

Le temps et les roches

Cours

Sommaire

I La chronologie relative

A Les relations géométriques

1. Les différentes échelles d'observation
2. Le principe de superposition
3. Le principe de recoupement
4. Le principe d'inclusion

B Les fossiles stratigraphiques

1. Les critères des fossiles stratigraphiques
2. Le principe de l'identité paléontologique
3. Les coupures géologiques

II La chronologie absolue

A Le principe de la chronologie absolue

B Le choix des chronomètres

III L'échelle stratigraphique

RÉSUMÉ

Afin de connaître l'histoire géologique de la Terre, deux méthodes de datation sont utilisées. La chronologie relative a pour but de replacer dans le temps les événements géologiques les uns par rapports aux autres. La chronologie absolue complète la chronologie relative en donnant un âge chiffré des événements géologiques. La combinaison des deux méthodes a permis d'établir l'échelle des temps géologiques qui réunit l'histoire géologique de la Terre et l'histoire de la vie sur Terre, les deux étant indissociables l'une de l'autre.

I La chronologie relative

La chronologie relative est basée sur l'étude des relations géométriques entre différentes structures, à différentes échelles d'observation. L'étude des fossiles stratigraphiques complète la précédente afin de déterminer l'ordre d'enchaînement des événements géologiques.

A Les relations géométriques

Les relations géométriques entre les structures géologiques sont observées à différentes échelles. Les principes de superposition, de recoupement et d'inclusion permettent de reconstituer la succession des événements géologiques.

1. Les différentes échelles d'observation

Les relations géométriques entre les structures géologiques peuvent être observées aussi bien à l'échelle macroscopique qu'à l'échelle microscopique.

Les relations de superposition, recoupement et inclusion s'observent à l'échelle du paysage, de l'affleurement, de l'échantillon de roche ou encore au microscope sur une lame mince de roche.

EXEMPLE

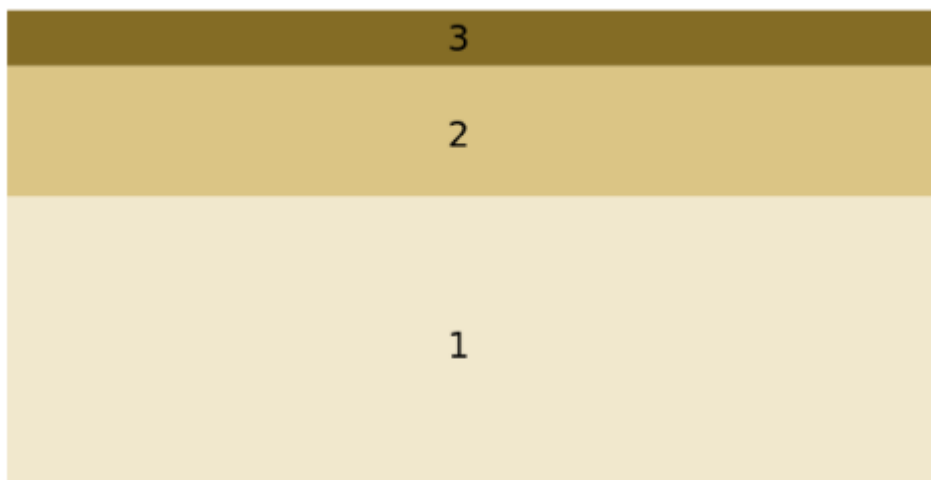


© Wikimedia Commons

2. Le principe de superposition

Le principe de superposition indique que toute couche de roche est plus récente que celle qu'elle recouvre. La couche la plus ancienne est donc la plus basse.

Ce principe s'applique aux roches sédimentaires pour lesquelles les couches de roches sont appelées strates. Il peut aussi s'appliquer aux roches magmatiques, dans le cadre de coulées volcaniques par exemple.



La couche 1, la plus basse, est la plus ancienne et la couche 3 est la plus récente.

© Wikimedia Commons



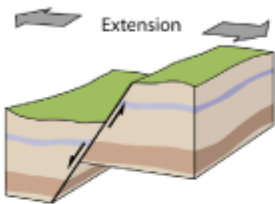

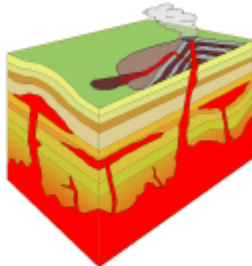
REMARQUE

Dans les régions ayant subi des déformations, ce principe est plus difficile à appliquer, car les couches de roches peuvent avoir été inversées par les plis, des failles, ou avoir été érodées.

3. Le principe de recoupement

Le principe de recoupement indique que toute structure géologique qui en déforme ou en recoupe une autre lui est postérieure.

La structure géologique qui en recoupe une autre s'est formée après celle qui est recoupée. Ces structures peuvent être des plis, des failles ou encore des intrusions magmatiques.

Faille	Pli	Intrusion plutonique
		
<p>La faille est postérieure au dépôt des strates, c'est-à-dire que la faille s'est formée après que les couches de roches se sont formées.</p>	<p>Le pli est postérieur aux strates, c'est-à-dire que le pli s'est formé après les couches de roches.</p>	<p>Les inclusions sont postérieures aux strates, c'est-à-dire que les inclusions de magma se sont produites après la formation des couches de roches.</p>

© Wikimedia Commons



4. Le principe d'inclusion

Le principe d'inclusion indique que tout objet inclus est antérieur à celui dans lequel il se trouve.

L'objet inclus s'est formé avant la structure dans laquelle il se trouve.

Inclusion de gabbro dans un granite



Le gabbro est inclus dans le granite, il s'est donc formé avant le granite.

© Wikimedia Commons



B Les fossiles stratigraphiques

Les fossiles stratigraphiques sont caractérisés par des critères précis. Ils sont utilisés pour caractériser des intervalles de temps. Le principe de l'identité paléontologique permet également d'établir des corrélations entre des régions géographiquement éloignées. Ces fossiles, par leur apparition ou leur disparition, ont permis d'établir des coupures dans l'échelle stratigraphique.

1. Les critères des fossiles stratigraphiques

Certains fossiles peuvent être utilisés pour dater des événements géologiques. Ce sont des fossiles stratigraphiques. Pour cela, ils doivent répondre à plusieurs critères :

- une grande abondance ;
- une grande extension géographique ;
- une courte durée d'existence ;
- une évolution rapide.

Pour servir de marqueur du temps, les fossiles doivent être bien présents dans les roches, donc ce doit être des fossiles abondants.

Ils doivent pouvoir être trouvés en différents lieux, parfois sur des continents différents, d'où l'intérêt de leur grande répartition géographique.

Ils doivent également avoir une courte durée d'existence à l'échelle des temps géologiques, pour pouvoir dater avec assez de précision les structures géologiques dans lesquelles on les retrouve. Plus la durée d'existence du fossile est courte, plus la datation est précise.

De plus, plus les espèces évoluent rapidement, plus elles permettent une datation précise.

DÉFINITION

Fossile

Un **fossile** est une trace ou reste d'organisme conservé dans les roches.

DÉFINITION

Fossile stratigraphique

Un **fossile stratigraphique** est un fossile permettant la datation relative de structures ou d'événements géologiques. Cette espèce doit avoir été abondante, avoir eu une courte durée de vie à l'échelle des temps géologiques et avoir eu une grande répartition géographique. Les ammonites, les trilobites ou encore les foraminifères sont de très bons fossiles stratigraphiques.

EXEMPLE

Trilobites	Ammonites	Foraminifères
		
Elrathia kingi, Cambrien (-540 à -500 Ma)	Dactyloceras commune, Jurassique inférieur-Toarcien moyen (-184 à -175 Ma)	Globotruncana, Crétacé supérieur-Campanien Maestrichtien (-83 à -75 Ma)

© Wikimedia Commons

2. Le principe de l'identité paléontologique

Le **principe de l'identité paléontologique** indique que si deux couches de terrain comportent la même association de fossiles stratigraphiques, alors elles ont le même âge.

Pour que la datation soit fiable, soit on utilise un fossile stratigraphique qui a une très courte durée d'existence, soit on utilise un assemblage de fossiles stratigraphiques pour affiner l'âge de la strate dans laquelle on trouve les fossiles.

Détermination de l'âge d'une strate par l'association de fossiles stratigraphiques

Strate
(couche de roche)

A C B B AA C A
C B A C C B A B

La strate contient les
fossiles stratigraphiques
A, B et C

Période de vie
des fossiles
stratigraphiques



A

B

C

Âge de la
strate

Jurassique
Dogger

Lorsque des couches de roches trouvées dans des zones géographiques différentes comportent la même association de fossiles stratigraphiques, on peut en déduire qu'elles se sont formées durant la même période géologique.

Par ailleurs, une strate a le même âge sur toute son étendue, c'est le principe de continuité.

3. Les coupures géologiques

Les fossiles stratigraphiques, par leur apparition ou leur disparition, permettent de définir des coupures dans l'échelle des temps géologiques.

L'histoire de la vie sur Terre est marquée par des disparitions massives d'espèces. Actuellement, ces crises biologiques sont au nombre de cinq. Elles permettent de découper les temps géologiques. La crise la plus célèbre est celle du Crétacé/Paléogène avec la disparition des dinosaures.

EXEMPLE

Au Permien (-295 à -250 Ma), on dénombre 30 familles de vertébrés. Au Trias (-250 à -203 Ma), période qui suit le Permien, on constate la disparition de 75 % de ces vertébrés. C'est une extinction massive, brutale, qui a permis de délimiter la fin de l'ère Paléozoïque et le début de l'ère Mésozoïque.



REMARQUE

« Paléo » signifie « ancien », « méso » signifie « moyen » et « zoïque » signifie « la vie ». « Paléozoïque » signifie donc « la vie ancienne », « Mésozoïque », « la vie moyenne » et « Cénozoïque », la vie récente. C'est à partir du Paléozoïque que la vie a explosé sur Terre.

II La chronologie absolue

Le principe de la chronologie absolue est basé sur l'étude de la désintégration radioactive de certains éléments radioactifs piégés dans les roches au moment de leur formation. Les chronomètres sont choisis en fonction de l'âge supposé de l'objet étudié. Cette méthode permet de dater de manière chiffrée les événements géologiques.

A Le principe de la chronologie absolue

La désintégration radioactive a une demi-vie spécifique pour chaque élément radioactif. La quantification d'éléments père et d'éléments fils permet de déterminer l'âge des minéraux constitutifs d'un système. L'âge obtenu correspond à la fermeture du système considéré (minéral, roche, etc.), c'est-à-dire au moment où il ne réalisait plus d'échanges avec l'extérieur.

Au moment de sa formation, le système étudié (roche, minéral, squelette, fossile de bois, coquille, etc.) intègre les éléments de son environnement. À la fin de sa formation, le système ne réalise plus d'échanges avec son milieu, on dit que le système est fermé ou clos.

La fin de la formation du système correspond à la mort pour un être vivant. En effet, à sa mort, les échanges réalisés avec le milieu extérieur (respiration, alimentation, photosynthèse) s'arrêtent. Pour une roche magmatique, la fermeture du système correspond à la fin du refroidissement du magma.

Parmi les éléments chimiques intégrés, se trouvent des éléments radioactifs qui vont se désintégrer naturellement au cours du temps. L'élément radioactif père (P) se transforme en élément fils stable (F) en libérant une particule riche en énergie. La période de désintégration appelée demi-vie est spécifique de chaque élément radioactif.

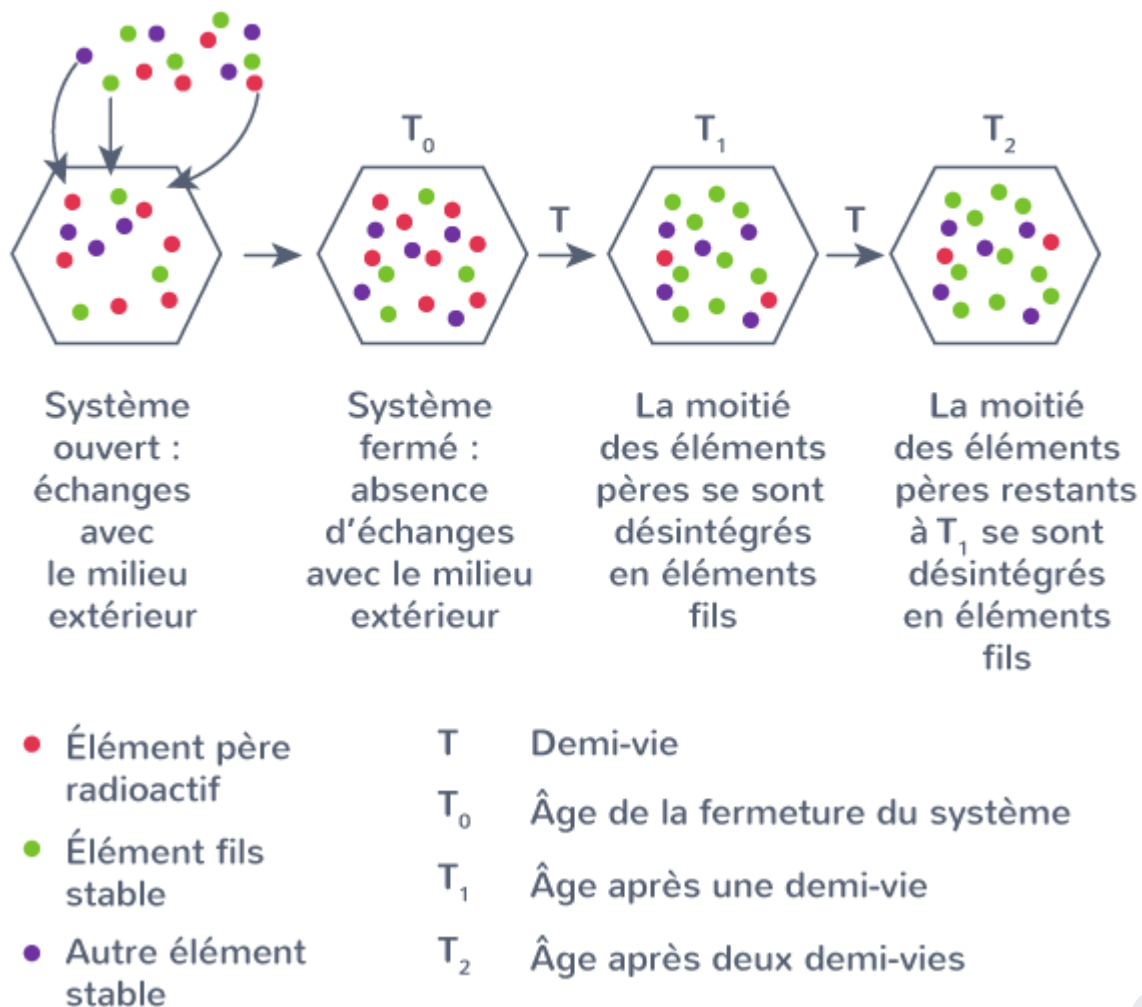
DÉFINITION

Demi-vie

La demi-vie est le temps nécessaire pour que la moitié des éléments pères radioactifs d'un système se désintègrent. Cela ne dépend pas de l'environnement (pression, température), mais de l'élément radioactif considéré.

En déterminant le nombre d'éléments pères ou fils restants dans l'objet étudié, on peut calculer son âge géologique depuis la fermeture du système.

La fermeture d'un système et son évolution



© Wikimedia Commons



B Le choix des chronomètres

Le choix du chronomètre dépend de l'âge supposé de l'objet à dater. Plus l'objet est ancien, plus les scientifiques utiliseront des chronomètres radioactifs ayant une longue demi-vie.

La désintégration est un phénomène continu et irréversible. Par conséquent, le choix du chronomètre est important. Il dépend de l'âge supposé de l'objet à dater. Si l'objet à dater est supposé assez récent, les scientifiques vont utiliser un chronomètre rapide ayant une courte demi-vie. Au contraire, si l'on s'intéresse aux événements plus lointains, comme la formation de la Terre, ils utilisent des chronomètres lents ayant une longue demi-vie. En effet, il faut que des éléments pères soient encore présents dans l'objet étudié.



REMARQUE

En cas d'absence de l'élément père dans l'échantillon étudié, on ne saurait pas déterminer depuis combien de temps il n'y en a plus et l'âge de l'échantillon ne pourrait pas être calculé.

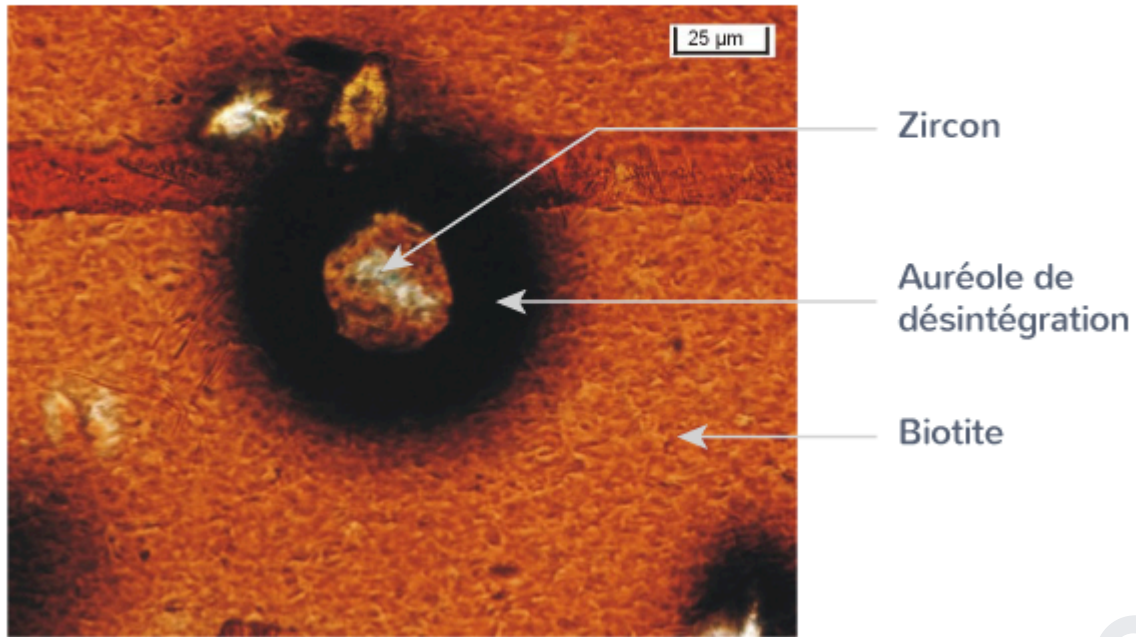
Le chronomètre est un couple d'atomes : un atome radioactif qui se transforme en un atome stable.

EXEMPLE

Chronomètre	Objet daté	Demi-	Principe

		vie/Période	
$^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$	Fossiles, squelettes	5 570 ans (valeur conventionnelle)	Le carbone 14, élément père radioactif, noté ^{14}C , se transforme en azote 14, élément fils stable, noté ^{14}N . L'azote étant un gaz, il s'échappe. On compare donc plutôt le rapport $^{14}\text{C} / ^{12}\text{C}$ de l'échantillon au rapport actuel $^{14}\text{C} / ^{12}\text{C}$ dans l'atmosphère, en supposant que ce rapport n'a pas changé. Cette méthode permet de dater jusqu'à 35 000 ans avec une assez bonne précision.
$^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$	Minéraux (zircon), roche magmatique (granite)	700 millions d'années	L'uranium 235, élément père radioactif, noté ^{235}U , se transforme en plomb 207, élément fils stable, noté ^{207}Pb .
$^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$	Minéraux riches en potassium (les silicates) des roches magmatiques	1,25 milliard d'années	Le potassium 40, élément père radioactif, noté ^{40}K , se transforme en argon 40, éléments fils stable, noté ^{40}Ar . L'argon étant un gaz, il s'échappe des magmas avant la cristallisation. On considère ainsi sa quantité initiale nulle.
$^{87}\text{Rb}/^{87}\text{Sr}$	Roches magmatiques et métamorphiques les plus anciennes	49,2 milliards d'années	Le rubidium 87, élément père radioactif, noté ^{87}Rb , se transforme en strontium 87, élément fils stable, noté ^{87}Sr . Plusieurs minéraux d'une même roche sont analysés permettant de construire un droit isochrone. La pente de cette droite permettra de déterminer l'âge de la roche.

Auréole de désintégration autour du zircon au sein d'un minéral de biotite



© Wikimedia Commons

Les zircons, minéraux que l'on peut trouver dans les granites, contiennent souvent de l'uranium. La désintégration de l'uranium détruit la biotite dans laquelle se trouve l'inclusion de zircon. On observe alors une auréole de désintégration autour du zircon. La datation par le couple U/Pb permet de connaître la date de cristallisation du minéral et donne une estimation de l'âge du granite.

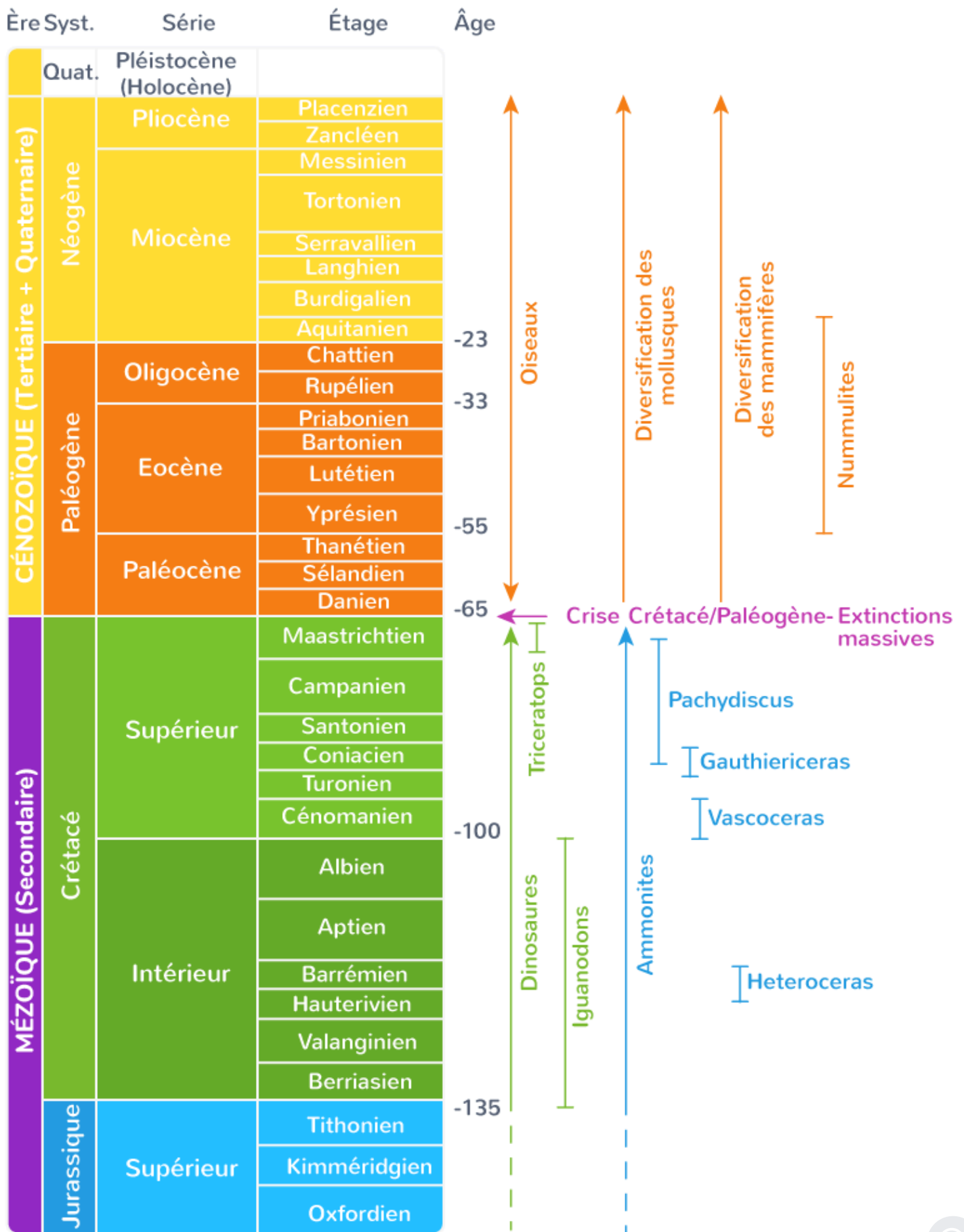
III L'échelle stratigraphique

L'échelle stratigraphique a été élaborée en combinant les informations issues des deux méthodes de datation. La datation relative permet d'établir la succession des événements et la datation absolue permet de les dater. Le découpage des ères et périodes géologiques est établi grâce aux fossiles stratigraphiques. L'échelle stratigraphique regroupe ainsi l'histoire de la vie et l'histoire de la Terre.

Les ères sont définies selon des critères paléontologiques. L'ère Paléozoïque est caractérisée par l'abondance de trilobites, l'ère Mésozoïque par l'abondance de dinosaures et d'ammonites et l'ère Cénozoïque par l'abondance de mammifères et d'oiseaux.

Les groupes de fossiles stratigraphiques à l'intérieur desquels on définit des genres et des espèces permettent d'affiner les datations et de définir des périodes, puis des étages dans l'échelle stratigraphique.

Les âges sont définis par les méthodes de datation absolue.



© Wikimedia Commons

Les ammonites sont de bons marqueurs de temps, les genres Pachidiscus, Gauthiercieras, Vascoceras, Héteroceras ont vécu sur des périodes de temps très courtes.

Le découpage de l'échelle stratigraphique est réalisé à l'aide de la chronologie relative et notamment grâce aux fossiles. Les âges sont déterminés par la chronologie absolue.

