

SVT	Thème 1B : A la recherche du passé géologique de notre planète	Term Spé SVT
Cours	<b>Chapitre 1 : Le temps et les roches</b>	ESTHER

Pour raconter une histoire, celle de la Terre ou plus simplement celle d'un paysage, il est nécessaire de connaître la succession des événements. Cependant, les phénomènes géologiques se déroulent à des échelles de temps très différentes de celles des vies humaines. Il est alors nécessaire de récolter des indices, de les organiser et si possible de les dater pour raconter une histoire en géologie.

**Problème général : Comment l'étude des roches permet-elle aux géologues d'établir une chronologie reconstituant l'histoire de la Terre ?**

## **I - La datation relative**

**Problème 1 : Comment étudier et utiliser les données sur l'âge relatif des structures géologiques ?**

La chronologie relative permet d'identifier des événements puis de les classer selon un ordre d'apparition. Pour cela, plusieurs principes sont utilisés. Voyons tout d'abord, les principes liés aux relations géométriques entre objets géologiques.

Les principes de datation relative liés aux relations géométriques sont :

- Le **principe de superposition** qui stipule que toute strate (couche de roches) est plus récente que celle qu'elle recouvre.
  - o *Ce principe s'applique principalement aux roches sédimentaires (empilement de strates) et aux roches volcaniques (empilement de coulées ou passage d'un pluton).*

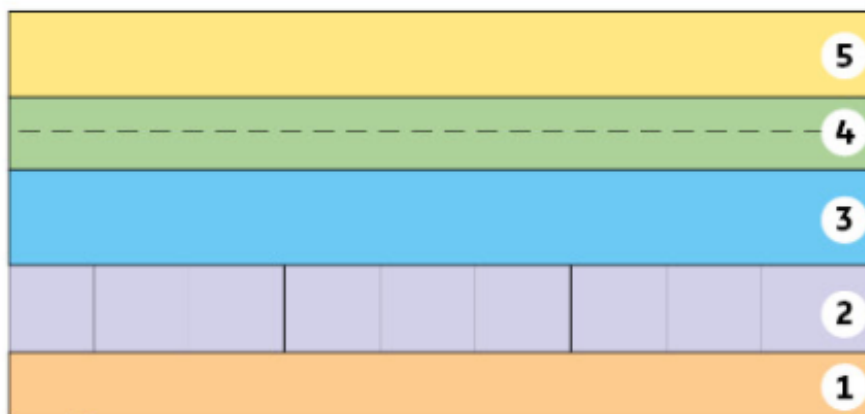


Schéma représentant le principe de superposition de couches de roches sédimentaires, de la plus ancienne n°1 à la plus récente n°5 – Source : Manuel Nathan SVT

- Le **principe de recoupement** stipule que tout événement qui recoupe ou en déforme un autre lui est postérieur.
  - o *Les événements peuvent être des intrusions magmatiques (comme le granite de Flamanville), des failles, des plissements*

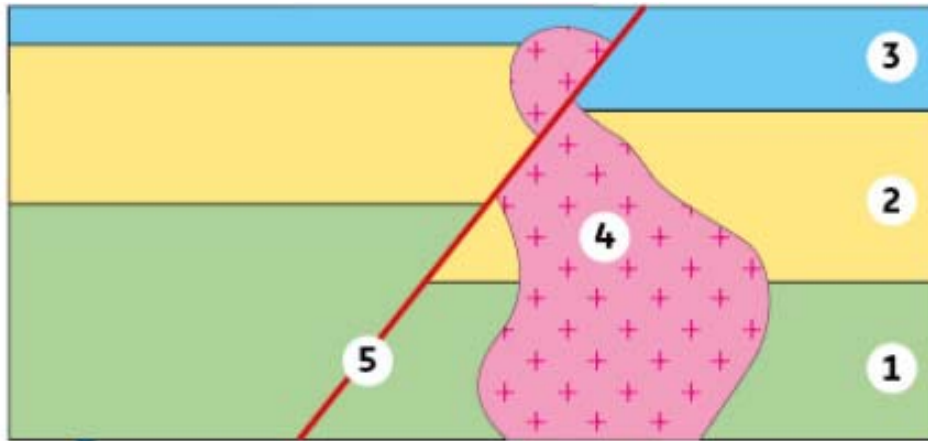


Schéma représentant le principe de recouvrement de couches de roches sédimentaires et d'événements géologiques, de la plus ancienne n°1 à la plus récente n°5 – Source : Manuel Nathan SVT

- Le **principe de continuité latérale** stipule que qu'une couche de roches (strate) présentent le même âge sur toute son étendue .

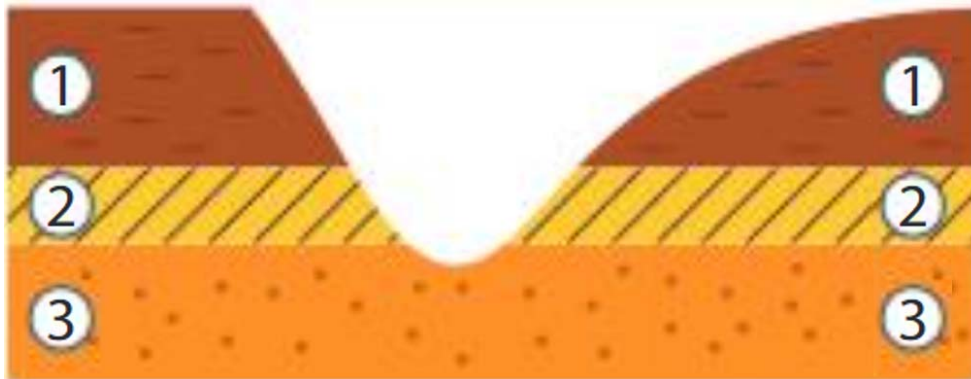


Schéma représentant le principe de continuité latérale des roches, de la plus ancienne n°3 à la plus récente n°1 – Source : Manuel Hachette SVT

- Le **principe d'inclusion** stipule que toute inclusion est plus ancienne que la structure qui l'entoure.
  - o Les inclusions peuvent être des intrusions magmatiques (comme le granite de Flamanville), visibles à l'échelle des paysages, des roches, des minéraux)
  - o Dans l'activité 1, vous avez observé des inclusions de cornéennes dans la granite

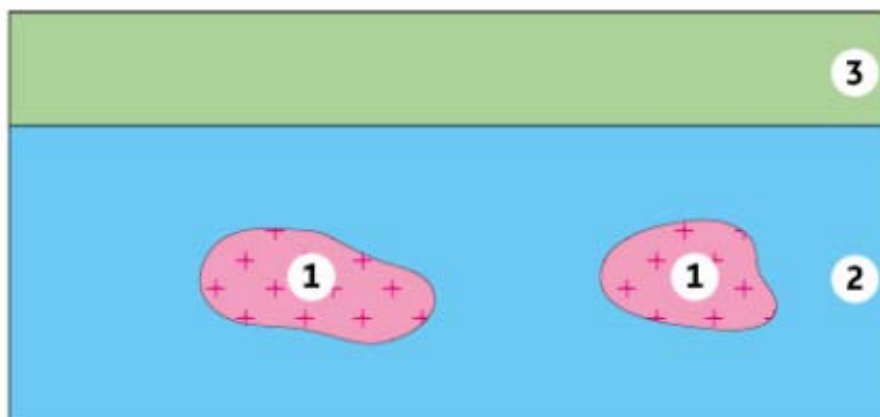


Schéma représentant le principe d'inclusion de roches, de la plus ancienne n°1 à la plus récente n°3 – Source : Manuel Nathan SVT

Attention, ces principes généralistes ne sont pas toujours observables ou applicables directement. Il faut prendre en compte le contexte géologique pour interpréter correctement les observations. Par exemple, une faille ou un pli importante peuvent mettre en place des strates anciennes par-dessus des strates récentes (le principe de superposition n'est alors plus respecté)

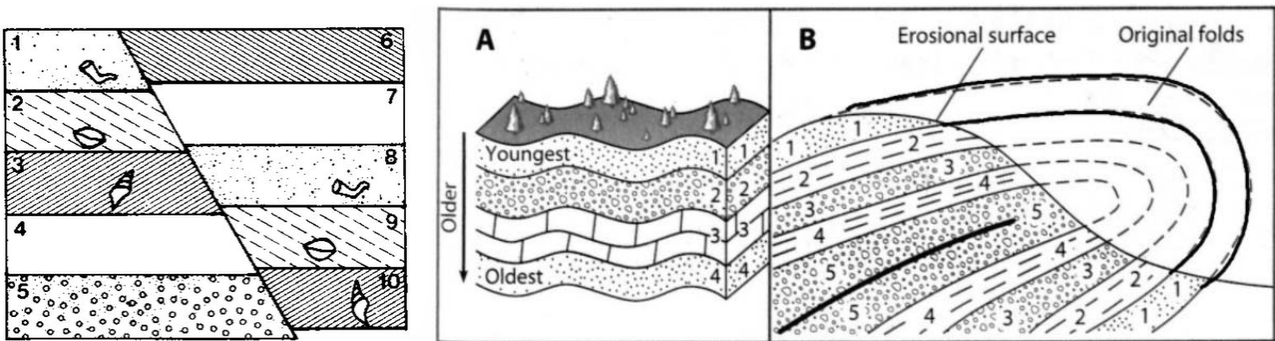


Schéma représentant des exceptions possibles au principe de superposition liés à des événements géologiques postérieurs à la formation des strates – Source : Geologic History Relative Dating

Les objets géologiques peuvent être étudiés à différentes échelles (paysage, affleurement, échantillon, organisation minérale) et à l'aide de différents techniques (sorties de terrains, observation macroscopique et microscopique de roches, étude de cartes géologiques).

Transition : En parallèle de la datation relative par superposition, inclusion et par recoupement, les scientifiques ont commencé, à la fin du 18<sup>e</sup> siècle, à utiliser les fossiles pour dater les roches les unes par rapport aux autres.

### ➔ Parcours ELEA 1 – La datation relative – Activité 2 : Les fossiles, outils de datation relative

La datation relative peut être couplée avec un support complémentaire : les fossiles. En effet, dans les roches sédimentaires, certains êtres vivants ont pu être fossilisés. Parmi ces fossiles, ceux qui répondent à des critères précis peuvent être utilisés en datation relative, ce sont les fossiles stratigraphiques.

Les **fossiles stratigraphiques** répondent aux règles suivantes :

- Ils doivent être présents en **grande quantité**
- Ils doivent avoir eu une **grande répartition géographique** océanique ou intercontinentale
- Ils doivent avoir eu une **courte existence géologique** (soit en évoluant vers de nouvelles espèces soit en disparaissant)
  - o Attention : la courte existence géologique correspond à quelques millions d'années !

Remarque : Les groupes de trilobites, d'ammonites ou de Foraminifères constituent quelques exemples d'excellents fossiles stratigraphiques marins.

Ces fossiles stratigraphiques sont à l'origine d'un 5<sup>ème</sup> principe de datation relative. Le **principe d'identité paléontologique** stipule que deux couches possédant les mêmes associations de fossiles stratigraphiques sont de même âge.

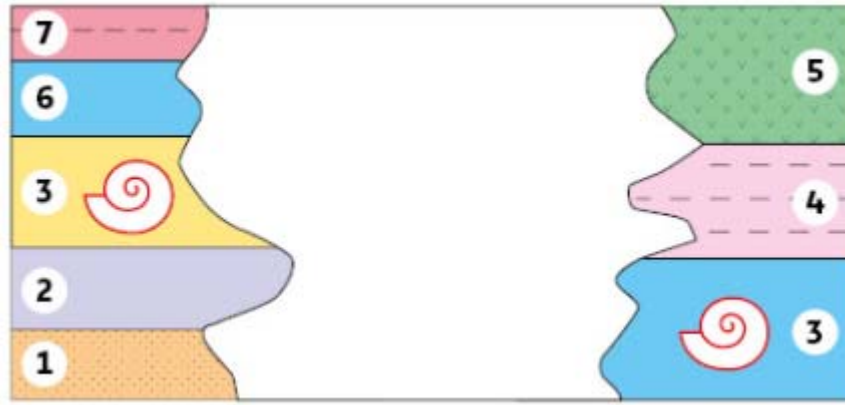


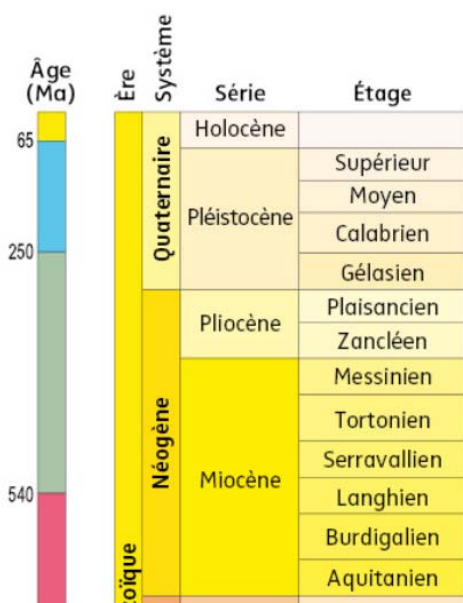
Schéma représentant le principe d'identité paléontologique – Source : Manuel Nathan SVT

Transition : A partir de la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, les géologues utilisent les données recueillies à travers le monde, notamment sur les fossiles stratigraphiques pour découper les temps géologiques en étages.

➔ Parcours ELEA 1 – La datation relative – Activité 3 : Les fossiles, outils de découpage du temps

L'étude des fossiles stratigraphiques a permis de mettre en évidence de profonds changements dans la faune et la flore (disparition brutale d'espèces et apparition de nouvelles espèces) de façon répétée à l'échelle des temps géologiques. Ces bouleversements majeurs de la diversité de la vie sur Terre ont permis de définir des ères géologiques. Ces ères sont elles-mêmes subdivisées en périodes plus courtes (les périodes puis les étages).

Un étage correspond à un assemblage de fossiles stratigraphiques caractéristiques (on parle aussi de stratotype). Afin de bien identifier les limites entre 2 étages, les géologues ont identifiés et référencés des affleurements présentant les caractéristiques d'une limite entre deux étages. On parle alors de stratotype de limite. L'apparition et/ou la disparition de certains fossiles est utilisée pour délimiter cette transition.



La superposition de ces intervalles de temps, limités par des coupures d'ordres différents (ères, périodes, étages) aboutit à la mise en place d'une échelle chronostratigraphique.

Schéma représentant l'échelle chronostratigraphique – Source : Manuel Nathan SVT

Transition : Les données de datation relative ont permis d'organiser les objets géologiques les uns après les autres mais n'ont pas permis de définir d'âge absolu des structures étudiées. De nouvelles techniques de datation dite absolue doivent alors être utilisées.

[https://www.youtube.com/watch?v=EadTLGMu3LI&ab\\_channel=BozemanScience](https://www.youtube.com/watch?v=EadTLGMu3LI&ab_channel=BozemanScience)

[https://www.youtube.com/watch?v=M2Ex5DIjtfU&ab\\_channel=LondonJenks](https://www.youtube.com/watch?v=M2Ex5DIjtfU&ab_channel=LondonJenks)

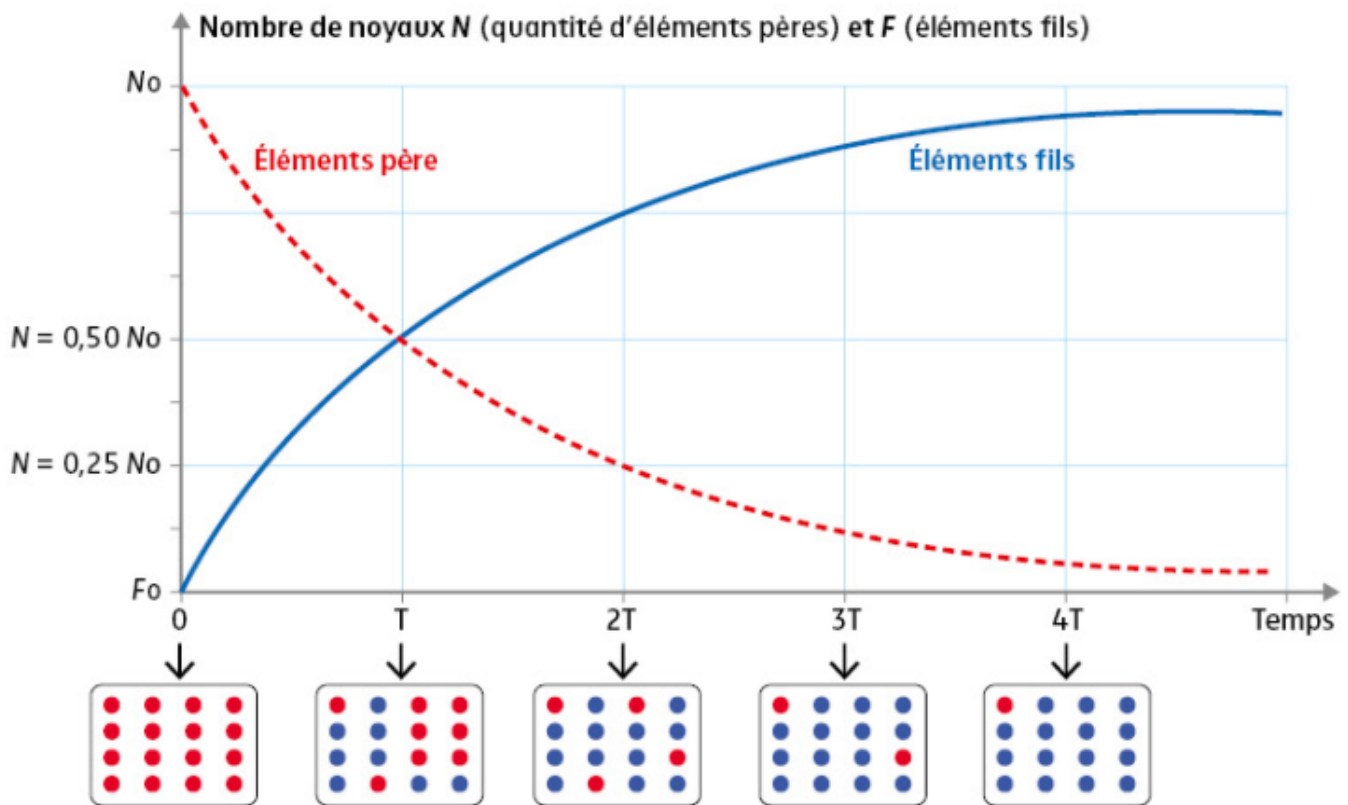
## II – La datation absolue

### A – Le principe de la datation absolue

#### → Parcours ELEA 2 – La datation absolue – Activité 1

Tout système (être vivant, fossile, roche...) contient, lors de sa formation, des éléments radioactifs qui se désintègreront au cours du temps, c'est-à-dire qui se transformeront en d'autres éléments avec émission de rayonnements.

On appelle « *élément père* » l'élément radioactif qui est instable et se désintègre en un « *élément fils* » radiogénique, stable.



#### Graphique représentant l'évolution des quantités d'isotopes pères et fils au cours du temps

Les méthodes de datation absolue reposent donc sur la décroissance radioactive d'isotopes de certains éléments chimiques. La désintégration des isotopes radioactifs est dépendante du temps et est décrite par la loi de désintégration :

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

Avec :

- $N_t$  = Nombre d'éléments pères radioactifs au moment de la mesure
- $N_0$  = Nombre initial d'éléments pères radioactifs au temps  $t_0$
- $\lambda$  = constante de désintégration (probabilité de désintégration par unité de temps propre à chaque catégorie d'isotope), exprime en  $\text{an}^{-1}$

La désintégration de l'élément père se fait selon une fonction exponentielle du temps. Cela signifie que la proportion d'atomes radioactifs qui se désintègre par unité de temps est une constante appelée constante de désintégration radioactive ( $\lambda$ ) déterminée en laboratoire par les physiciens. Connaissant cette valeur, l'âge ( $t$ ) d'un échantillon géologique peut être calculé grâce à la mesure du nombre d'éléments pères et/ou fils. Cette mesure se fait grâce à l'utilisation d'un spectromètre de masse.



### Remarque : la période de demi-vie d'un élément radioactif

Les physiciens ont défini la période (T) comme le temps nécessaire à la désintégration de la moitié des éléments radioactifs présents.

Lorsque la moitié des éléments père ont été désintégrés, on a donc :

$$N_T = N_0/2 = N_0 \cdot e^{-\lambda T}$$

$$e^{-\lambda T} = 1/2$$

$$e^{\lambda T} = 2$$

$$\lambda T = \ln(2)$$

On en déduit donc que :  $T = \ln(2) / \lambda$

### B – Analyse d'un échantillon et détermination de son âge absolu

Pour bien comprendre la datation absolue d'une roche, il faut comprendre ce que l'on mesure, ce que l'on date et comment on le date.

Les mesures s'effectuent grâce à un spectromètre de masse qui va mesurer dans différents minéraux d'une roche la quantité d'éléments père et/ou fils du radiochronomètre choisi.

Un minéral étudié est appelé « système » et on peut montrer en laboratoire que le « système » se ferme dans certaines conditions. Lorsque le système se ferme, il cesse d'échanger des éléments radioactifs avec l'extérieur. La fermeture du système se produit le plus souvent lors d'une diminution de température (refroidissement d'un magma, refroidissement d'une roche métamorphique passée en subduction) ou lors de la cristallisation du minéral.

### C'est la fermeture du système que l'on date avec la datation absolue.

**Remarque :** si on date des minéraux d'une roche qui a subi du métamorphisme, on ne date donc pas forcément l'âge de roche mais plutôt un âge correspondant à l'évènement provoquant le métamorphisme.

Il faut également garder en tête que selon le type de roche, et selon son âge on ne peut pas utiliser n'importe quel radiochronomètre. Le tableau ci-dessous présente quelques radiochronomètres géologiques et leurs propriétés :

Isotope père radioactif et isotope fils radiogénique	Constante de désintégration $\lambda$ (an <sup>-1</sup> ) Et Demi-vie T (ans)	Âge mesurés	Matériau/roche que l'on peut dater	Facteur contrôlant la fermeture du système	Méthodologie	
					Difficulté méthodologique	Technique de résolution Détermination de l'âge
<sup>14</sup> C/ <sup>13</sup> C	1,21.10 <sup>-4</sup> 5,73.10 <sup>3</sup>	10-50000 ans	Matière organique (contenant du carbone)	Mort de l'être vivant	Le rapport <sup>14</sup> C/ <sup>13</sup> C atmosphérique a changé au cours du temps	Utilisation d'une courbe de référence réalisée à partir d'objets d'âges connus (ex : grâce à la dendrochronologie ; objets historiques)
<sup>87</sup> Rb/ <sup>87</sup> Sr	1,387.10 <sup>-11</sup> 4,88.10 <sup>10</sup>	> 100 Ma	Roches magmatiques et métamorphiques	Diminution de température	On ne connaît pas N <sub>0</sub> , la quantité de <sup>87</sup> Rb dans l'échantillon au moment de la fermeture du système	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Réalisation d'une <b>droite isochrone</b> à partir de plusieurs échantillons d'une même roche</li> <li>▪ Utilisation de rapports isotopiques</li> </ul>
<sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb <sup>235</sup> U/ <sup>207</sup> Pb	1,55.10 <sup>-10</sup> 4,47.10 <sup>9</sup>	> 25 Ma	Roches contenant des minéraux appelés « zircons »		Utilisation simultanée de deux radiochronomètres + Détermination de l'âge par <b>une courbe Concordia</b> et si ouverture du système par une droite <b>Discordia</b>	

## C – Le radiochronomètre Rubidium/Strontium

### → Parcours ELEA 2 – La datation absolue – Activité 2

Certains minéraux de roches magmatiques et métamorphiques intègrent quelques atomes de Rubidium.

Le rubidium  $^{87}\text{Rb}$  est un élément radioactif qui se désintègre en strontium  $^{87}\text{Sr}$  (constante de désintégration :  $\lambda = 1,387 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$  – elle n'est pas à connaître par cœur !).

Ce radiochronomètre permet de dater des minéraux/roches très anciens. Il pose néanmoins un problème méthodologique : la quantité d'élément père  $N_0$  (ici  $^{87}\text{Rb}_0$ ) est inconnue.

On utilise une version plus développée de la formule :  $N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$

Voici la formule utilisée pour le radiochronomètre Rb/Sr :

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

Cette formule s'apparente à l'équation du droite :  $y = ax + b$

$$y = \frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$$

$$x = \frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}$$

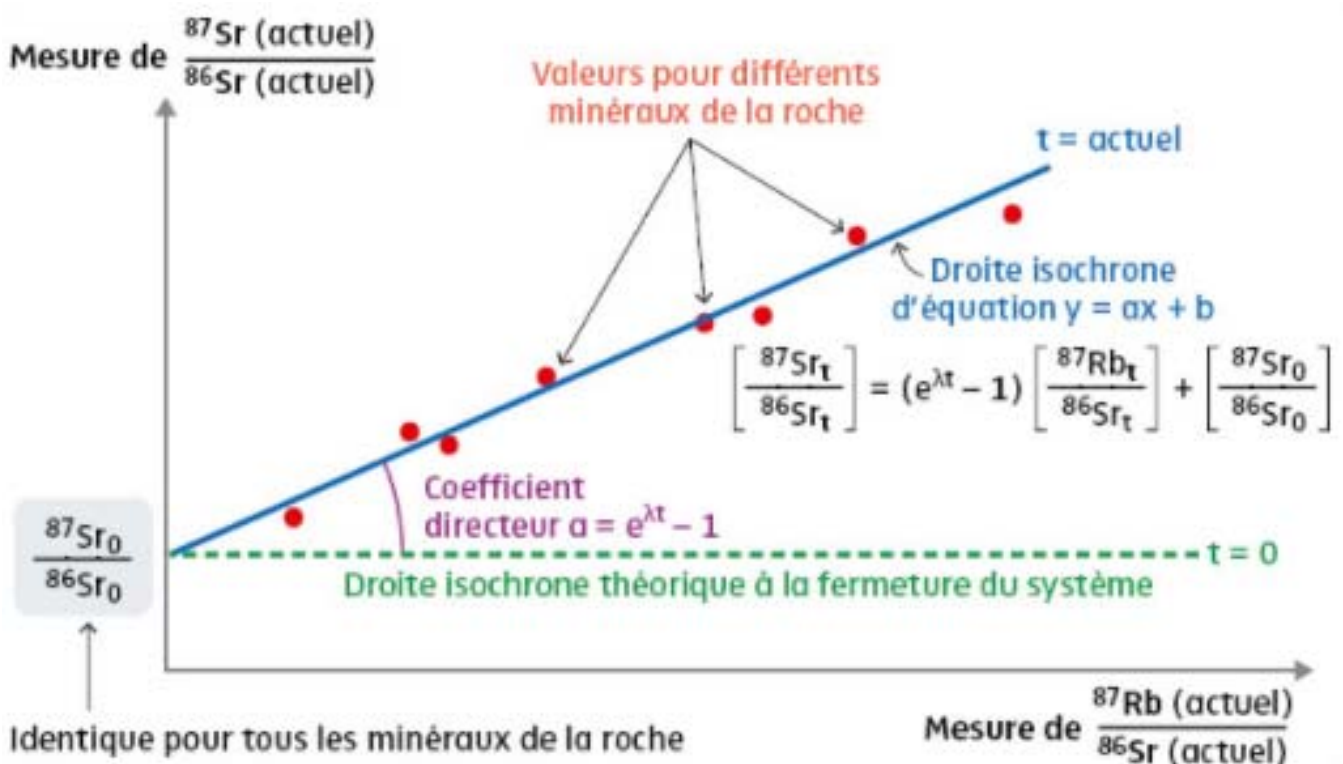
$$a = (e^{\lambda t} - 1)$$

$$b = \frac{^{87}\text{Sr}_0}{^{86}\text{Sr}_0}$$

On passe donc par une résolution graphique pour trouver l'âge d'une roche à partir des mesures des rapports isotopiques de Rb/Sr **de plusieurs minéraux**.

On obtient une droite, nommée **droite isochrone** dont la pente est :  $a = (e^{\lambda t} - 1)$ . Cette pente est d'autant plus forte que l'âge de la roche est grand.

Connaissant la pente on peut calculer :  $t = \frac{\ln(a+1)}{\lambda}$



Cette démonstration n'est pas à connaître mais peut t'aider à comprendre la méthode de calcul

### Démonstration mathématique de l'équation utilisée pour le couple $^{87}\text{Rb}/^{87}\text{Sr}$

On commence avec la loi de désintégration radioactive :  $N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$

On sait que :  $N_0 = N_t + N_f$

Donc :  $N_t = (N_t + N_f) \cdot e^{-\lambda t}$

Et :  $N_t \cdot e^{\lambda t} = N_t + N_f$

On factorise et on obtient :  $N_t \cdot (e^{\lambda t} - 1) = N_f$

Ou :  $N_f = N_t \cdot (e^{\lambda t} - 1)$

Pour le couple Rb/Sr, on a donc :  $^{87}\text{Sr} = ^{87}\text{Rb} \cdot (e^{\lambda t} - 1)$

Mais les minéraux contiennent souvent déjà du  $^{87}\text{Sr}$ , on a donc :  $^{87}\text{Sr} = ^{87}\text{Rb} \cdot (e^{\lambda t} - 1) + ^{87}\text{Sr}_0$

On divise l'ensemble par la quantité de  $^{86}\text{Sr}$ , un isotope stable, et on obtient :

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

Remarque : dans certains cas (calculatrice non autorisée au bac), tu peux faire une approximation de l'âge avec le calcul  $t = a / \lambda$  ; il faut cependant éviter car cette formule entraîne une très grande approximation.

## D – Le radiochronomètre Uranium/Plomb

### → Parcours ELEA 2 – La datation absolue – Activité 3

Le radiochronomètre **U/Pb** utilise  $^{238}\text{U}$  qui se désintègre en  $^{206}\text{Pb}$  et  $^{235}\text{U}$  qui se désintègre en  $^{207}\text{Pb}$ .

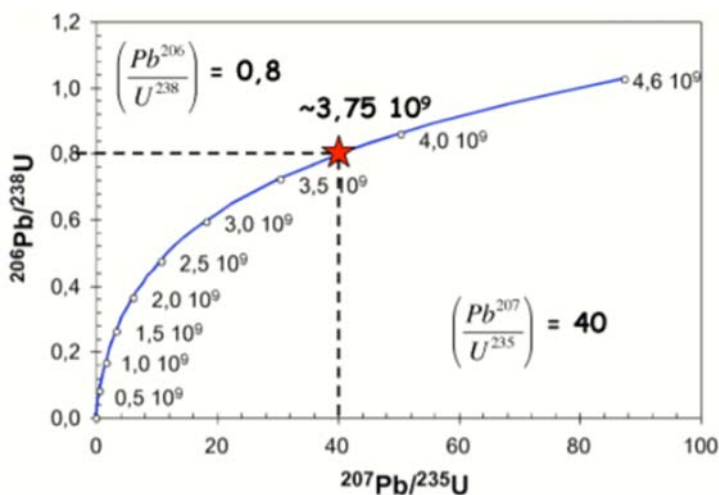
Ce radiochronomètre permet notamment de dater des minéraux de zircon qui ont plusieurs propriétés intéressantes :

- Ils intègrent quelques atomes d'uranium dans leur réseau cristallin ;
- Ils sont extrêmement résistants et donc permettent de dater des événements et objets très anciens ;

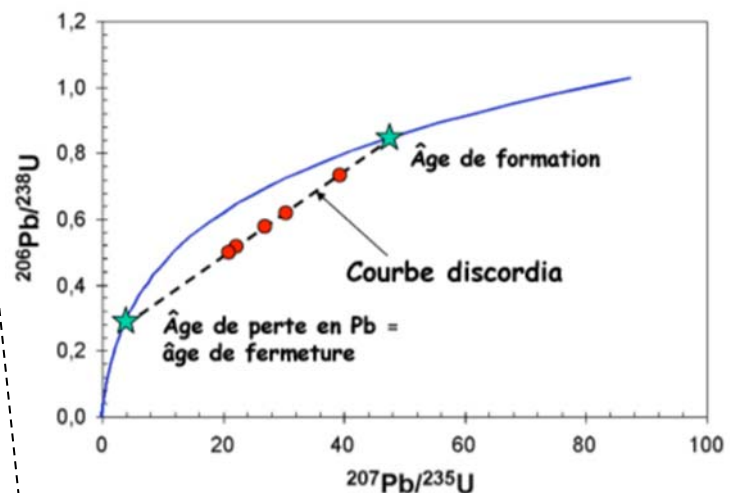
L'utilisation simultanée des deux couples ( $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$  et  $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$ ) permet une résolution graphique pour déterminer l'âge du minéral.

Cette résolution graphique, un peu particulière, implique une courbe nommée Concordia sur laquelle sont positionnés des âges. Il y a alors deux possibilités :

- **CAS 1** : Les points correspondant aux minéraux sont positionnés sur la courbe **Concordia** et déterminent l'âge de la roche ;
- **CAS 2** : Les points ne sont pas tous positionnés sur la Concordia ; dans ce cas ils s'alignent sur une droite nommée **Discordia** qui recoupe la Concordia en deux points/deux âges, l'âge le plus ancien correspond à l'âge de formation de la roche, l'âge le plus récent correspond à un âge de perturbation du système (métamorphisme, altération de la roche, etc)

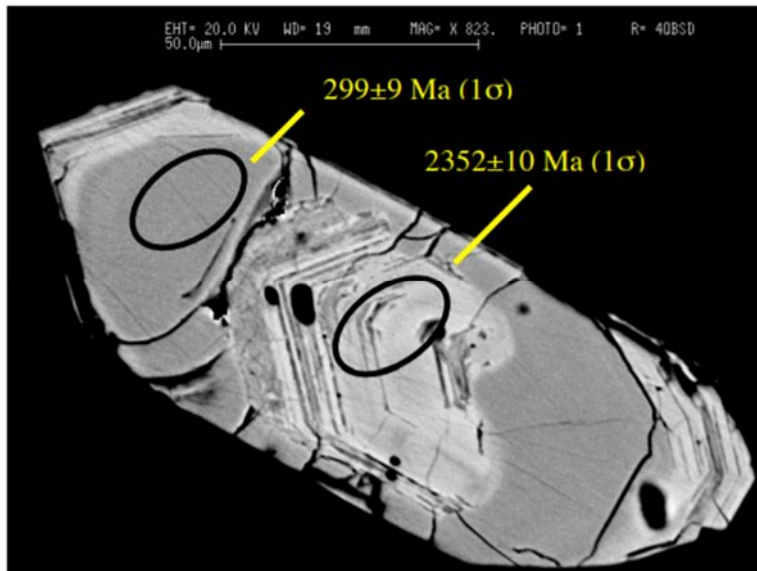


**Cas 1 – Points sur la Concordia**



**Cas 2 – Points s'alignant sur une droite Discordia**





**Photographie** – Zircon du Massif Central présentant une zonation. Le cœur a été analysé et daté à 2.35 Ga et la bordure formée lors d'un évènement magmatique plus récent a été datée à 299 Ma. Source : Bruguier et al.

### Conclusion

A l'aide des différentes méthodes de datations, les géologues peuvent tenter de comprendre les évènements géologiques et leur chronologie.

La datation n'est, à elle seule, pas suffisante pour raconter l'histoire géologique d'une région. Il convient d'analyser les structures tectoniques, les indices métamorphiques, magmatiques, sédimentaires, ou encore paléontologiques.

C'est donc un travail collaboratif et pluridisciplinaire, un travail long et progressif, qui permet de raconter l'histoire géologique d'une région.

Remarque: les cartes géologiques, et notamment la carte géologique de France au 1/10<sup>6</sup>ème est une représentation qui fait la synthèse de tous ces travaux.

*Dans le chapitre 2, on verra comment on peut analyser différents indices géologiques qui montrent le passé mouvementé de notre territoire.*

### Les points clés du chapitre à maîtriser



- Savoir utiliser les relations géométriques pour **établir une succession chronologique** d'évènements à partir **d'observations à différentes échelles** et sur différents objets (lames minces observées au microscope, affleurements, cartes géologiques).
- Etudier des associations **fossiles** différentes dans une formation géologique et comprendre comment est construite une **coupe stratigraphique**
- Présenter les principes de la **datation relative**
- Présenter les principes de bases de la **désintégration radioactive** et leur exploitation en géologie ; présenter les caractéristiques de la datation absolue
- Identifier les caractéristiques de quelques **chronomètres** reposant sur la **décroissance radioactive**
- Utiliser les apports complémentaires de la chronologie relative et de la chronologie absolue pour reconstituer une histoire géologique

### Compétences travaillées à maîtriser

- Utiliser un **microscope polarisant** et réaliser une photographie légendée au microscope
- Observer les **auréoles** liées à la désintégration de l'uranium dans les zircons
- Extraire des informations à partir de **cartes géologiques**
- Déterminer **l'âge absolu** d'une roche à partir de calculs (tableur ou calculatrice) ;
- Tracer une **droite isochrone** pour déterminer l'âge d'une roche

SVT	Thème 1B : A la recherche du passé géologique de notre planète	Term Spé SVT
SB	<b>Chapitre 1 : Le temps et les roches</b>	ESTHER

