… sur LA DATATION ABSOLUE

La datation absolue, et plus précisément la radiochronologie, vise à estimer l'âge d'évènements géologiques. Elle est basée sur la radioactivité naturelle.
La radiochronologie utilise 2 catégories d'atomes radioactifs.

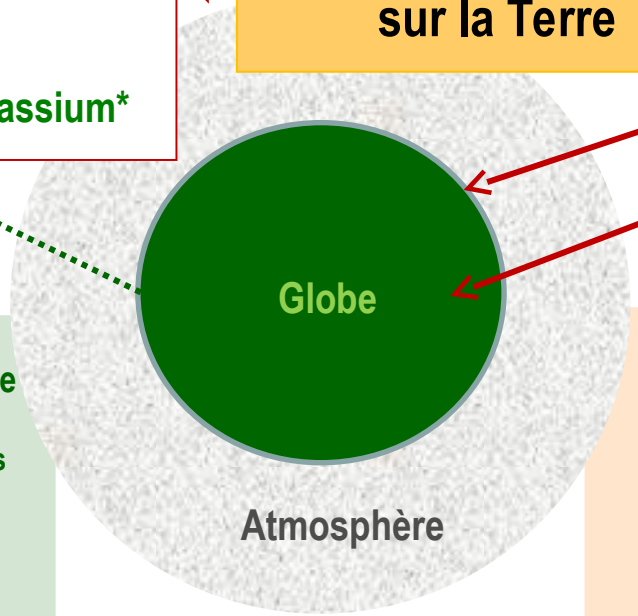
Il existe 2 sources de radioactivité naturelle sur la Terre

Atomes radioactifs <u>constitutifs</u> du Globe terrestre et retrouvés dans les minéraux des roches

Uranium*, Thorium*, Potassium*

Atomes radioactifs <u>induits</u> par le bombardement permanent de rayons cosmiques

Carbone*, Béryllium*,



Formation du Globe terrestre

Diversité d'atomes dont certains sont radioactifs

^{238}U et ^{235}U (Uranium*)
^{232}Th (Thorium*)
^{40}K (Potassium*)

Rayons cosmiques

- **Dans l'atmosphère**

(Azote) N $\longrightarrow$ ^{14}C (Carbone*)

(Oxygène et Azote) O et N $\longrightarrow$ ^{10}Be (Béryllium*)

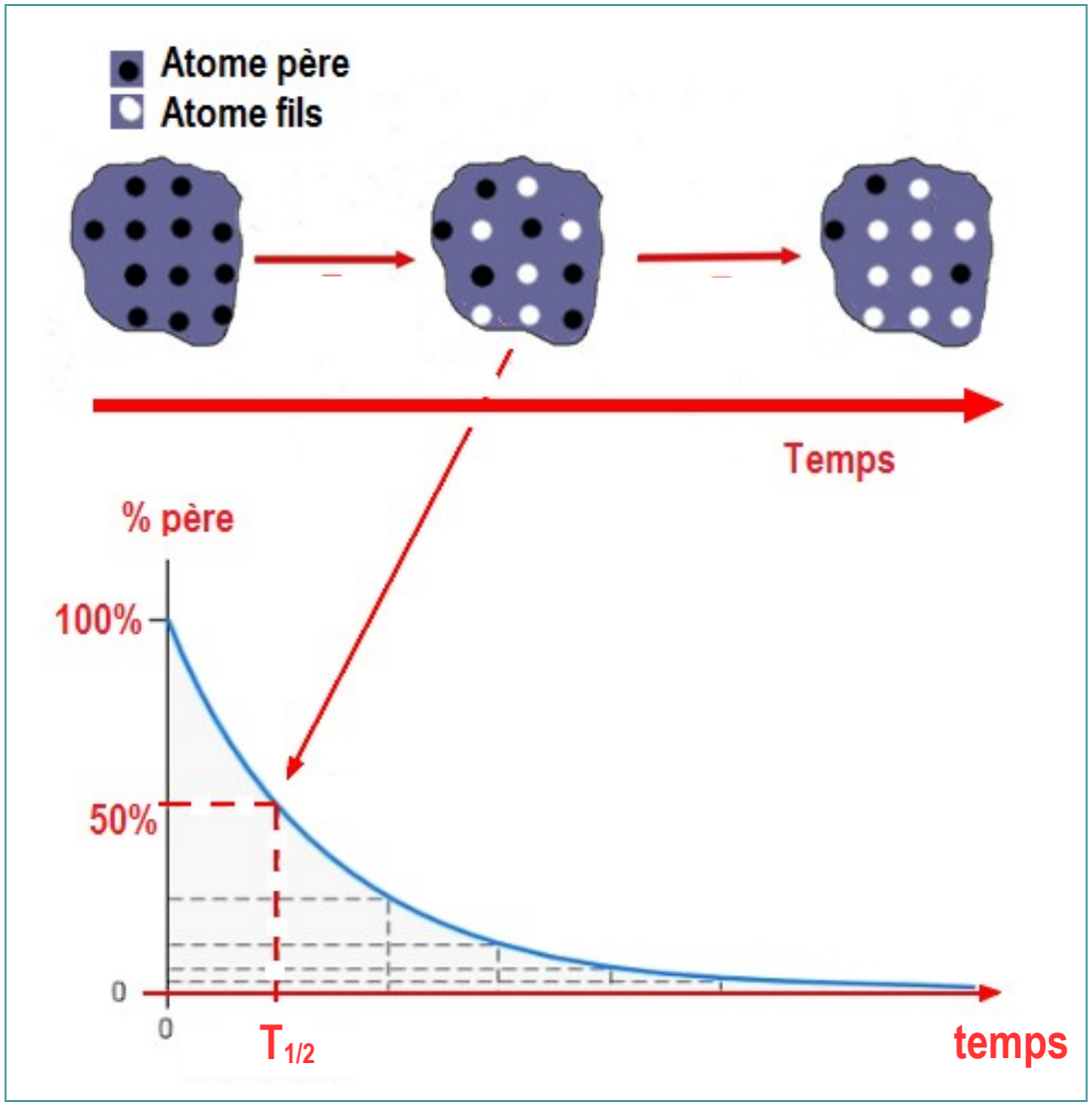
- **En pénétrant les roches sur quelques mètres**

(Silicium et Oxygène du quartz) Si et O $\longrightarrow$ ^{10}Be (Béryllium*)

LA DATATION ABSOLUE : Principe de la méthode

Pour en savoir plus …

La méthode de datation la plus utilisée est la radiochronologie basée sur la propriété de <u>désintégration naturelle</u> des atomes radioactifs.



Un atome radioactif père se désintègre spontanément en un atome fils.

La proportion d'atome radioactif qui se désintègre par unité de temps est <u>constante</u> pour un atome donné. Elle est donc une horloge potentielle pour mesurer des durées qui peuvent être très longues (jusqu'au milliard d'années !).

<u>Ceci s'applique à un système clos</u>, c'est-à-dire, qui reste isolé du milieu extérieur et dans lequel la quantité d'atomes père qui va se désintégrer est fixée à un instant t qui est l'évènement daté (ex : la cristallisation d'un granite). En mesurant le nombre d'atomes père et fils restant dans l'échantillon à dater, on peut alors calculer l'âge de la clôture du système (« déclenchement du chronomètre »).

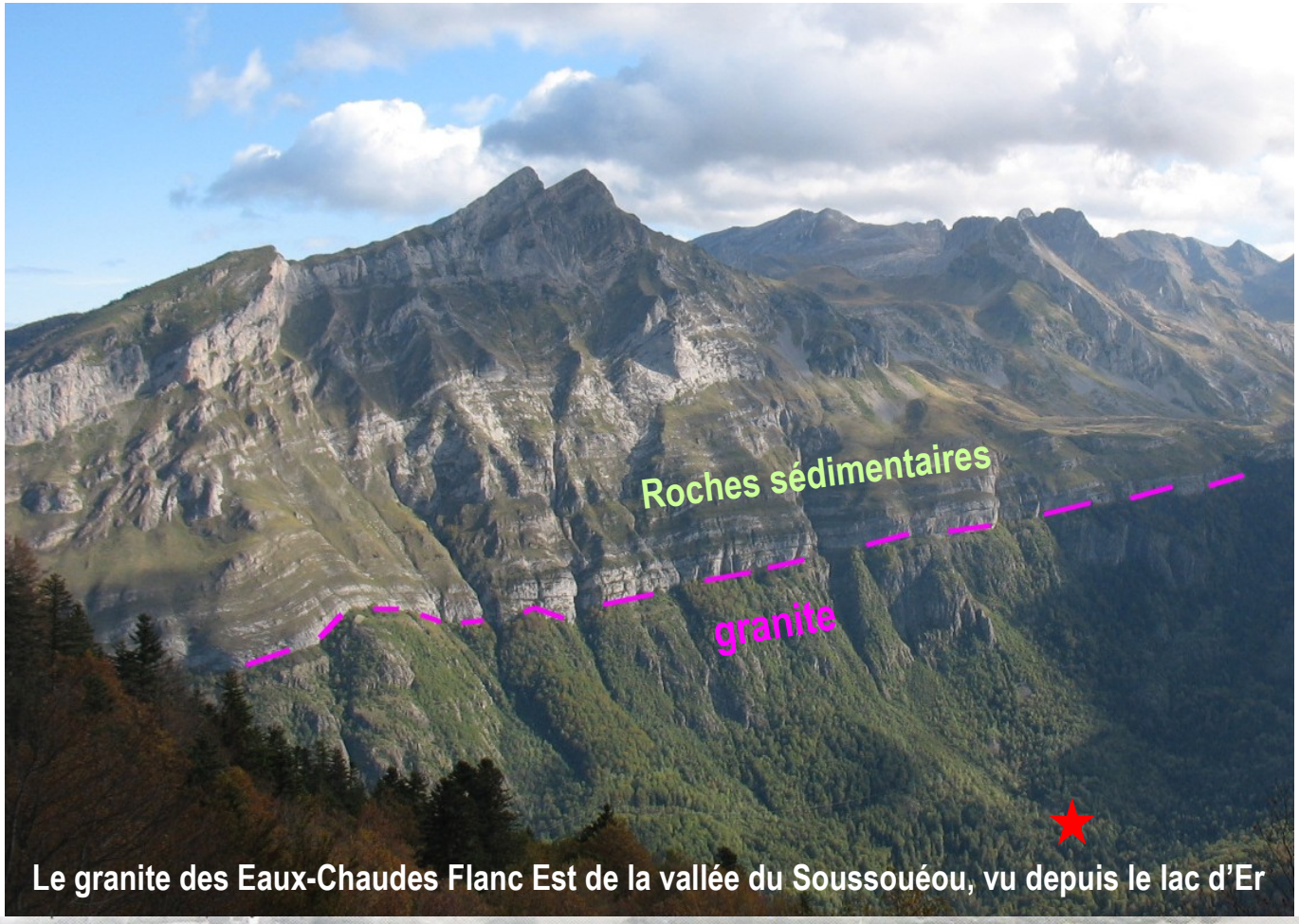
La <u>demie vie $T_{1/2}$</u>, est le temps nécessaire pour que la moitié des atomes pères radioactifs se transforment en atomes fils.

Divers radiochronomètres (couples d'atomes) sont utilisés par les géologues, leur usage dépend de la nature et de l'âge présumé de l'objet géologique à dater.

Pour en savoir plus …

GéolVal

Exemple de datation radiochronologique par des atomes radioactifs constitutifs des minéraux des roches étudiées : Le granite des Eaux – Chaudes - *Excursion du 15 / 05 / 2004*

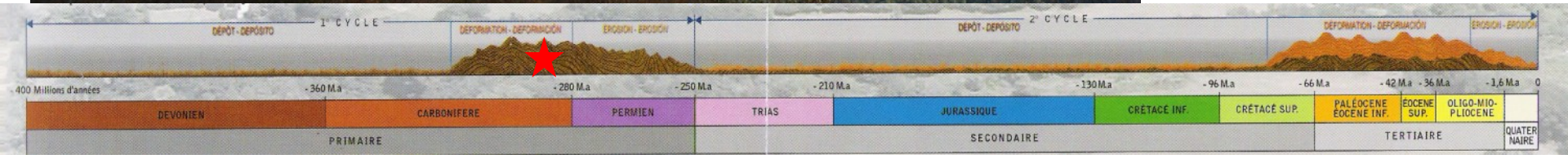


Le granite des Eaux-Chaudes Flanc Est de la vallée du Soussouéou, vu depuis le lac d'Er

★ **Un échantillon de granite prélevé en rive gauche du Soussouéou a été daté par radiochronologie (méthode U-Pb sur zircon)**

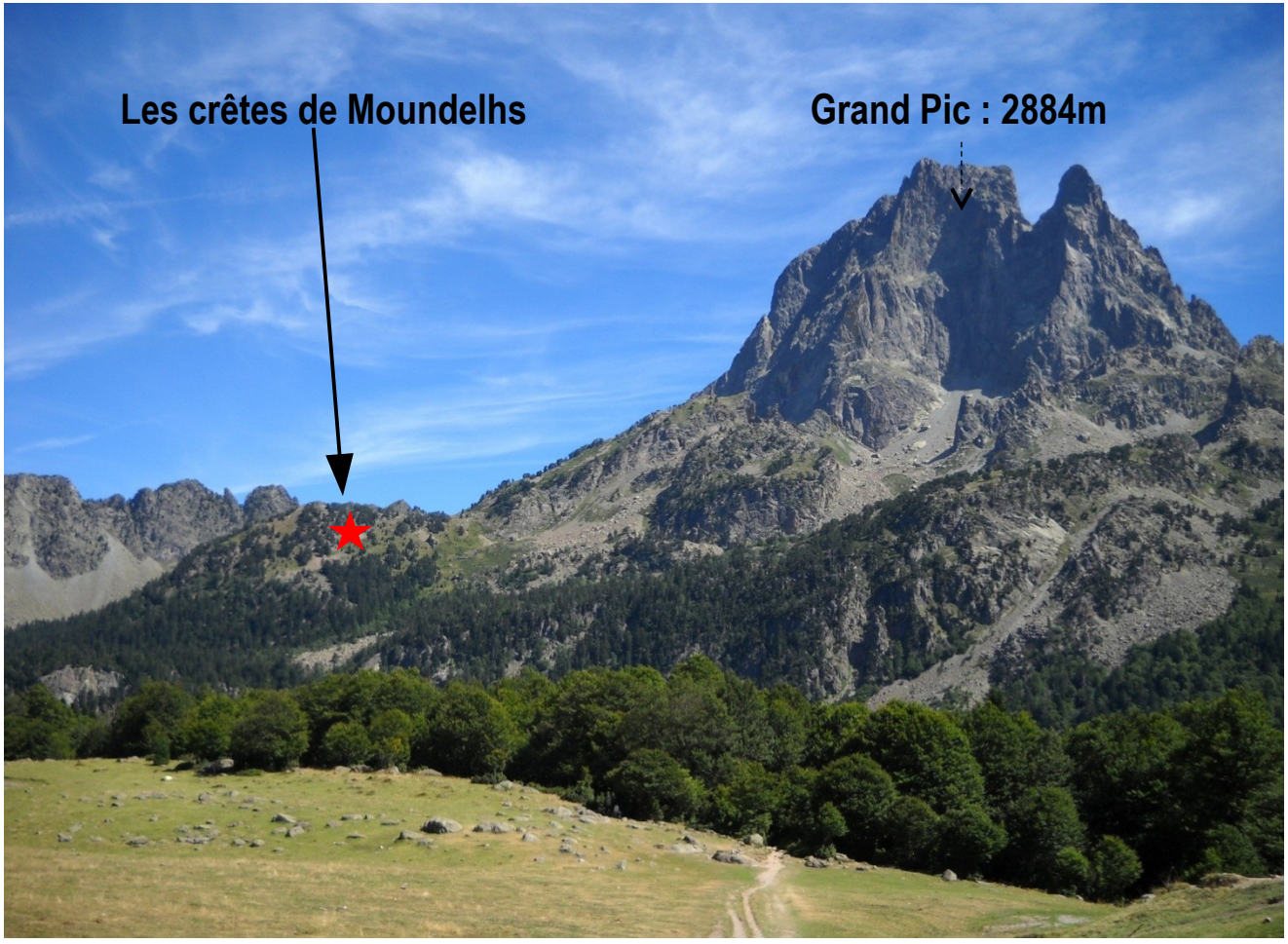
Âge estimé : 301,2 ± 8,7 millions d'années

On obtient ici une estimation chiffrée de l'âge de la cristallisation du granite (=fermeture du système, début du chronomètre)



GéolVal

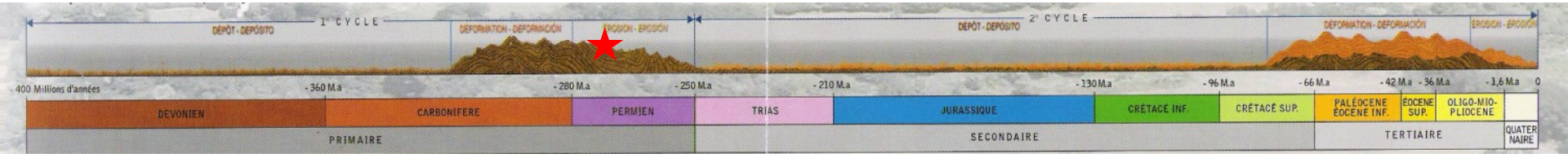
Exemple de datation radiochronologique par des atomes radioactifs constitutifs des minéraux des roches étudiées : Le volcanisme de l'Ossau - *Excursion du 28 / 08 / 2010*



Deux roches volcaniques ont été datées par radio - chronologie (méthode U-Pb sur zircon)

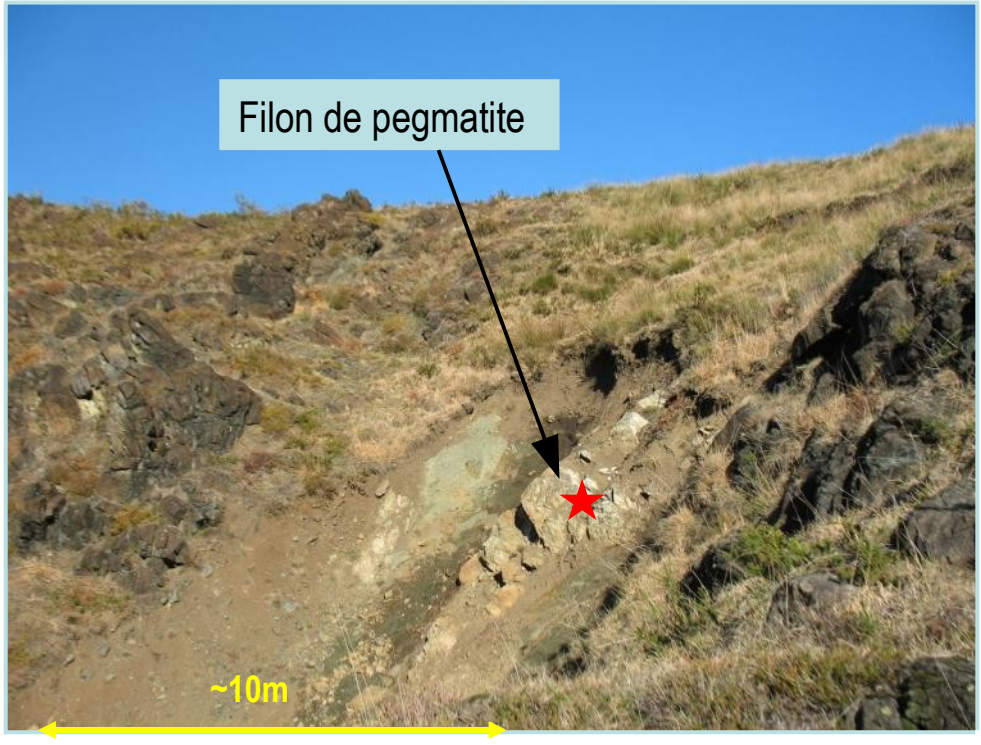
- **Une rhyolite prélevée au sud du lac de Bious datée à**
  278 ± 5 millions d'années
- **Une andésite provenant des crêtes de Moundelhs datée à**
  272 ± 3 millions d'années

On obtient ici une estimation chiffrée de l'âge de mise en place des roches volcaniques de l'Ossau (=fermeture du système, début du chronomètre)



GéolVal

Exemple de datation radiochronologique par des atomes radioactifs constitutifs des minéraux des roches étudiées : Les filons de pegmatites dans les lherzolites du col d'Urdach - *Excursion du 06 / 02 / 2011*

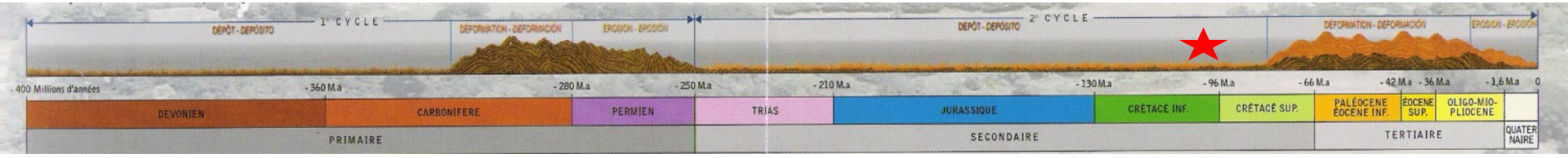


Un échantillon de pegmatite contenant des micas blancs renfermant des zircons a été daté par la méthode U/Pb sur <u>zircon</u> :

-101 millions d'années

Pegmatite à mica blanc contenant des cristaux de zircon.

On obtient ainsi une estimation chiffrée de l'âge de la formation des filons, et même, selon certains auteurs, l'âge de la mise en place des lherzolites.



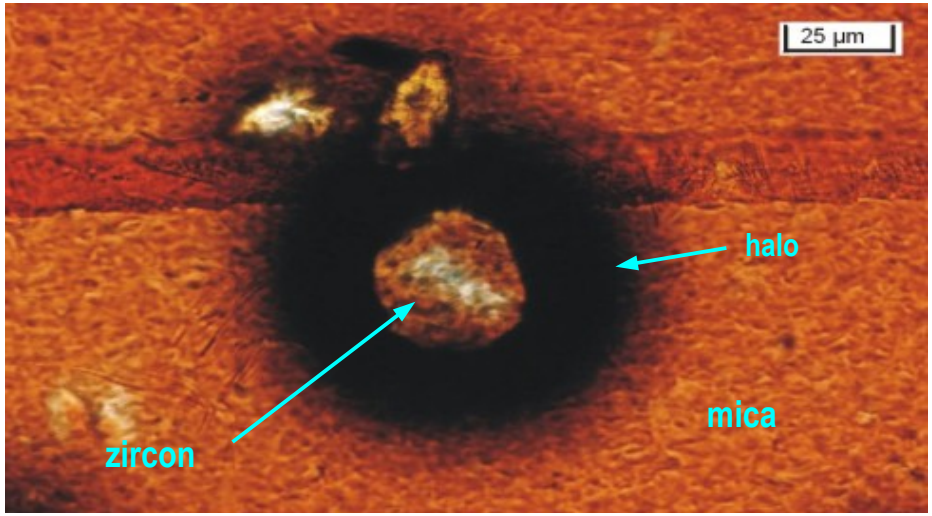
Pour en savoir plus …

Pour ces exemples, la détermination de l'âge est réalisée en utilisant le couple radioactif U/Pb contenu dans les zircons que renferme la roche étudiée.

Les zircons sont des minéraux constitués de silicate de zirconium ($Zr[SiO_4]$) qui cristallisent en même temps que les autres minéraux de la roche et qui contiennent souvent des traces d'U radioactif. Ce sont de plus des minéraux très résistants à l'altération.

Ils sont donc très utiles en datation absolue.

Mise en évidence de la radioactivité dans un cristal de zircon inclus dans un mica.



Lors de la cristallisation du zircon, de l'uranium se substitue fréquemment à du zirconium.

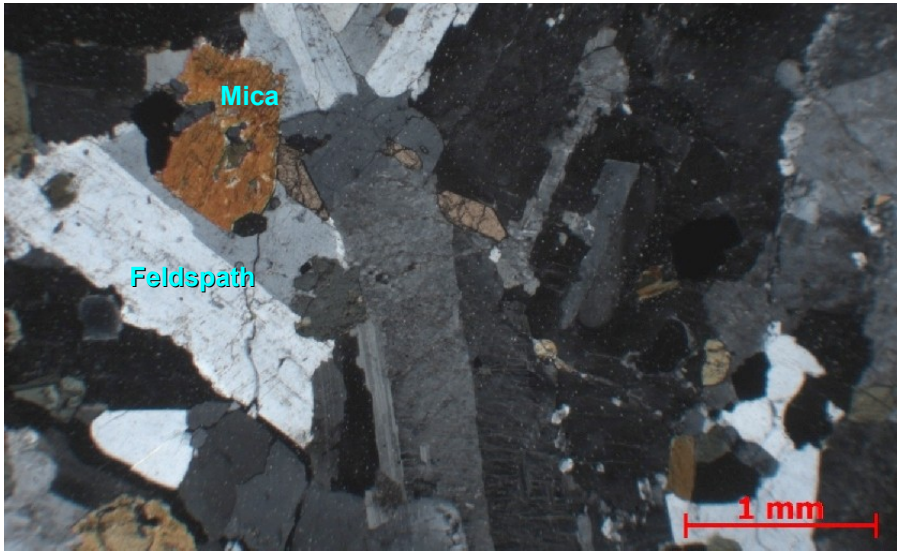
La désintégration uranium → plomb produit des rayons alpha (énergie) qui désorganisent le réseau cristallin du mica dans lequel se trouve le zircon. Le halo noir entourant le cristal de zircon correspond à la zone de désorganisation du cristal.

D'autres minéraux peuvent contenir d'autres éléments radioactif (ex : ^{40}K dans feldspath, ^{87}Rb dans micas). En fonction de la composition de la roche, on peut utiliser différents chronomètres (couples radioactifs) qui donneront l'âge de cristallisation du minéral.

Quelques exemples de couples radioactifs utilisés en géologie pour dater la formation des roches

Atome Père	Atome Fils	Demie vie
^{87} Rubidium	^{87} Strontium	4,7 milliards d'années
^{238} Uranium	^{206} Plomb	4,5 milliards d'années
^{40} Potassium	^{40} Argon	1,3 milliards d'années

Les minéraux d'un granite peuvent contenir des traces de divers éléments radioactifs utiles pour la datation.



https://lithotheque.ens-lyon.fr/Lithotheque/photos_mic/5.5.1.1.3_LP3_moy.jpg

Exemple de datation radiochronologie par des atomes radioactifs induits contenus dans les restes d'êtres vivants : Les grottes d'Arudy - *Excursion du 30 / 11 / 2008*

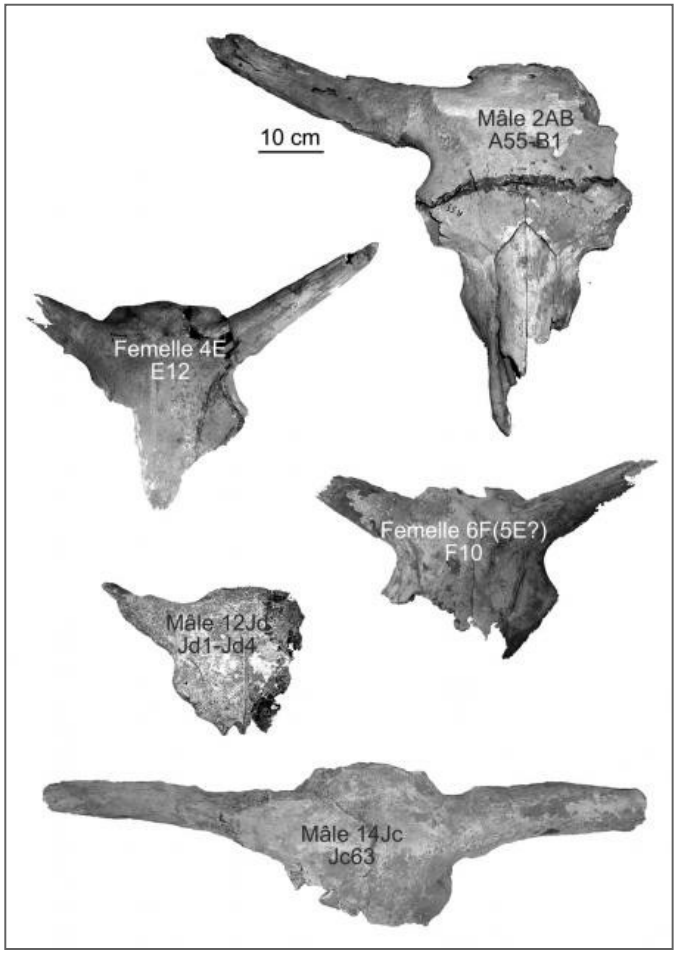


Planche 1 - *Bison priscus Habarra*. Crânes en vue frontale de cinq individus

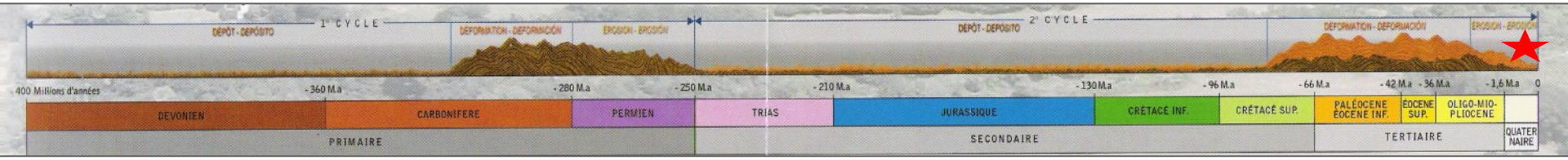
Vallée d'Ossau : grotte d'Habarra.
Nouvelles datations au radiocarbone (carbone 14)

Auteur(s) / Author(s) MARSAN Geneviève Conservatrice du Patrimoine. Maison d'Ossau, 64260 Arudy, France Résumé / Abstract

La grotte d'Habarra (Arudy, Pyrénées-Atlantiques), découverte et fouillée en 1984, est un aven-piège qui a livré de nombreux restes d'herbivores de l'époque glaciaire : bisons, chevaux, rennes, cerf, rhinocéros laineux, ainsi que des traces de passages d'ours (bauges, griffades). Une première série de datations par le radiocarbone (1989) situe **cerf et cheval à près de 28 000 ans B.P., un bison à 14 500 ans B.P.**
A l'étude des restes de bisons (20 individus au moins), publiée en 2003, viennent s'ajouter aujourd'hui deux nouvelles datations :
un rhinocéros laineux, de 30 800 ans B.P., et un jeune renne, de 36 440 ans B.P.

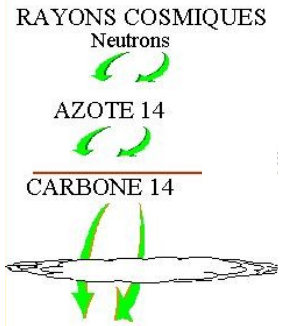
Archéologie des Pyrénées occidentales et des Landes
2009, vol. 28, pp. 31-36 [6 page(s) (article)] (1/4 p.)

On obtient ainsi une estimation chiffrée de l'âge de la mort de ces animaux



Pour en savoir plus …

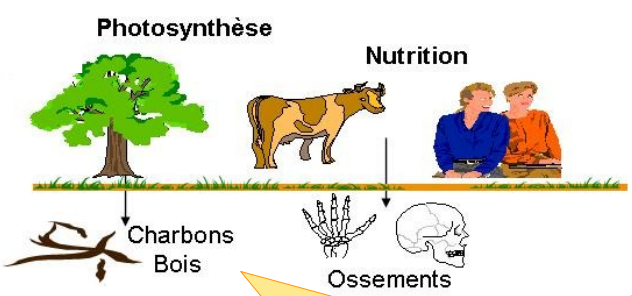
Pour cet exemple, la détermination de l'âge est réalisée en utilisant le couple radioactif $^{14}C/^{14}N$. Le ^{14}C est présent dans tous les composés carbonés et donc notamment dans la matière vivante qui est très riche en carbone.

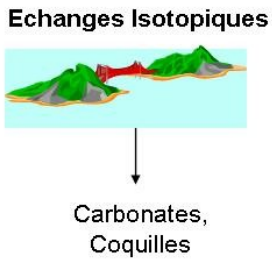


Le ^{14}C est formé dans la haute atmosphère sous l'effet des rayons cosmiques. Dès sa production dans la haute atmosphère, le ^{14}C est intégré au dioxyde de carbone ($^{14}CO_2$).

Il ne représente que $1,2 \times 10^{-10}$ % du carbone total, mais sa quantité est <u>quasiment</u> constante au cours des temps, car il est constamment produit sous l'effet permanent des rayonnements cosmiques.

Il est stocké par les matières vivantes et les océans par :





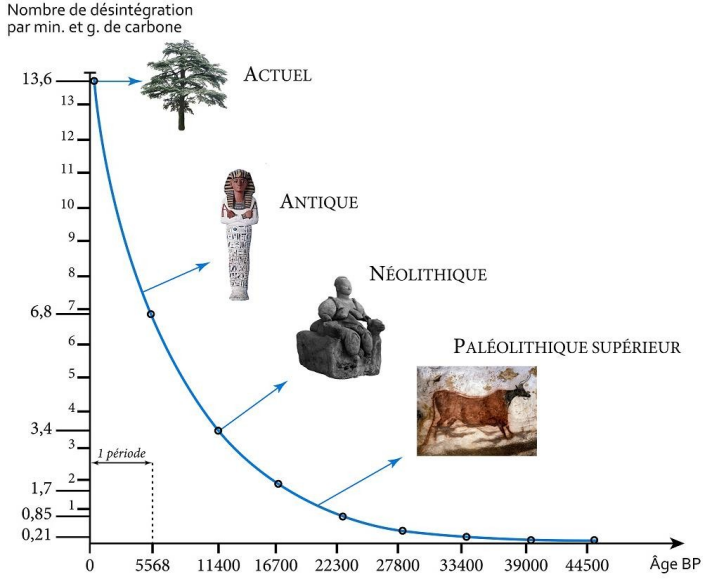
En mer comme sur le continent les végétaux chlorophylliens assimilent du $^{14}CO_2$ et produisent des matières organiques dont du sucre ($^{14}C_6H_{12}O_6$) ; puis ils sont consommés par des animaux. Ainsi, le ^{14}C « circule » le long des chaînes alimentaires.

Le $^{14}CO_2$ se dissout dans les océans pour former des ions hydrogèno- carbonates ($H^{14}CO_3^-$) utilisés par certains organismes pour constituer leur test ou coquille calcaire ($Ca\ ^{14}CO_3$).

Source image : Christine Oberlin - centre de Datation par le radiocarbone – UMR5138

Lorsque l'organisme meurt, les échanges avec l'extérieur cessent, le carbone 14 n'est plus renouvelé et décroît de façon exponentielle.

L'estimation de la quantité de ^{14}C restant dans un fossile permet de remonter au moment de la mort de l'organisme. On obtient ainsi un âge.



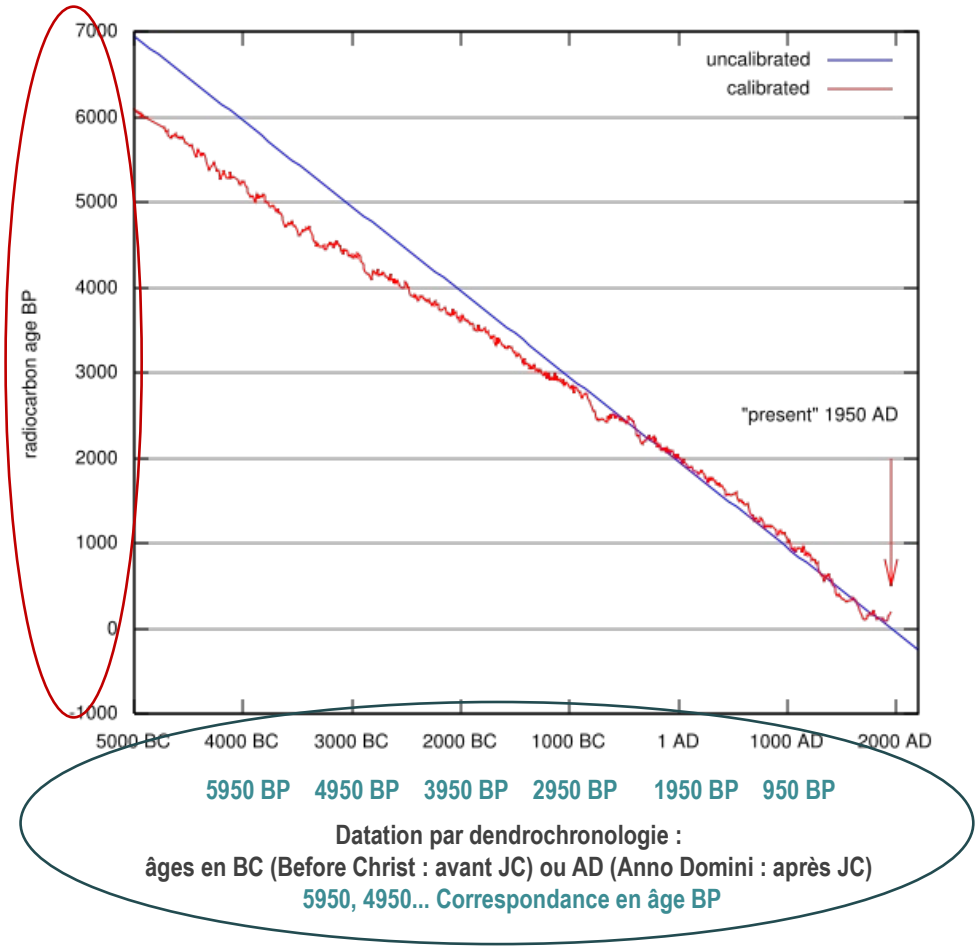
Source image : http://www.ciram-art.com/fr/objet-art/bois.html

Pour en savoir plus …

Limites de la méthode de datation au ^{14}C et nouveaux calculs.

La recherche spatiale a mis en évidence que le flux de rayons cosmiques à l'origine de la formation du carbone 14 variait suite aux évolutions du champ magnétique terrestre et du champ magnétique solaire.

Ceci explique que le taux de production du radiocarbone naturel ait légèrement varié au cours du temps.



Courbe de calibration pour la datation au radiocarbone

La datation par ^{14}C développée par Willard Frank Libby dans les années 1950 prenait pour acquis que la proportion $^{14}C/^{12}C$ n'avait pas changé avec le temps géologique.

Or on sait aujourd'hui que cette proportion a varié (la production de ^{14}C a été généralement plus élevée dans le passé géologique ; elle a récemment été modifiée par certaines activités humaines).

Ceci implique d'étalonner les dates ^{14}C, procédure dite de <u>calibration.</u> On procède en confrontant les datations obtenues par carbone 14 et celles données par d'autres méthodes telles que la dendrochronologie* ou l'utilisation d'isotopes cosmogéniques.

On voit aujourd'hui apparaître dans les datations le terme de « calibré » pour indiquer que ce calcul a été effectué.

Ainsi, une date ^{14}C de 10 000 ans correspond à environ 11 470 années solaires.

Le dernier maximum glaciaire, établi à 18 000 ans ^{14}C BP*, remonte ainsi en réalité à environ 21 000 ans BP.

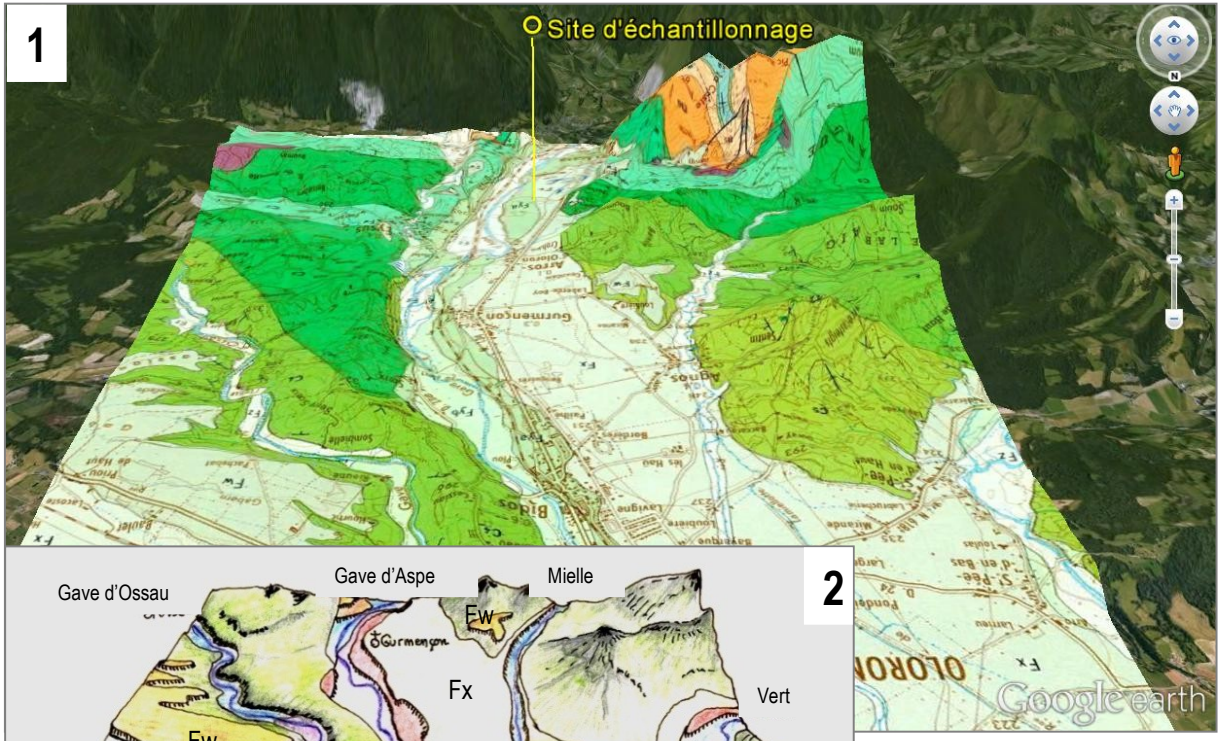
***Dendrochronologie** : méthode scientifique permettant d'obtenir des datations de pièces de bois à l'année près, en comptant les anneaux de croissance (ou cernes) des arbres et en étudiant leur morphologie.*

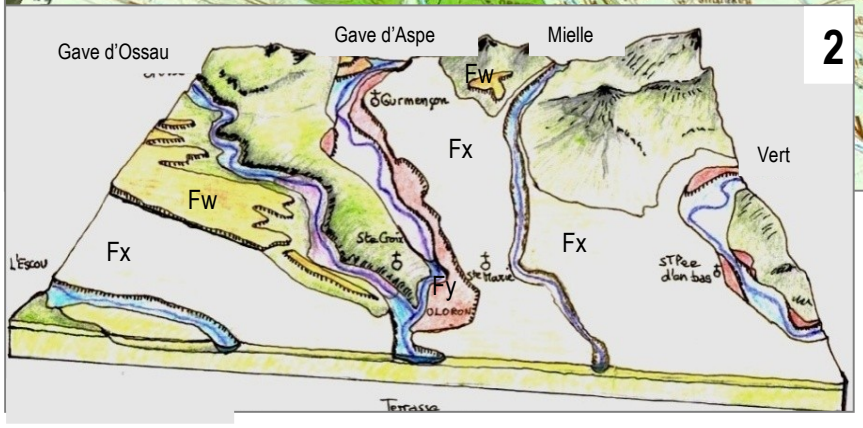
***Age B.P.** = âge Before Present (cet âge est donné par rapport à l'année 1950 de notre calendrier).*

Pour en savoir plus …

GéolVal

Exemple de datation radiochronologie par des atomes radioactifs induits : Les terrasses de Gurmençon - *Excursion du 06 / 02 / 2012*





Echantillons prélevés dans une terrasse fluvioglaciaire (Fx) et datés par radio - chronologie (méthode ^{10}Be)

Vue cavalière d'Oloron Ste Marie et du confluent des gaves d'Oloron et d'Aspe

1. Image Google Earth avec carte géologique d'Oloron au 1/50 000e en surimposition (relief x3)

Éditée en 1971, bien avant que la technique de datation par le béryllium soit connue, cette carte mentionne pour la terrasse Fx (Riss) soit, en datation relative, un âge se situant entre - 300 000 ans et -120 000 ans environ.

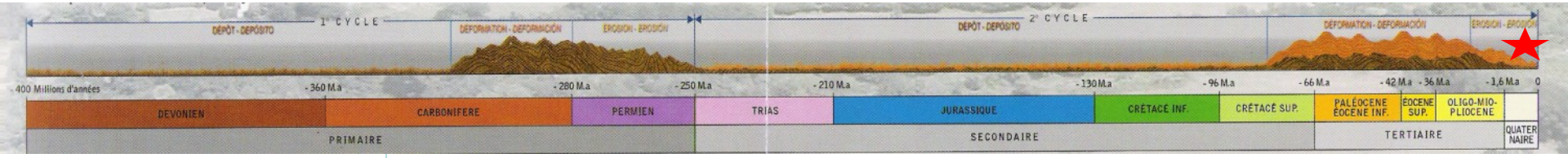
2. Croquis des terrasses fluvioglaciaires :

- **Fw : haute terrasse (280m), la plus ancienne**
- **Fx : moyenne terrasse (260m)**
- **Fy : basse terrasse (250m), la plus récente**

On obtient ainsi une estimation chiffrée de l'âge de l'exposition de la terrasse aux rayons cosmiques, c'est-à-dire

l'âge de son exondation : -17 000 ± 3 ans

Source: Bertrand NIVIERE - Laboratoire des Fluides Complexes et leurs Réservoirs-UPPA



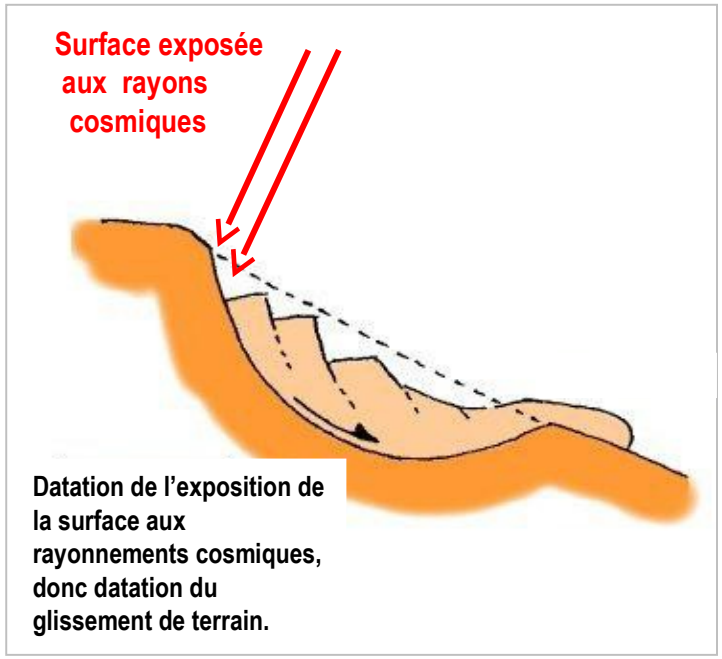
Pour en savoir plus …

GéolVal

Pour cet exemple, on utilise les isotopes cosmogéniques. Il s'agit d'une méthode de datation qui utilise la production d'isotopes rares, comme le béryllium (^{10}Be*), par les rayons cosmiques à partir de différents atomes, dont l'oxygène O et le silicium Si, puis leur accumulation dans le réseau cristallin des minéraux.

Pour ces minéraux (et donc pour les roches qui les contiennent), on détermine ainsi la date du début de l'exposition au rayonnement cosmique.

Source: Bertrand NIVIERE - Laboratoire des Fluides Complexes et leurs Réservoirs-UPPA



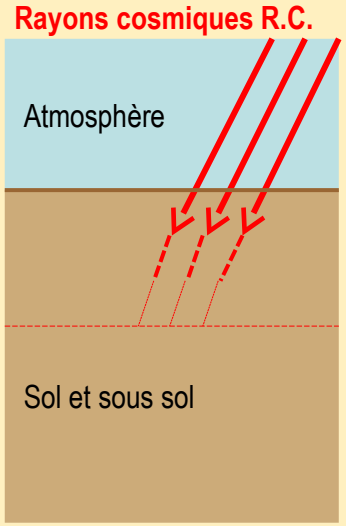
*©:d'après « Les outils géochimiques: à quoi ça sert? » – **C. VERATI** – Laboratoire géosciences AZUR – Université de NICE SOPHIA-ANTIPOLIS*

DATATION ABSOLUE au ^{10}Be

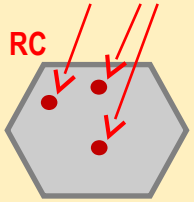
1- EXPOSITION D'UNE SURFACE AUX RAYONS COSMIQUES PAR :

- **Érosion**
- **Déglaciation**
- **Glissement de terrain**
- **Faille etc**

2 – PÉNÉTRATION DES RAYONS COSMIQUES SUR LES PREMIERS MÈTRES DE LA SURFACE EXPOSÉE



3 – FORMATION DU ^{10}Be DANS LES MINÉRAUX DES ROCHES MISES À NU



- **^{10}Be induit à partir d'oxygène (O) ou de silicium (Si) dans un cristal de quartz**

** Le **béryllium 10**, noté **^{10}Be**, est l'isotope du béryllium dont le nombre de masse est égal à 10 : son noyau atomique compte 4 protons et 6 neutrons. Il est présent à l'état de traces dans le milieu naturel.*

LA DATATION ABSOLUE

Documentation mise au point avec la coopération de

Bertrand NIVIERE
Laboratoire des Fluides complexes et de leurs réservoirs

Université de Pau et des Pays de l'Adour