

Fiche

L'un des objectifs majeurs de la géologie est la reconstitution de l'évolution de la Terre à partir de l'étude de témoins. Mais la reconstitution des temps anciens, dont les témoins sont peu nombreux et modifiés, est difficile. Les roches présentes à la surface de la Terre ont enregistré les différents événements de son histoire, qui est étroitement liée à celle de la vie. Comment l'étude des roches permet-elle de reconstituer l'histoire de la Terre ?

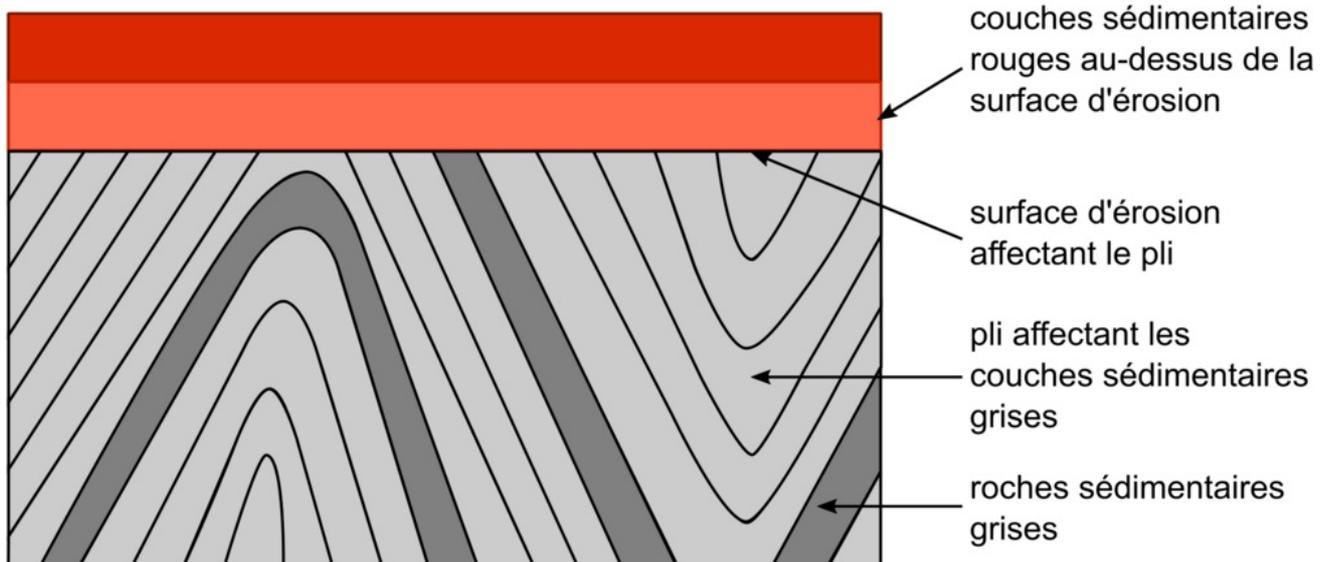
I. La chronologie relative

La **datation** est la détermination de l'âge d'un objet (roche, minéral, fossile, etc.), d'une structure (pli, faille, etc.) ou d'un événement géologique (plissement, érosion, etc.). La **datation** ou **chronologie relative** vise à **ordonner dans le temps** les éléments géologiques les uns par rapport aux autres. Elle repose sur **quelques grands principes**.

Le premier est le **principe de continuité** qui établit qu'une même couche est de même âge en tous ses points. Le second est le **principe de superposition** qui concerne les structures géologiques formées par dépôts successifs, comme les roches sédimentaires ou les coulées volcaniques : lorsque deux couches sont superposées, la couche inférieure est plus âgée que la couche supérieure. L'application de ce principe, aisée dans les zones peu modifiées tectoniquement, est difficile lorsque les couches sont déformées. Le troisième principe est le **principe de recoupement**, selon lequel toute structure géologique qui en affecte ou en recoupe une autre lui est postérieure. Il peut s'appliquer à **l'échelle de l'affleurement**. Ainsi, l'observation de roches déformées (plissées, faillées, etc.) indique que les déformations sont postérieures à la formation de ces roches. Le principe de recoupement s'applique aussi à **l'échelle du minéral** : un minéral qui en recoupe un autre lui est postérieur. Le quatrième principe est le **principe d'inclusion** selon lequel tout minéral contenu dans un autre lui est antérieur. L'application de ces différents principes, qui exploitent les relations géométriques entre les objets géologiques, permet d'établir un ordre temporel de formation de ces objets et des événements les affectant.

La datation relative utilise également les informations issues de certains fossiles, qui sont des restes d'êtres vivants ou de leur activité, conservés dans une roche. Elle se base sur l'étude des associations de **fossiles stratigraphiques**, appartenant à des espèces ayant une courte durée de vie et dont la zone de répartition géographique est étendue. Selon le **principe d'identité paléontologique**, deux couches contenant les mêmes fossiles stratigraphiques sont de même âge. Les études des associations de fossiles permettent de comparer l'âge de roches géographiquement éloignées. La mise en relation de datations relatives dans différentes régions conduit à établir **l'échelle stratigraphique internationale des temps géologiques**. L'unité de base de cette échelle est **l'étage**, défini par un affleurement ayant des caractéristiques géologiques et paléontologiques spécifiques, et délimité par des **coupures** inférieures et supérieures nettes. Les étages sont regroupés en **périodes**, puis les périodes définissent les **ères**. Les limites entre les ères ou les périodes correspondent à des événements majeurs de l'histoire de la Terre et de la vie, généralement des **crises biologiques**.

Application des principes de la datation relative : étude d'une discordance angulaire



L'application des principes de la datation relative permet d'ordonner dans le temps les étapes de la formation de cette discordance angulaire : 1. formation des couches sédimentaires grises ; 2. plissement des couches sédimentaires grises ; 3. érosion des couches

sédimentaires grises plissées ; 4. formation des couches sédimentaires supérieures.

 [Exercice n°1](#)

 [Exercice n°2](#)

 [Exercice n°3](#)

II. La chronologie absolue

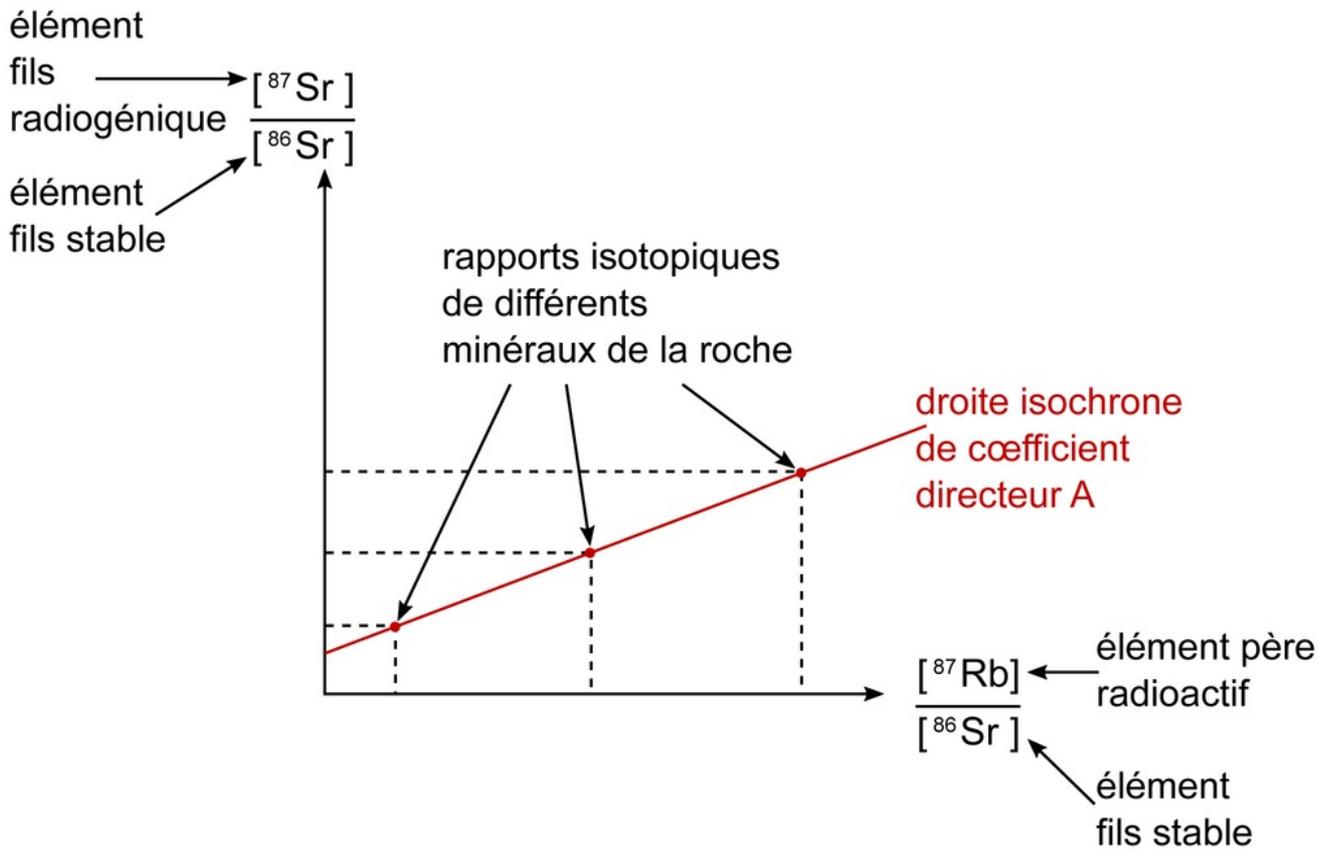
La datation relative permet d'établir l'ordre temporel des événements mais ne renseigne pas sur leur âge absolu ni de manière précise sur leur durée. L'objectif de la **datation absolue** est d'attribuer une **date** à un événement. Elle utilise essentiellement la **radiochronologie**, qui exploite la radioactivité naturelle de certains éléments chimiques. Lors d'une réaction radioactive, l'élément radioactif père se désintègre de manière continue et irréversible en élément fils, dit radiogénique. La **loi de décroissance radioactive** établit que, dans un échantillon de matière, le rapport entre les quantités actuelle et initiale de l'élément père ne dépend que du temps écoulé depuis le début de la réaction. Chaque élément radioactif père est caractérisé par sa **demi-vie**, qui correspond au temps de désintégration de la moitié de la quantité initiale présente dans l'échantillon. Dans une roche, la quantification de l'élément père radioactif ou de l'élément fils permet de déterminer l'âge de la roche, à condition de connaître la quantité initiale de l'élément père. Comme la quantité initiale de l'élément père est rarement connue, il est souvent nécessaire d'introduire une autre grandeur, comme la quantité d'un isotope stable de l'élément fils. L'estimation par spectrométrie de masse des rapports isotopiques élément père/élément fils stable et élément fils radiogénique/élément fils stable de différents minéraux d'une roche permet de tracer une droite isochrone dont le coefficient directeur permet d'obtenir l'âge de la roche. Différents **chronomètres** sont utilisés en géologie : **$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$, $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$, $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ et $^{237}\text{U}/^{207}\text{Pb}$** . Un chronomètre de temps de demi-vie $t_{1/2}$ peut être utilisé pour dater un âge compris dans l'intervalle $[0,01t_{1/2} ; 10t_{1/2}]$. La datation d'une roche nécessite de choisir un chronomètre approprié, en tenant compte de l'âge supposé de la roche et de la présence du chronomètre.

L'âge estimé est le temps écoulé depuis le début de la réaction de désintégration radioactive, c'est-à-dire depuis l'âge de la **fermeture du système** considéré, le minéral ou la roche. Cette fermeture consiste en l'arrêt des échanges avec l'environnement. Lorsqu'un minéral se forme par cristallisation à partir d'un magma, la fermeture du système correspond à la cristallisation de ce minéral, qui piège les éléments pères et fils. La radiochronologie s'utilise sur les **roches magmatiques et métamorphiques**, considérées comme des systèmes fermés à partir de leur cristallisation. Ainsi, la datation absolue (en datant les limites entre les différents étages, périodes et ères de l'échelle stratigraphique) aboutit à une **échelle numérique des temps géologiques**, dont les âges sont susceptibles d'être modifiés en fonction de l'évolution des connaissances.

La datation rubidium/strontium

Estimation de l'âge d'une roche magmatique à l'aide du chronomètre ^{87}Rb ($t_{1/2} = 48,8 \text{ Ga}$).

La mesure des rapports des concentrations isotopiques $[^{87}\text{Sr}]/[^{86}\text{Sr}]$ et $[^{87}\text{Rb}]/[^{86}\text{Sr}]$ sur plusieurs minéraux de la roche permet de tracer la droite isochrone, dont on détermine le coefficient directeur A.



$$t = t_{1/2} \frac{\ln(A+1)}{\ln 2}$$

ZOOM SUR...

Les différents chronomètres

Chronomètre Élément père	Éléments fils	Temps de demi-vie $t_{1/2}$ (en années)
^{87}Rb	^{87}Sr	$48,8 \times 10^9$
^{40}K	^{40}Ar	$11,9 \times 10^9$
^{238}U	^{206}Pb	$4,6 \times 10^9$
^{237}U	^{207}Pb	700×10^6

Notion clé : l'actualisme

Selon l'actualisme, les causes des phénomènes géologiques passés sont similaires à celles des phénomènes actuels. C'est une méthode fructueuse pour reconstituer l'histoire de la Terre et cette théorie s'est opposée au XVIII^e et au XIX^e siècle au catastrophisme, qu'il fût irrationnel (interventions surnaturelles) ou rationnel (cataclysmes). Dans son acception extrême, l'actualisme constitue l'uniformitarisme, défendu par l'anglais Charles Lyell (1797-1875) : les phénomènes passés sont identiques aux phénomènes actuels, y compris dans leur intensité. Aujourd'hui, la géologie utilise l'actualisme comme principe d'étude, tout en reconnaissant la variabilité des phénomènes au cours de l'histoire de la Terre et la survenue de phénomènes catastrophiques.

Zoom sur...

Les crises biologiques dans l'histoire de la vie et la Terre

Une crise biologique est une période marquée à l'échelle du globe par la disparition de groupes entiers d'espèces. Cinq grandes crises biologiques correspondant à des extinctions de masse sont identifiées dans l'histoire.

Vers -445 Ma (millions d'années), à la fin de l'Ordovicien, pendant l'ère primaire, une crise majeure a touché des espèces marines et aurait entraîné la disparition de 85 % d'entre elles. La crise biologique datée de -374 Ma marque la séparation entre deux étages du

Dévonien, pendant l'ère primaire. Celle datée de -250 Ma constitue la limite entre le Permien, fin de l'ère primaire, et le Trias, début de l'ère secondaire. Elle est considérée comme la plus importante de l'histoire de la Terre : environ 95 % des espèces vivantes (dont les trilobites) auraient disparu. La crise datée de -200 Ma marque la limite entre le Trias et le Jurassique, pendant l'ère secondaire, et a affecté les milieux océaniques et continentaux. La crise biologique ayant eu lieu vers -66 Ma marque la limite entre le Crétacé, fin de l'ère secondaire, et le début de l'ère tertiaire. Elle est caractérisée par la disparition non seulement des dinosaures, mais aussi de nombreuses autres espèces, comme les ammonites.

Actuellement, de nombreux scientifiques considèrent que les disparitions d'espèces dues aux activités humaines sont suffisamment importantes pour constituer une sixième crise biologique.

 [Exercice n°4](#)

 [Exercice n°5](#)