni radiogénique, et dont la quantité ne varie pas au cours du temps en système clos.

$$^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr} = [^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}]_0 + (e^{\lambda t} - 1) ^{87}\text{Rb} / ^{86}\text{Sr}$$

On mesure les rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ et $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ sur plusieurs éch. formés en même temps : les points s'alignent sur une droite appelée isochrone, dont la pente p donne le temps qui s'est écoulé depuis le stade initial de la formation des roches analysées : c'est l'âge radiométrique.



Datation par le Carbone 14

Un organisme vivant échange du Carbone (sous forme de CO₂) avec son environnement

→ le Carbone qu'il contient a la même proportion de ¹⁴C/ ¹²C que dans la biosphère

[Origine du ¹⁴C dans la haute atmosphère sous l'action des rayons cosmiques

*¹⁴N → ¹⁴C + O₂ → ¹⁴CO₂ qui se mélange au CO₂ venant d'autres sources
(volcans ... oxydation des matières organiques ... combustion des hydrocarbures)]*

→ Lorsque l'organisme meurt, il n'assimile plus de ¹⁴C et celui qu'il contient va se désintégrer progressivement (période ou ½ vie de 5730 ans)

→ La quantité de Carbone 14 diminue alors au cours du temps de façon exponentielle tandis que celle de Carbone 12 reste constante.

→ La datation repose sur la comparaison du rapport entre les quantités de Carbone 12 et de Carbone 14 contenues dans un échantillon avec celui d'un échantillon de référence. On déduit de cette comparaison « l'âge ¹⁴C » de l'échantillon qu'on cherche à dater

On peut dater des éléments jusqu'à environ 50 000 ans (environ 8 périodes)

**En 1950 W. F. LIBBY (Nobel Chimie 1960) réalise la première datation au Carbone 14
Tout ce qui est antérieur devient «BP» (*Before Present*) donc l'histoire avant 1950**



Des minéraux radioactifs aux roches sédimentaires...

On ne date pas radiochronologiquement les roches sédimentaires. Sauf exception, on ne date radiochronologiquement que les roches magmatiques et métamorphiques.

Ainsi, on sait que le Toarcien commence autour de -183 millions d'années parce qu'on a trouvé, quelque part dans le monde, des affleurements remarquables (par exemple un volcanisme sous-marin interstratifié dans la limite Carixien/Toarcien) et que l'on a radiochronologiquement daté ce volcanisme à 183 millions d'années.

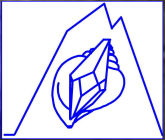
Mais la relation âge stratigraphique - âge radiochronologique n'est pas toujours univoque. Dans le cas idéal, les datations radiochronologiques viennent appuyer les datations fossiles, mais ce n'est malheureusement pas toujours le cas, notamment lorsque l'on ne dispose que de roches sédimentaires pour un étage et donc pas de datation radiochronologique.

→ révisions de la *charte chronostratigraphique internationale*

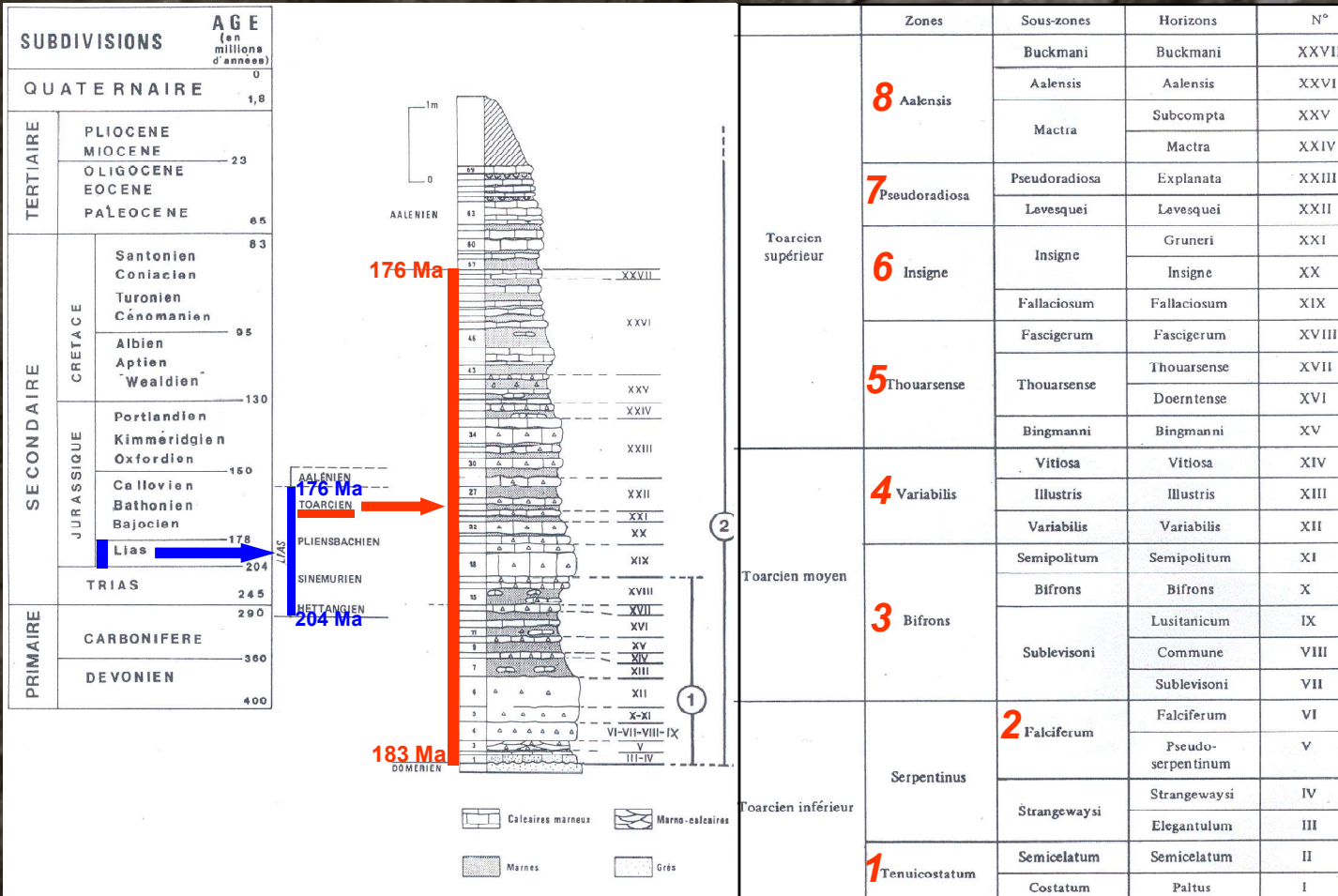


(Source : ENS Lyon)





L'âge absolu du Toarcien

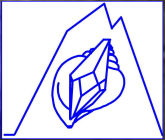


Par datations absolues on estime que l'étage Toarcien s'étend sur 7 Ma

Chaque zone d'ammonite représente en moyenne, pour le Toarcien, une durée légèrement inférieure à 1 Ma. Chacun de ses horizons a une durée de 260 000 ans environ (soit à peu près la durée de vie d'une espèce)

Le « pouvoir séparateur » d'un horizon d'ammonites est d'environ 250 000 ans (précision < 2 pour mille pour un âge de 180 Ma)





Utilisation d'isotopes stables : le rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ comme indicateur stratigraphique

4 isotopes stables

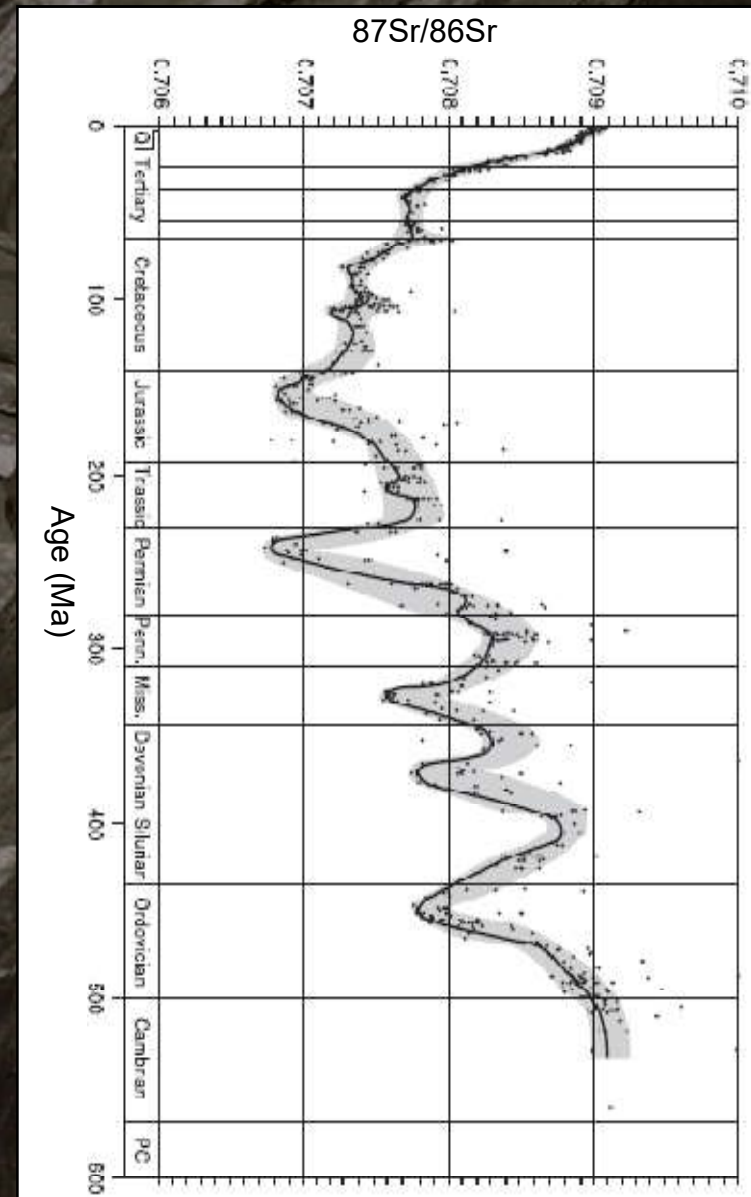
^{84}Sr ^{86}Sr ^{87}Sr ^{88}Sr

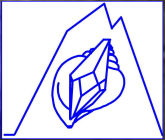
0,56% 9,86% 7,00% 82,58%

Le rapport de certains isotopes du Strontium dans l'eau de mer varie au cours des temps géologiques. Ce Strontium est fixé dans les tests calcaires des organismes. Mesurées, ces valeurs sont rapportées à une courbe de référence établie par radiochronologie : les variations du rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ permettent de dater les couches sédimentaires ...

à condition d'avoir une idée de l'âge des roches

Origine de la figure : Burke et al. – 1982
(Courbe basée sur des analyses de roches et de fossiles issus de carbonates et d'évaporites, dont l'âge a été préalablement déterminé)



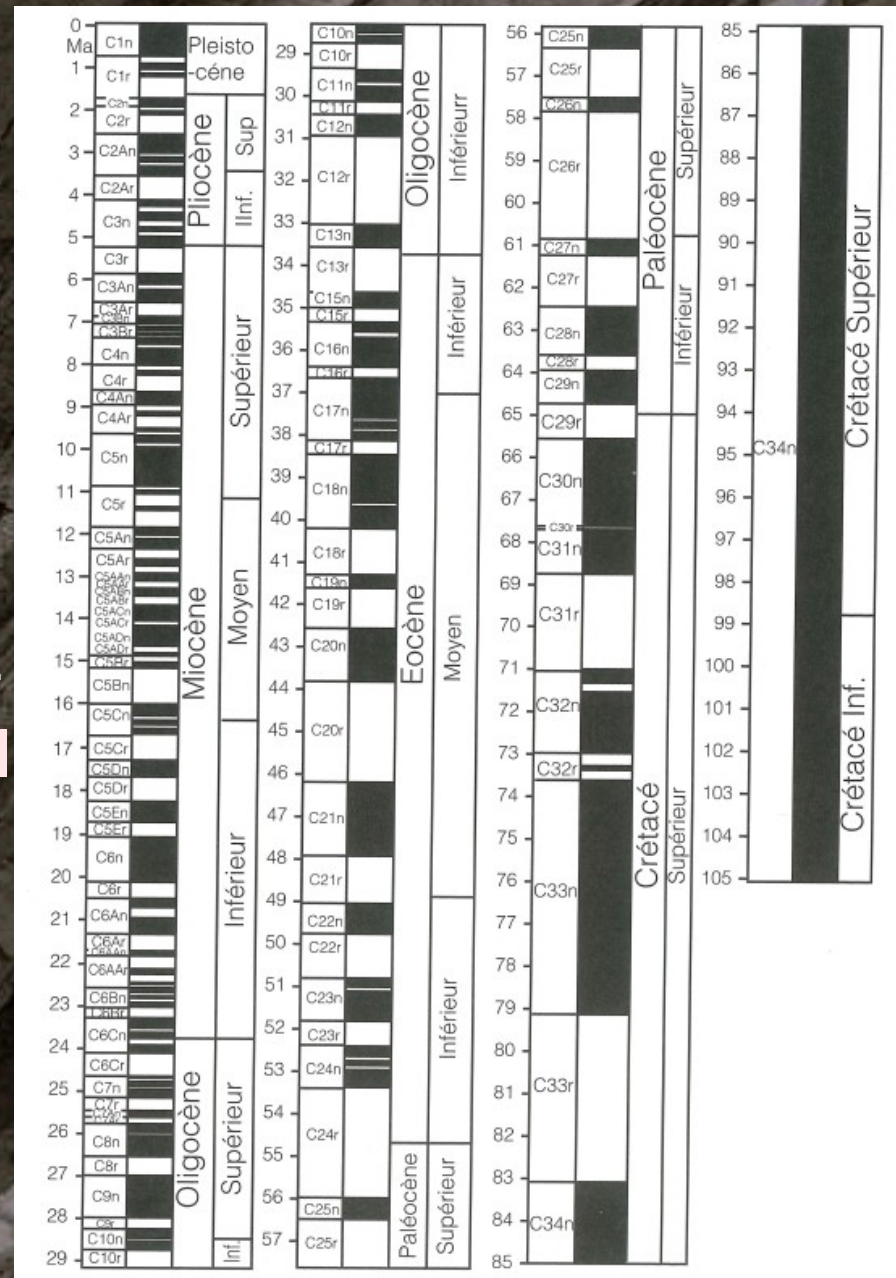


Magnétostratigraphie

Elle analyse l'évolution des caractéristiques magnétiques naturelles.

Utilisation en particulier des inversions de polarité du champ géomagnétique.

... à condition d'avoir une idée de l'âge des roches

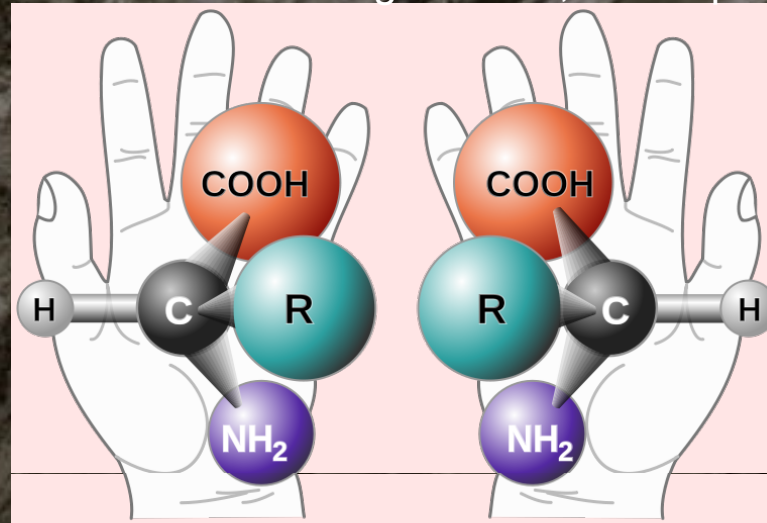


Séquence de polarité magnétique du Cénozoïque et du Crétacé supérieur
Origine de la figure : B. Galbrun in J. Rey et al. – 1997



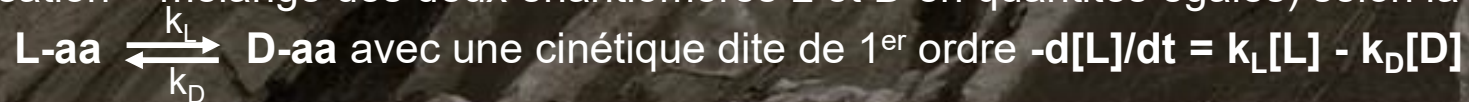
Isomérisation des amino-acides

Les acides aminés (sauf la glycine) possèdent au moins un atome de Carbone, lié à quatre radicaux différents → asymétrie de la molécule, avec pour conséquence deux possibilités d'arrangement relatif (énantiomères L et D = images miroir, non superposables).



Les êtres vivants contiennent essentiellement l'énantiomère L des acides aminés, l'énantiomère D étant beaucoup plus rare dans tous les systèmes biologiques.

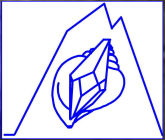
Après la mort de l'organisme, on a une transformation de l'énantiomère L en mélange racémique (racémisation = mélange des deux énantiomères L et D en quantités égales) selon la réaction



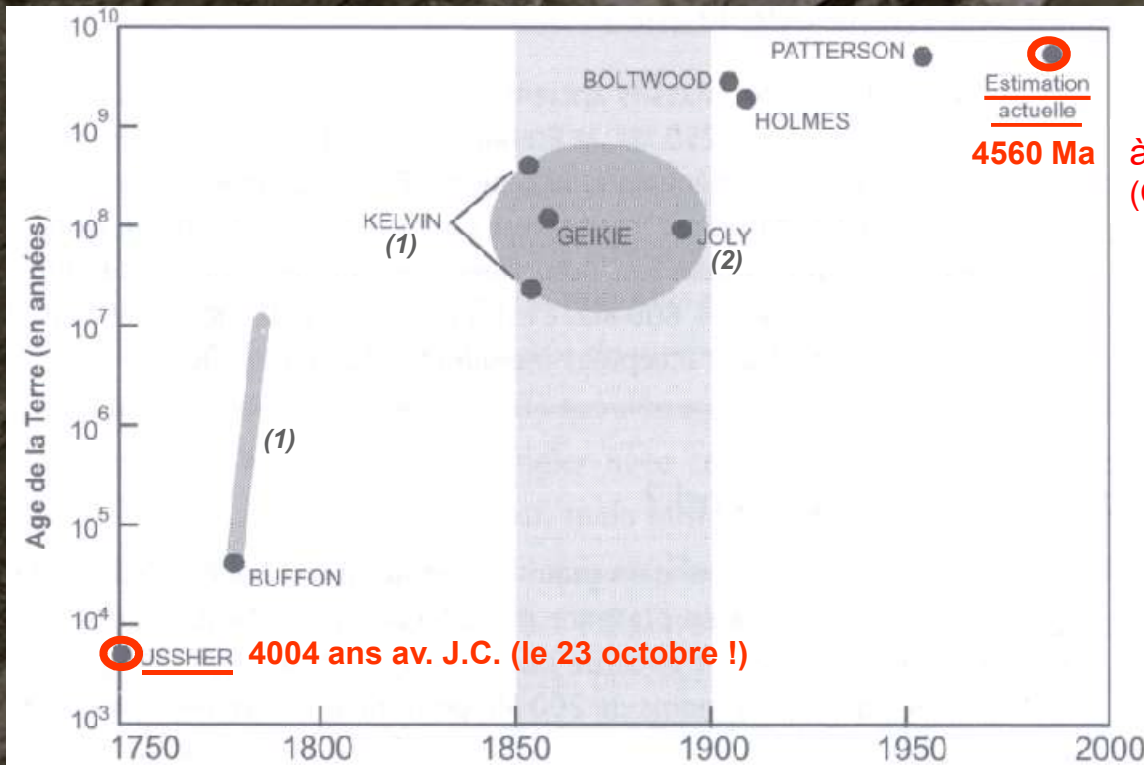
On peut donc calculer un temps écoulé depuis la mort de l'être vivant analysé en mesurant [L] et [D]

- La cinétique de réaction dépend de la température : selon T du site, on peut obtenir des résultats entre environ 100000-200000 ans (à 30 °C) et 2-5 Ma (à 10 °C), donc des durées + longues qu'avec le ^{14}C
- La vitesse de racémisation diffère selon l'organisme ou la partie analysée (os, dents, bois, coraux ...)





Variations de l'âge de la Terre ... en fonction des connaissances



4560 Ma

à partir de datation U/Pb sur une météorite
(C. Patterson dans les années 1950)

(1) Refroidissement de la Terre

→ 25000 ans à 10 Ma pour Buffon

→ 20 à 400 Ma selon Kelvin

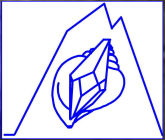
(2) Augmentation de la salinité de l'eau de mer depuis
la condensation de l'océan primitif (→ 90 Ma)

Âges mesurés/connus de la Terre, depuis le calcul de l'évêque Ussher, jusqu'au milieu du xx^e siècle. Les âges retenus comme étant ceux de Buffon sont surtout ceux de ses notes manuscrites, les 10 Ma représentés ici n'ont jamais été publiés. En ce qui concerne les âges de Kelvin, il a d'abord publié des âges importants, pour les réduire au cours des années, s'éloignant ainsi de l'âge actuellement retenu. On notera les grandes incertitudes de la fin du xix^e siècle, la zone arrondie en gris soutenu localise les âges alors admis comme possibles : entre 20 et 800 Ma.

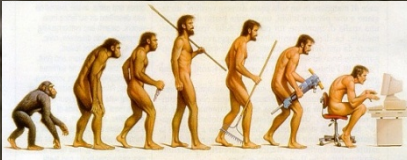
(Source : P. de Wever et al. - 2005)



QUELQUES REPERES



Quelques grandes dates dans l'histoire de la Terre



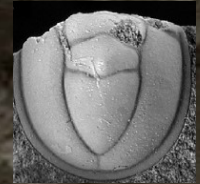
- 3 Ma (à - 7 Ma ?) : Apparition de l'Homme



- 65 Ma : Fin du Crétacé (disparition des Dinosaures, des Ammonites...)

- 440 Ma : Premiers végétaux hors de l'eau → sur la terre ferme

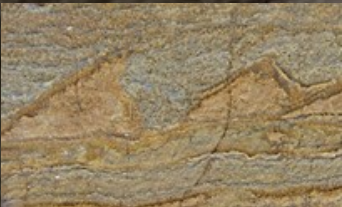
- 540 Ma : « Invention » du squelette (coquilles, carapaces, squelettes)



- 1000 Ma : Organismes multicellulaires

- 1500 Ma : Reproduction sexuée (diversification des formes de vie, « apparition de la mort »)

- 2200 Ma : Plus vieilles roches de France (Icartien de Bretagne Nord et Nord-Cotentin)



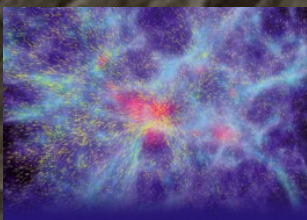
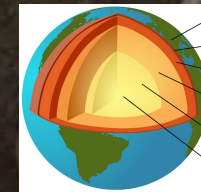
- 2800 Ma : Production d'oxygène (par photosynthèse)

- 3700 Ma : Premières traces de vie (Groenland)

- 4400 Ma : Premiers océans (condensation)

- 4560 Ma : Formation de la Terre

- 4600 Ma : Formation du système solaire



Formation de l'Univers (« Big Bang » à 13800 Ma)

(D'après : Aux Sources de la Terre – MNHN - AIPT- 2008)

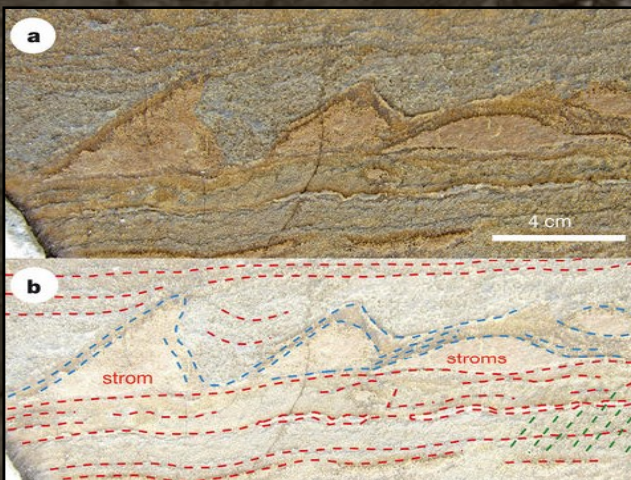
Les + vieux fossiles

Stromatolites = roches carbonatées formées de feuillets superposés se développant en forme de boules ou de choux-fleurs.

La précipitation de fines pellicules de carbonates est induite par des colonies de micro-organismes (en particulier des Cyanobactéries).

Les Cyanobactéries seraient responsables d'un bouleversement écologique majeur : la « Grande Oxygénation » = dégagement d'O₂ dans l'atmosphère par photosynthèse (2,4-2,0 Ga)

Photo : Stromatolites actuels sur le littoral de l'Ouest de l'Australie (Eeckhout)



~~Ile d'Isua (SW Greenland) : 3,7 Ga (milliards d'années)
les stromatolites (a) présentent des feuillets internes caractéristiques (b)
(lignes en pointillés bleus) coïncés entre
des dépôts sédimentaires (en pointillés rouges) Nutman et al. - 2016~~



~~+ probablement des structures de
déformation d'origine métamorphique
Ailwood et al. - 2016~~

OUI ce sont bien des stromatolites de 3,7 Ga !
Nutman et al. - 2019

Craton de Pilbara (NW Australie) : 3,5 Ga
Stromatolites en colonnes remplacés par de la pyrite
Largeur image environ 5 cm
Van Kranendonk et al. - 2008





CHARTE CHRONOSTRATIGRAPHIQUE INTERNATIONALE

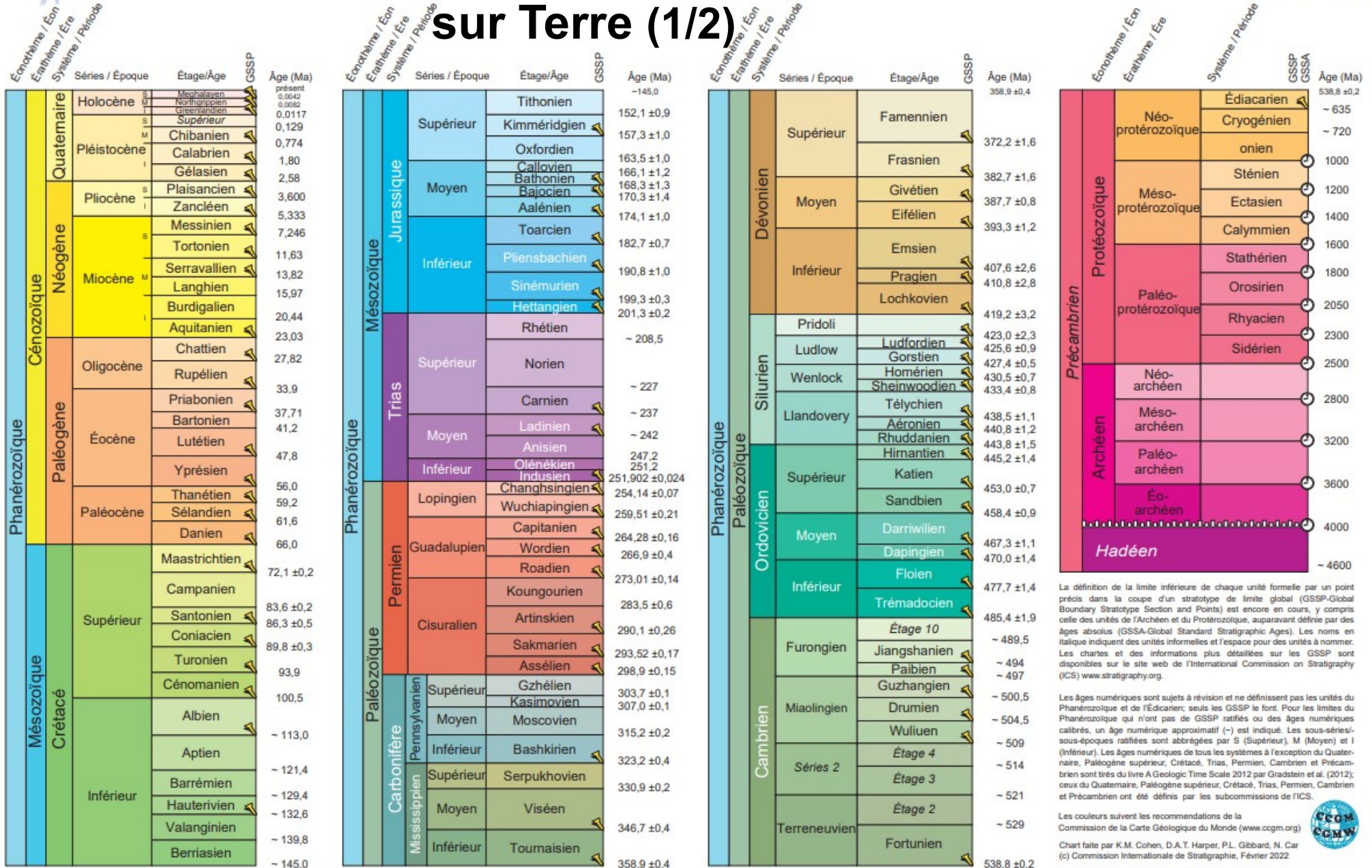
www.stratigraphy.org

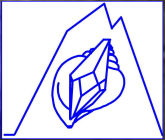
Commission Internationale de Stratigraphie

v 2022/02



sur Terre (1/2)





Quelques grandes dates de la Préhistoire sur Terre (2/2)

LE PALÉOLITHIQUE

APPARITION DE L'HOMME : *L'HOMO HABILIS*,
EN AFRIQUE DE L'EST IL Y A ENVIRON 2,6 MILLIONS
D'ANNÉES

PALÉOLITHIQUE INFÉRIEUR : *LES HOMO ERECTUS*
- 800 000 - 300 000

L'Homme de Tautavel : - 450 000

Domestication du feu : - 400 000

Premiers outils : galets à 1 ou 2 tranchants, bifaces

Chasse déjà organisée

PALÉOLITHIQUE MOYEN : *LES NÉANDERTALIENS*
- 300 000 - 40 000

Premières sépultures : - 100 000

L'Homme de Néandertal disparaît progressivement après avoir
cohabité avec l'Homme de Cro-Magnon

Techniques de chasse plus élaborées et spécialisées

PALÉOLITHIQUE SUPÉRIEUR : *LES HOMO SAPIENS*
- 40 000 - 10 000

L'Homme de Cro-Magnon

Diversification et développement de l'outillage

Façonnage de l'os, l'ivoire et le bois de cervidés

Premiers éléments de parure

Habitats semi-permanents et organisation de l'espace habité

Chasse sélective

Rites funéraires complexes et variés

Premières manifestations artistiques : - 35 000

Apogée de l'art : -17 000/- 9000 (sculpture, peinture,



L'ÉPIPALÉOLITHIQUE : 10 000 - 8 000 avant J.-C.

Dernier épisode froid de la glaciation, le climat se réchauffe
Art dit "azilien" : peinture et gravure de signes géométriques
sur galets de rivière

LE MÉSOLITHIQUE : 8 000 - 5 500 avant J.-C.

Les grands animaux à fourrure remontent au Nord

Remplacement de la steppe par la forêt

Apparition de l'arc et miniaturisation des pointes de flèches

Disparition de "l'art des cavernes"

Domestication du chien

LE NÉOLITHIQUE

Premiers villages

Introduction de l'agriculture et de l'élevage

Innovations techniques : pierre polie, tissage, céramique

Premières mines de silex

Premières cimetières

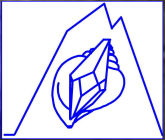
Première statuaire

5500 - 2000 avant J.-C.

- Milieu V^e millénaire : élévation des mégalithes, les premières architectures du monde
- 4000/3500 av. J.-C. : domestication du cheval et invention de la roue
- III^e millénaire : premières tombes collectives
- III^e millénaire : les premiers ors de France dans le Midi

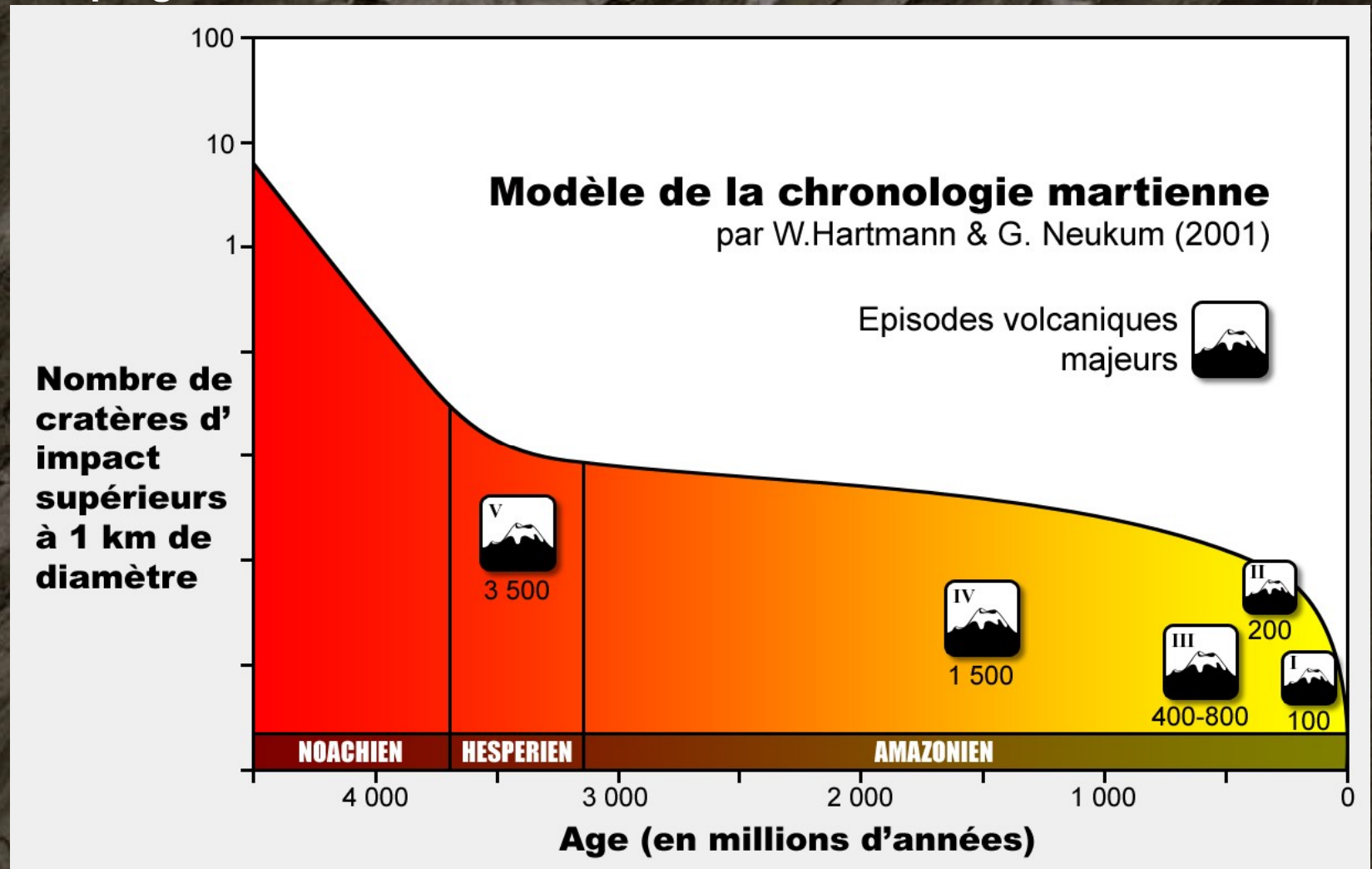
Dame de Brassempouy ~ 25000 ans

Source : Musée des Antiquités Nationales – Chronologie générale pour la France

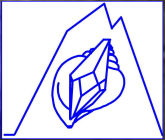


Ailleurs : sur Mars

En utilisant le comptage des cratères, on identifie trois ères :
Noachien,
Hespérien
et Amazonien



Au niveau minéralogique, on distingue trois ères : Phyllosien (argiles)
Theiikien (sulfates) et Sidérikien (minx anhydres → disparition de l'eau)



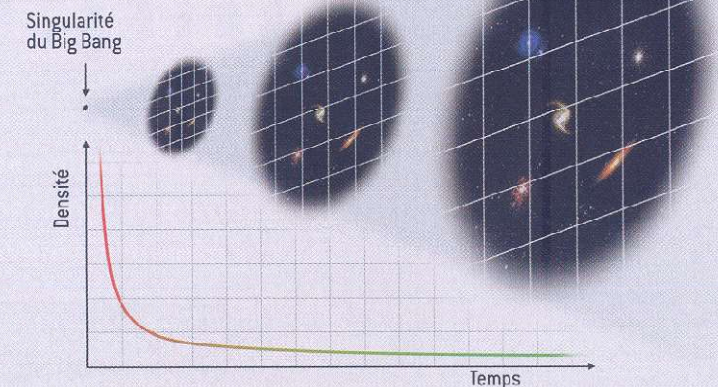
Et avant le Big Bang ? Naissance du Temps ? On quitte le domaine de la Géologie !

Selon le modèle cosmologique standard (basé sur la théorie de la relativité générale d'A. Einstein)
l'espace et le temps sont liés :
l'Univers aurait commencé avec le Big Bang.

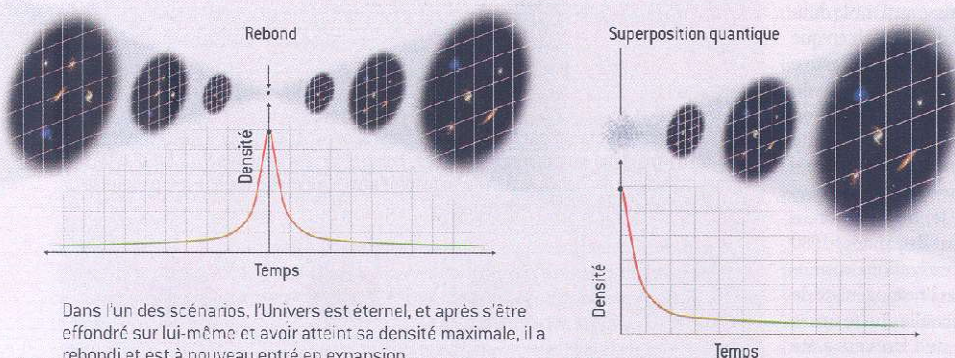
« On peut dire que le temps a commencé au Big Bang, au sens où des temps antérieurs ne sont tout simplement pas définis ! » En effet, si des événements antérieurs au Big Bang avaient existé, ils ne pourraient affecter ce qui arrive dans notre temps, et leur existence peut donc être ignorée.

(Source : S. Hawking - 1988)

L'idée du Big Bang découle de l'observation selon laquelle toutes les galaxies dans l'Univers s'éloignent les unes des autres. Si on extrapole ce comportement vers le passé, tout le contenu de l'Univers devait être rassemblé il y a 13,7 milliards d'années en un unique point, de densité et de températures infinies : la singularité du Big Bang. L'apparition de ces grandeurs infinies est en fait le signe que la théorie de la relativité générale, qui décrit l'évolution de l'Univers, est incomplète.



En imposant une limite à la densité d'énergie concentrée en un point, la gravitation quantique à boucles fait disparaître la singularité du Big Bang et la remplace par un « rebond », une transition à partir d'un état préexistant, qui a déclenché l'expansion de l'Univers.



Dans l'un des scénarios, l'Univers est éternel, et après s'être effondré sur lui-même et avoir atteint sa densité maximale, il a rebondi et est à nouveau entré en expansion.

Cependant, ce rebond efface toute trace d'un état antérieur, si bien qu'il est possible qu'auparavant l'Univers ait été dans un état quantique fluctuant, peut-être pas encore formé en tant qu'espace-temps. Quelque chose aurait alors déclenché le rebond et la formation de l'espace-temps discontinu.

Dans un modèle alternatif (la gravitation quantique à boucles) l'Univers pourrait avoir existé avant le Big Bang. Après s'être effondré sur lui-même jusqu'à atteindre une densité critique, il aurait « rebondi » pour connaître une phase d'expansion accélérée.

(Source : M. Bojowald - 2008)

« Le grand ouvrier de la nature, c'est le temps »

Georges-Louis de BUFFON



Merci de votre attention !

