

LA RADIOACTIVITÉ DANS LA NATURE

Afin d'adapter cette brochure numérique à tous les navigateurs, nous en avons figé les thèmes en sept rubriques : la matière (R-1), la radioactivité (R-2), la radioactivité dans la nature (R-3), les effets des rayonnements et leurs applications (R-4), l'énergie nucléaire et les réacteurs nucléaires (R-5), le cycle du combustible nucléaire (R-6), la radioactivité : une découverte française (R-7).

Radioactivité et exposition aux rayonnements

Irradiation ?

Contamination ?

Irradiation naturelle externe en $\mu\text{Sv}/\text{an}$

Sources d'irradiations pour les individus

La radioactivité et le régime thermique de la Terre

Rayons cosmiques

Les radioéléments naturels

Les minerais d'uranium et de thorium

Le radon

Tritium et carbone-14

Le carbone-14 : horloge naturelle

Potassium-40

RADIOACTIVITÉ ET EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS

Le sol contient des quantités importantes d'éléments radioactifs naturels : **potassium-40 ; uranium et thorium avec leurs descendants (radon, polonium, radium, ...)**, présents depuis la création de la planète en raison de leur longue durée de vie (milliards d'années).

Depuis ses origines, **l'homme lui-même est, de façon naturelle, radioactif**. Sa radioactivité est de l'ordre de **12 000 désintégrations par seconde : 12 000 Bq**. Elle est due essentiellement au **potassium-40** et au **carbone-14**. Ce dernier est produit naturellement par les rayons cosmiques qui "fabriquent" aussi un autre élément radioactif, le **tritium ^3H** (isotope de l'hydrogène).

Ainsi, le **carbone-14 sert d'horloge naturelle** pour dater, entre autres, des fresques rupestres ou des momies. On utilise dans ce dernier cas, la radioactivité naturelle des êtres vivants.

Calculez votre radioactivité naturelle :

50 kg	8 500 Bq	80 kg	13 600 Bq
60 kg	10 200 Bq	90 kg	15 300 Bq
70 kg	11 900 Bq	100 kg	17 000 Bq

Le tableau suivant donne la radioactivité d'origine naturelle présente dans quelques aliments et matériaux.

	activité spécifique Bq / kg	radioéléments principaux
aliments		
lait	50 - 80	^{40}K
pommes de terre	150	^{40}K
blé	140	$^{40}\text{K} + \text{Ra}$
viande	90	$^{40}\text{K} + \text{Ra}$
légumes verts	100	$^{40}\text{K} + \text{Ra}$
fruits	40 - 90	^{40}K
matériaux de construction		
briques	650 - 1 200	$^{40}\text{K} + \text{Ra} + \text{Th}$
bétons	250 - 1 100	$^{40}\text{K} + \text{Ra} + \text{Th}$
plâtres	50 - 1 200	$^{40}\text{K} + \text{Ra} + \text{Th}$
charbon	50 - 300	$^{40}\text{K} + \text{Ra} + \text{U} / \text{Th}$
cendres	400 - 1 500	$^{40}\text{K} + \text{Ra} + \text{U} / \text{Th}$
engrais phosphatés	600 - 6 500	$^{40}\text{K} + \text{Ra} + \text{Th}$

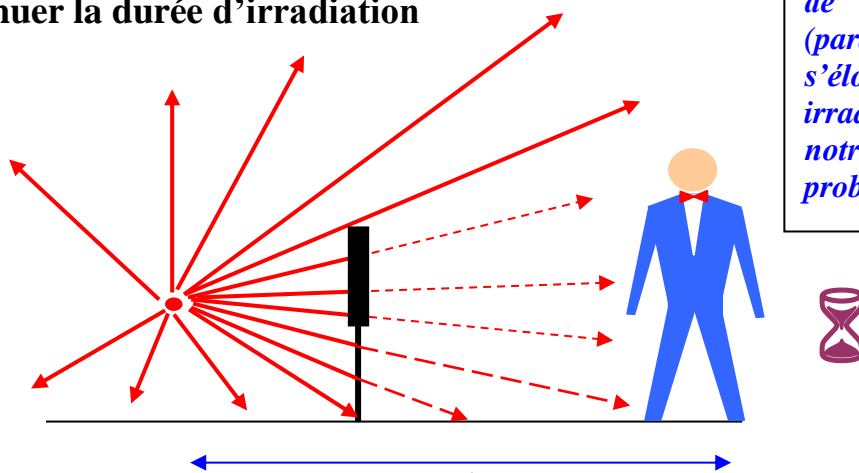
d'après l'UNSCEAR : Comité Scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants

IRRADIATION ?

L'irradiation est la pénétration d'un rayonnement à l'intérieur de la matière, inerte ou vivante. En la traversant, le rayonnement va y perdre tout ou partie de son énergie.

Pour se protéger de l'irradiation, il faut :

- * s'éloigner de la source irradiante,
- * interposer des écrans entre la source et l'objet,
- * diminuer la durée d'irradiation



exemple concret : l'effet du soleil sur notre peau (c'est bien une irradiation) dépend du temps d'exposition et de la présence ou non d'écrans (parasol ou crème solaire). Pour s'éloigner davantage de la source irradiante, il faut faire confiance à notre planète : c'est alors un problème de saison !

la dose reçue par l'individu est divisée par $4 (2^2)$ s'il se trouve à la distance $2d$,
par $9 (3^2)$ s'il se situe à $3d$, etc.

CONTAMINATION ?

La contamination est le dépôt d'une substance sur un support (inerte ou vivant). Si la substance est *radioactive*, la contamination est *radioactive*. Dans ce dernier cas, selon qu'elle se dépose à l'**extérieur** ou à l'**intérieur** du corps humain, cette contamination sera dite **externe** ou **interne**.

Cette contamination radioactive est alors suivie d'irradiation par les rayonnements émis par la substance déposée. C'est là que la nature (et donc le parcours dans la matière) des rayonnements (α , β , γ , neutrons) intervient.

Par exemple, dans les tissus humains, les rayons α ont un parcours d'une quarantaine de microns. **En contamination externe**, leur rayon d'action ne dépasse pas l'épaisseur de "peau morte" (couche cornée de l'épiderme). Tant que l'on reste dans ce cas, cette contamination (puis irradiation) ne présente donc pas, un réel danger. En revanche, **en contamination interne (qui se fait par inhalation ou ingestion de substances radioactives)**, le transfert d'énergie de la particule α va se faire sur le même parcours et dans des tissus vivants ; dans ce cas l'irradiation sera donc conséquente.

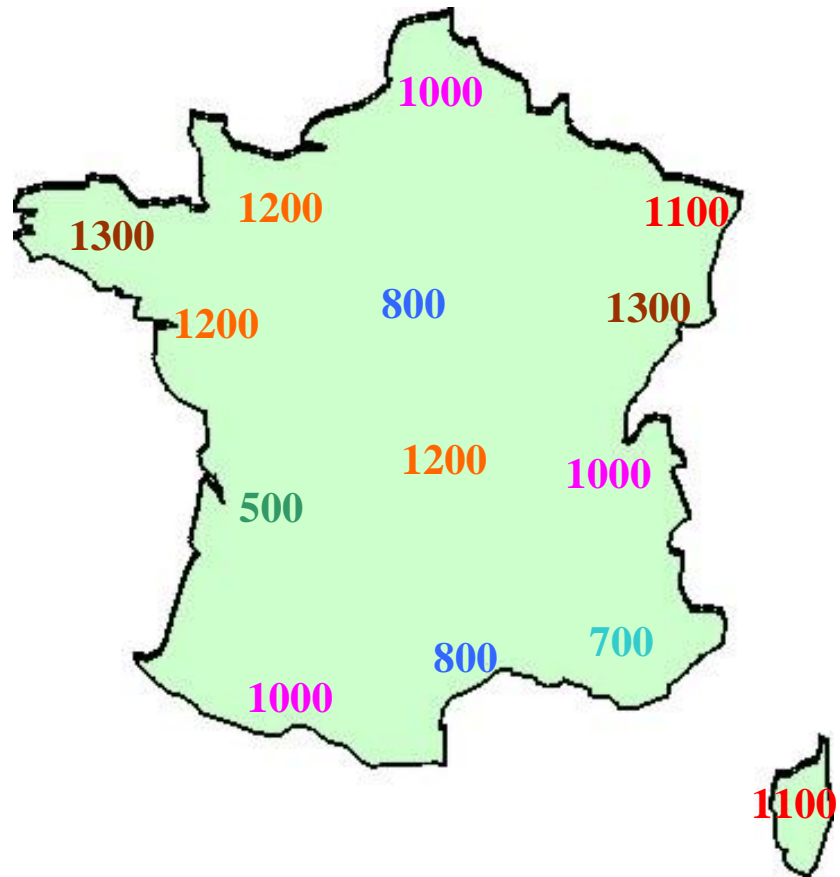
Comment se débarrasser d'une contamination radioactive ?

Si cette contamination est externe, on se trouve dans le même cas qu'un dépôt de poussière ou de peinture sur la peau : un lavage de la partie contaminée, plus ou moins facile selon la nature du dépôt, permet de s'affranchir de cette contamination.

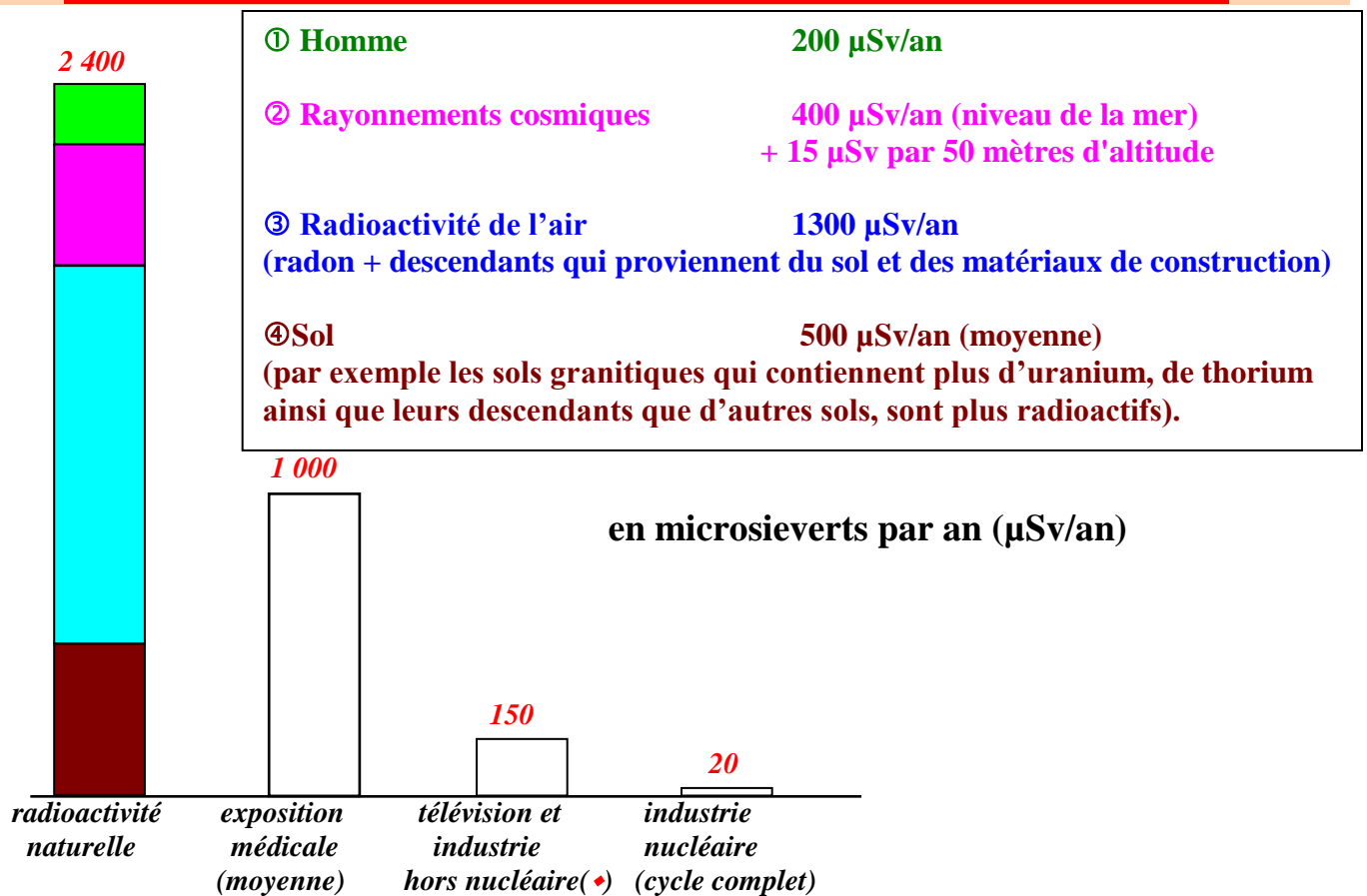
Si elle est interne, la décontamination est plus délicate. On utilise alors des « capteurs chimiques » qui, absorbés par l'organisme, fixent les éléments radioactifs et les éliminent en les entraînant avec eux par les voies naturelles.

IRRADIATION NATURELLE EXTERNE EN $\mu\text{Sv}/\text{an}$

Irradiation d'origine tellurique et cosmique



SOURCES D'IRRADIATIONS POUR LES INDIVIDUS



♦ dont centrales thermiques au charbon : 10 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ et par centrale (uranium, thorium et leurs descendants, présents de façon naturelle en quantité non négligeable dans le charbon).

LA RADIOACTIVITÉ ET LE RÉGIME THERMIQUE DE LA TERRE

La radioactivité due à la désintégration des radioéléments primaires joue un rôle important dans le régime thermique de la Terre. Pendant son premier milliard d'années, la température de surface de la planète était supérieure à la température de fusion du fer (1 535°C).

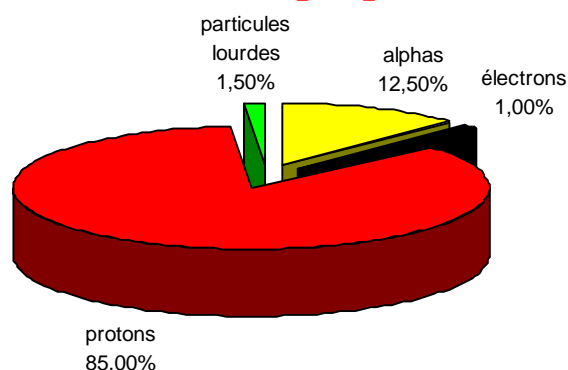
Cette chaleur considérable provenait essentiellement (et à peu près à égalité) d'une part des impacts météoritiques (*énergie cinétique*) et d'autre part de la décroissance des radioéléments primaires, surtout le potassium-40 le thorium-232 et ses descendants et les uranium-235 et -238 (et leurs descendants (*énergie nucléaire*)).

Puis, les impacts météoritiques ont considérablement diminué, la radioactivité a décru (environ d'un facteur 4,4 depuis la formation de la planète) puisqu'un élément radioactif, instable, revient vers la stabilité et la Terre s'est donc refroidie.

Toutefois, le noyau de notre planète conserve encore beaucoup d'énergie, ce que l'on constate en particulier lors des éruptions volcaniques.

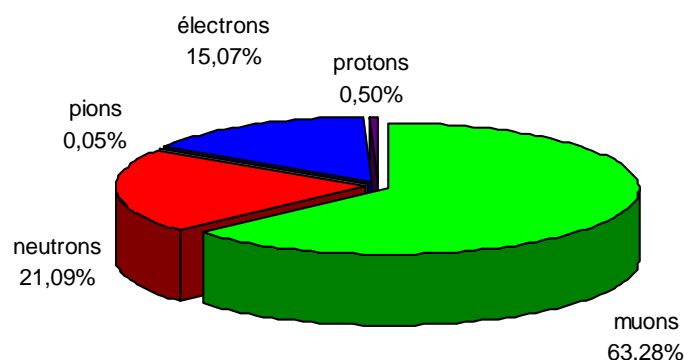
RAYONS COSMIQUES

* Rayonnement cosmique primaire



*1000 particules par m² et par seconde
à 50 km d'altitude*

* Rayonnement cosmique secondaire



*100 particules par m² et par seconde
au niveau de la mer*

LES RADIOÉLÉMENTS NATURELS

On rencontre dans la Nature 3 types d'éléments radioactifs (ou radioéléments) :

* **les radioéléments primaires** : ce sont ceux dont la durée de vie est suffisamment longue pour qu'ils subsistent depuis la création de la planète. Pour qu'il en reste encore aujourd'hui, 4,5 milliards d'années après, il faut que leur période radioactive soit supérieure à 100 millions d'années. Le plus abondant est le calcium-48 mais celui qui contribue le plus à la radioactivité naturelle est le potassium-40. Les uranium-235 et -238 et le thorium sont également des radioéléments primaires.

* **les radioéléments secondaires** : ce sont les descendants des uraniums et thorium, radioéléments primaires, dont les durées de vie vont de 0,3 millionième de seconde à 248 000 ans. Ils ne subsistent dans les minerais d'uranium et de thorium qu'en raison de leur filiation avec ces radioéléments primaires : ce sont les produits de désintégration de ces derniers. Ils sont 7 : polonium, astate, radon, francium, radium, actinium et protactinium.

* **les radioéléments induits** : ce sont des radioéléments qui sont créés par des réactions nucléaires dans les hautes couches de l'atmosphère et qui tombent sur la surface de notre planète entraînés par les eaux de pluie. Les deux plus importants sont le carbone-14 et le tritium.

LES MINERAIS D'URANIUM ET DE THORIUM

L'uranium-238 (période : 4,5 milliard d'années), l'uranium-235 (période : 704 millions d'années) et le thorium-232 (période : 14 milliards d'années) sont **3 radioéléments primaires**. Instables, ils vont se désintégrer pour revenir jusqu'à la stabilité, comme tout radioélément. Mais il va leur falloir de nombreuses étapes pour rejoindre chacun un isotope stable de **plomb**.

* le thorium-232 va se transformer en plomb-208, stable, après 6 désintégrations α et 4 désintégrations β^- .

* l'uranium-235 va se transformer en plomb-207, stable, après 7 désintégrations α et 4 désintégrations β^- .

* l'uranium-238 va se transformer en plomb-206, stable, après 8 désintégrations α et 6 désintégrations β^- .

À chaque étape est produit un nouvel isotope radioactif de l'un des éléments situés entre le numéro 92 (U) ou le numéro 90 (Th) et le numéro 82 (Pb). C'est ainsi que l'on trouve dans les minerais d'uranium et de thorium, des isotopes du bismuth (83), du polonium (84), de l'astate (85), du radon (86), du francium (87), du radium (88), de l'actinium (89) du thorium (90) et du protactinium (91) – voir **classification** (R-1).

Les plus connus sont le radium et le polonium découverts par Marie Curie en 1898 et le radon qui est un gaz rare et qui contribue pour une large part à notre irradiation naturelle.

LE RADON

Le radon est un gaz naturel radioactif présent dans les minerais d'uranium et de thorium. Il émane donc du sol qui contient ces radioéléments (**essentiellement les massifs granitiques : voir carte** et est responsable de plus du tiers de notre exposition aux rayonnements ionisants.

Il possède quatre isotopes naturels :

Le radon-220 (appelé aussi thoron, Tn) descendant du thorium-232 et de période radioactive égale à 54,5 secondes.

Les radons-218 (période : 0,03 seconde) et -222 (période : 3,865 jours) descendants de l'uranium-238.

Le radon-219 (appelé aussi actinon, An) descendant de l'uranium-235 et de période égale à 3,92 secondes.

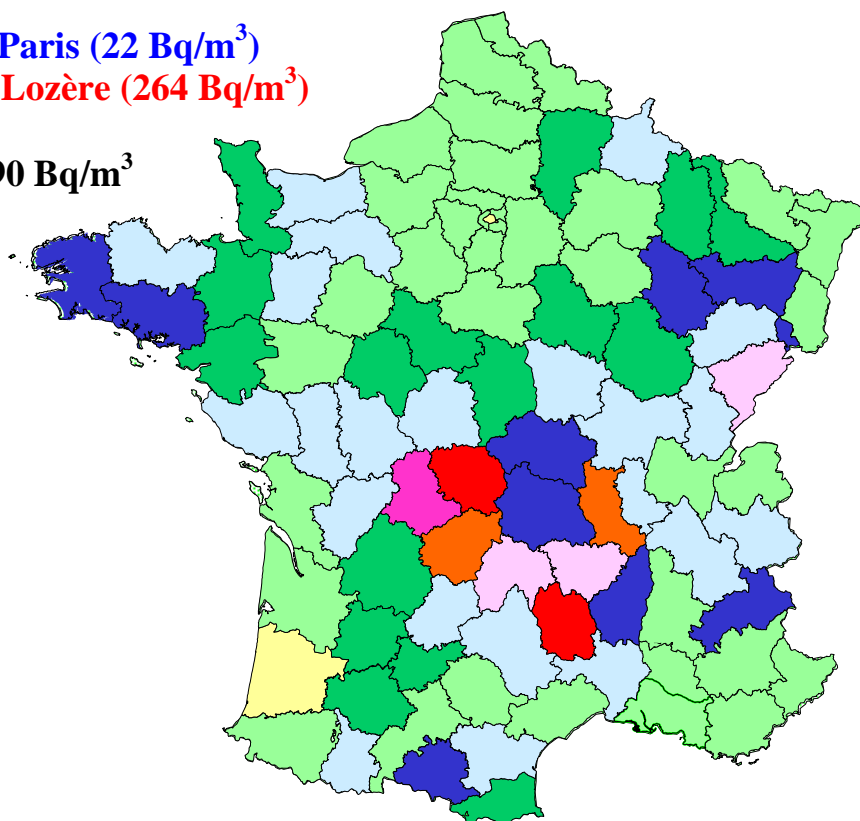
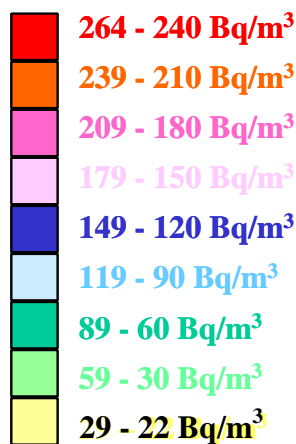
Tous quatre sont émetteurs alpha ($R-2$), leur descendant est donc un isotope du polonium.

Moyenne des activités volumiques de radon par département

Moyenne la plus basse : Paris (22 Bq/m³)

Moyenne la plus haute : Lozère (264 Bq/m³)

Moyenne arithmétique nationale brute : 90 Bq/m³



Source IRSN



TRITIUM ET CARBONE-14

Ce sont deux radioéléments induits, produits par réaction nucléaire dans les hautes couches de l'atmosphère. C'est en fait la même réaction nucléaire qui crée ces deux radioéléments, avec des probabilités de production différentes. Ils sont le résultat du choc d'un neutron sur un noyau d'azote-14, stable.

Si le neutron est **rapide**, le choc produit du carbone-12, stable et du **tritium** (isotope radioactif de l'hydrogène – période 12,3 ans).

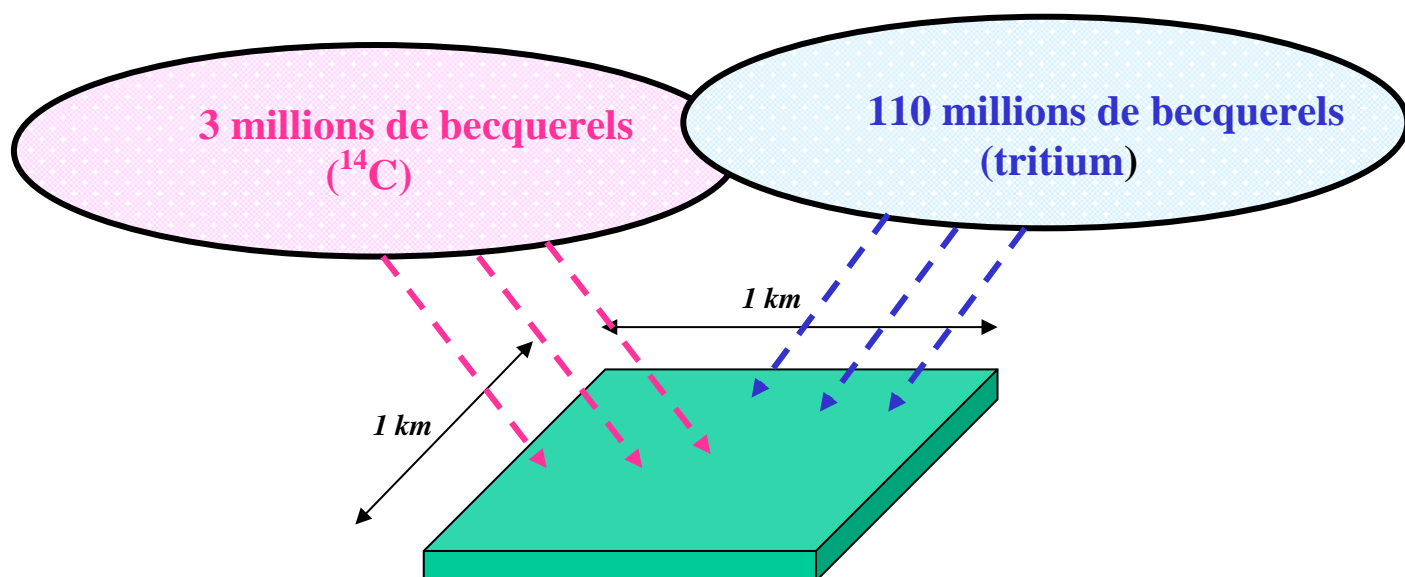
Si le neutron est **lent**, on obtient du **carbone-14** radioactif (période 5 730 ans) et un proton.

Ces deux radioéléments se retrouvent dans l'atmosphère et les eaux de pluie.

Sur notre planète, la production annuelle de **tritium** est de 270 g (2000 atomes par m² et par seconde) et son accumulation est de 3,5 kg soit 0,6 milliard de milliards de becquerels.

Pour le **carbone-14** (25 000 atomes par m² et par seconde) cette production annuelle est de 9,2 kg et son accumulation est de 63 tonnes (soit 10 milliards de milliards de becquerels) sous diverses formes (carbonates, oxalates...). Il sert d'**horloge naturelle** pour dater les activités préhistoriques ou très anciennes de l'Homme.

Compte tenu des chiffres précédents, sur le même kilomètre carré de sol français qui a servi d'exemple pour illustrer la radioactivité naturelle du potassium-40, tombent chaque année du **carbone-14** et du **tritium** dont les activités ont pour valeurs respectives :



LE CARBONE-14 : HORLOGE NATURELLE

Il est produit de façon ininterrompue dans les hautes couches de l'atmosphère lorsque des **neutrons**, émis par les **rayons cosmiques**, heurtent des **noyaux stables de l'azote** contenu dans l'air. Il se trouve présent, sous forme de gaz carbonique, $^{14}\text{CO}_2$, dans l'atmosphère où il se mélange avec le **gaz carbonique formé avec des noyaux stables de carbone** (^{12}C et ^{13}C). Cet isotope radioactif se désintègre avec **une période de 5 730 ans**.

Les végétaux et les animaux (l'homme y compris) assimilent le gaz carbonique atmosphérique avec la même teneur en ^{14}C . Par suite de la respiration de ces organismes vivants, **la radioactivité due au ^{14}C demeure constante** : on en absorbe autant que l'on en rejette. Lorsque l'organisme meurt, il n'y a plus d'échange avec l'extérieur et la radioactivité du ^{14}C décroît selon sa période. Il suffit alors de comparer la radioactivité en ^{14}C dans les organismes morts avec celle d'organismes vivants aujourd'hui pour **estimer le temps passé depuis cette mort**. Par exemple, si on trouve **deux fois moins** de radioactivité en ^{14}C dans l'organisme mort que dans un organisme vivant, il s'est donc écoulé **une période** depuis sa mort (soit 5 730 ans). Si on trouve **le quart**, il se sera passé environ 11 500 ans.

Cette méthode sert à déterminer des âges entre 2 000 et 40 000 ans. Elle permet donc –entre autres – d'explorer un domaine allant de l'époque contemporaine aux périodes préhistoriques, c'est-à-dire une période où n'existe aucun autre repère archivé et daté de l'activité humaine.

POTASSIUM-40

Le potassium-40 (19 protons et 21 neutrons) est un radioélément primaire. Il a une période radioactive de 1,26 milliard d'années. Ceci signifie que, depuis la formation de la planète, il ne reste que 8,4% de sa radioactivité originelle. Il se transforme par désintégration en néon-40 stable (à 11%) et en calcium-40 stable (à 89%).

Il représente, en masse, 0,01% du potassium naturel, à côté des isotopes stables, les potassium-39 (93,26%) et -41 (6,73%).

Compte tenu de l'abondance du potassium-40 dans l'écorce terrestre, on peut calculer que 1 km² de notre territoire, sur un mètre de profondeur, contient 67 milliards de becquerels de cet isotope radioactif naturel.

