

# LE TRITIUM

## 1 – Qu'est ce que le tritium ?

L'hydrogène, le plus léger des éléments de la Nature, existe sous 3 espèces différentes (appelées isotopes) :

- le plus abondant est l'hydrogène-1 (appelé aussi « hydrogène normal ») et dont l'abondance naturelle est pratiquement de 99,985%. Son symbole chimique est H,
- le deutérium, deux fois plus lourd que l'hydrogène-1 et dont l'abondance naturelle est de 0,015%. Son symbole chimique est D,
- le tritium, enfin, 3 fois plus lourd, a une abondance naturelle extrêmement faible car c'est une espèce instable qui se transforme en hélium-3, un gaz inerte stable<sup>1</sup> en émettant un rayonnement appelé  $\beta^-$  : on dit qu'il est radioactif<sup>2</sup>. Son symbole chimique est T.

Le tritium est donc le seul isotope radioactif de l'hydrogène. Sa période est égale à 12,3 ans (ce qui signifie que sa radioactivité est divisée par 2 tous les 12,3 ans). Ainsi, au bout d'un peu moins de 25 ans, il n'en reste que le quart ; après 50 ans, il n'en reste que 6% de la quantité initiale<sup>3</sup>.

L'unité utilisée pour illustrer cette transformation radioactive est le becquerel (symbole Bq) ; elle correspond à une désintégration par seconde, c'est-à-dire, pour le tritium, une transformation d'un atome de tritium en atome d'hélium-3 par seconde.

Ces trois isotopes ont rigoureusement le même comportement chimique, c'est d'ailleurs ce qui caractérise cette notion « *d'isotope* ».

La masse de tritium accumulée est très faible, environ 35 kg sur toute la planète : 3,5 kg de tritium produit de façon naturelle par des réactions nucléaires avec les rayons cosmiques, 1,5 kg a pour origine les activités nucléaires industrielles (réacteurs électrogènes, accélérateurs de particules, diverses autres applications industrielles ; les 30 kg restants correspondent au reliquat des retombées des essais « atomiques » des années 1960.

On peut considérer que les deux premières masses évoquées (soit 5 kg au total) vont peu évoluer alors que les 30 kg dus aux retombées des essais « atomiques » vont continuer à décroître avec le période de 12,3 ans du tritium. Il en est de même de celui stocké dans les centres de l'Andra comme celui de la Manche.

---

<sup>1</sup> L'hélium est beaucoup moins dangereux que le gaz hydrogène, très explosif. Tout le monde se souvient de l'embrasement dramatique du zeppelin Hindenburg faisant 35 morts et marquant l'arrêt de l'utilisation de ce gaz hydrogène dans les moyens de transport jusqu'à ces dernières années où son utilisation revient à la mode.

<sup>2</sup> Les éléments radioactifs émettent 3 types de rayonnements appelés  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$ . Ce dernier est le plus pénétrant, pouvant parcourir plusieurs dizaines, voire centaines de mètres dans l'air et quelques mètres dans une matière condensée, solide ou liquide alors que les deux autres ont des parcours beaucoup plus courts (des microns pour les  $\alpha$  et des centimètres pour les  $\beta$  dans un matériau solide, par exemple)

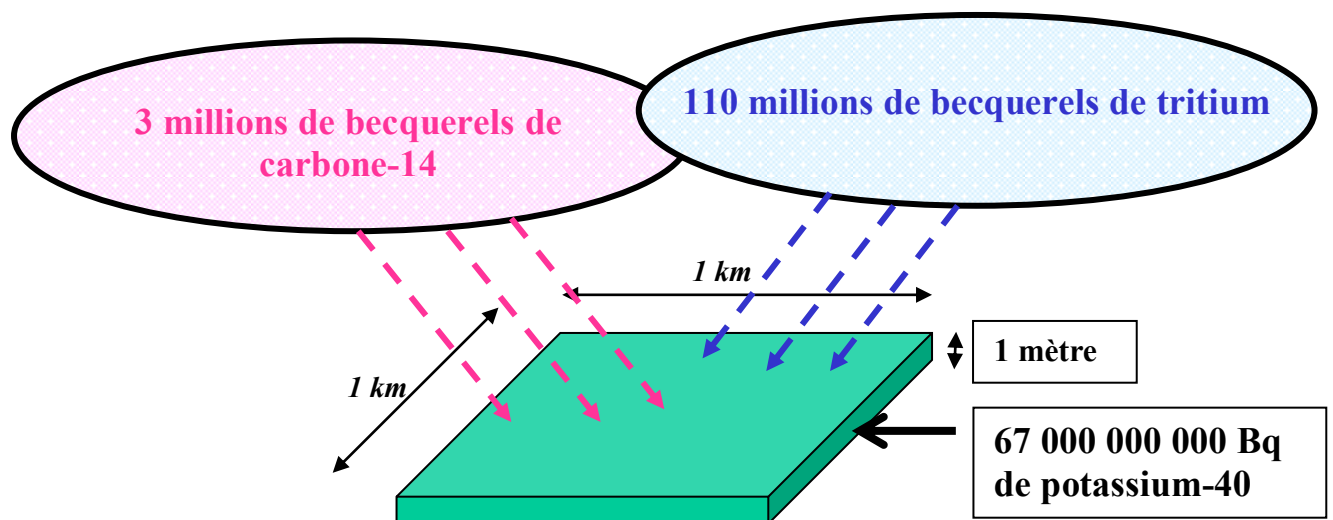
<sup>3</sup> On peut aussi dire qu'il en disparaît 5,6% par an.

## 2 – La radioactivité

Avant d'évoquer la radiotoxicité du tritium, il faut parler de la radioactivité naturelle qui est celle à laquelle nous sommes essentiellement soumis (hors accident très grave, bien évidemment). Cela permettra d'avoir des repères quand on « manipulera » des unités un peu barbares pour le néophyte. En fait, nous subissons depuis la nuit des temps, l'effet de rayonnements dus à diverses sources :

- des éléments radioactifs naturels encore présents sur la planète tout simplement parce que leur période, évoquée plus haut, est suffisamment longue pour que ces éléments subsistent, 4,5 milliards d'années après la formation de la terre (les autres ont disparu). Il s'agit essentiellement du potassium-40, de l'uranium, du thorium et des descendants de ces derniers (dont le radium, le polonium, le radon, ... dont l'activité est égale à celle de leur précurseur),
- des éléments produits par des réactions nucléaires dans les hautes couches de l'atmosphère et qui tombent sur le sol de notre planète entraînés par les eaux de pluie comme le tritium et le carbone-14<sup>4</sup>,
- une irradiation, là aussi naturelle, par des rayons cosmiques dont l'énergie est encore plus élevée que celle des rayons  $\gamma$ . Cette exposition aux rayons cosmiques augmente avec l'altitude.

Pour se fixer les idées, si on considère 1 km<sup>2</sup> de sol français, sur un mètre de profondeur, ce sol contient, en moyenne, du potassium-40 dont la radioactivité est égale à 67 milliards de Bq. Et sur ce km<sup>2</sup> de sol (en fait sur chaque km<sup>2</sup> de notre planète) tombent chaque année du tritium et du carbone-14 dont les radioactivités sont respectivement égales à 110 millions et 3 millions de becquerels !



Nous avons enfin une exposition interne, liée à notre radioactivité naturelle, due essentiellement (et en deux parts à peu près égales) de carbone-14 et de potassium-40<sup>5</sup>. Les

<sup>4</sup> C'est ce carbone-14 qui sert dans les datations des œuvres des hommes préhistoriques. Le principe de ces datations s'appuie sur le fait que tout organisme vivant renferme du carbone-14 radioactif qui s'échange avec l'atmosphère qu'il respire, gardant ainsi une radioactivité constante en cet élément. Le jour où l'organisme meurt, il n'y a plus d'échanges et le carbone-14 disparaît alors avec sa période de 5 730 ans. Si sa radioactivité résiduelle par rapport à la notre aujourd'hui a été divisée par 2, c'est que cet animal (ou arbre ou être humain) vivait il y a 5 730 ans etc.

aliments que nous absorbons sont eux-mêmes (puisqu'ils ont été des organismes vivants) radioactifs (en moyenne, de l'ordre d'une centaine de becquerels par kilogramme).

Pour qualifier les effets de ces rayonnements, une unité a été instituée : le sievert, qui tient compte de la nature du rayonnement ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ), de l'énergie qu'il véhicule et de la façon dont l'organisme le reçoit : en externe (irradiation) ou en interne (contamination) et dans ce dernier cas de sa répartition dans cet organisme. On utilise plus souvent les sous-multiples : millisievert (mSv) et microsievert ( $\mu$ Sv), respectivement millième et millionième de sievert.

Voici ci-dessous résumées les sources d'irradiation pour les individus :

① Homme	200 $\mu$ Sv/an
② Rayonnements cosmiques	400 $\mu$ Sv/an (niveau de la mer) + 15 $\mu$ Sv par 50 mètres d'altitude
③ Radioactivité de l'air (radon + descendants qui proviennent du sol et des matériaux de construction)	1300 $\mu$ Sv/an
④ Sol (par exemple les sols granitiques qui contiennent plus d'uranium, de thorium ainsi que leurs descendants que d'autres sols, sont plus radioactifs).	500 $\mu$ Sv/an (moyenne)

### 3 - La radiotoxicité du tritium

Le tritium est connu dans l'environnement sous trois formes :

- la forme gazeuse : le tritium se trouve sous la forme de la molécule HT (équivalant au dihydrogène H<sub>2</sub> où un des atomes H a été remplacé par T. *Son influence sur l'homme et l'environnement négligeable.*
- la forme liquide est HTO (eau tritiée). Ici, aussi, un H de la molécule d'eau H<sub>2</sub>O a été remplacé par T. *C'est sous cette forme moléculaire que se trouvent 99% du tritium produit.*
- enfin, on appelle **OBT** (*pour Organically Bounded Tritium*), le tritium intégré dans des molécules organiques, dans les organismes vivants, leurs cadavres ou leurs rejets.

Les rétentions de ces deux formes : HTO et OBT, sont indiquées ci-dessous pour un adulte et un enfant (la définition de la période biologique est la même que la période physique évoquée plus haut : c'est le temps au bout duquel l'adulte ou l'enfant aura éliminé la moitié de ces espèces éventuellement présentes en eux).

#### *Rétention (période biologique)*

	Adulte	enfant
HTO	10 jours	3,5 jours
OBT	40 jours	15 jours

<sup>5</sup> La radioactivité chez l'être humain est de l'ordre de 12 000 Bq. Bien sûr, ceci est vrai à chaque époque, depuis les débuts de l'espèce humaine !

La radiotoxicité du tritium va dépendre tout naturellement de l'énergie émise par ce radioélément. Or, elle est extrêmement faible : 1 seul rayonnement bêta (électron) émis d'énergie moyenne **5,7 keV**<sup>6</sup>.

En comparaison, les 2 principaux isotopes radioactifs dans le corps humain (12 000 Bq), le carbone-14 émet 1 seul rayonnement bêta d'énergie moyenne **52 keV** et le potassium-40, en revanche émet, lui deux rayonnements : 1 rayonnement bêta émis d'énergie moyenne **430 keV** et 1 rayonnement gamma d'énergie **1460 keV**.

Tritium : ■ (5,7 keV)

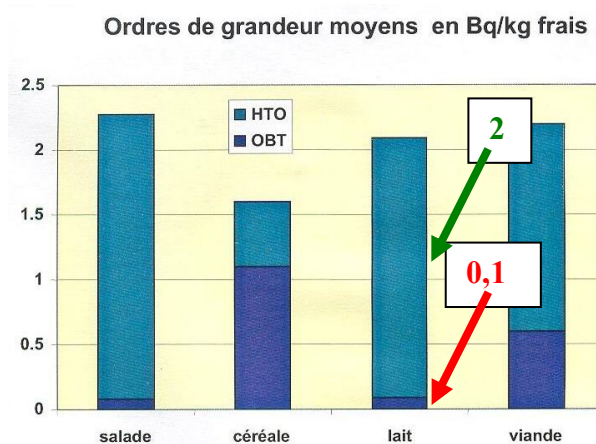
Carbone-14 : ■ (52 keV)

Potassium-40 : ■ (430 keV) et ..... 1 460 keV :

La faible énergie véhiculée par le rayon bêta du tritium explique que les facteurs de dose qui lui ont été attribués par les spécialistes sont eux aussi extrêmement faibles. Ceux-ci s'expriment en microsieverts par becquerel ( $\mu\text{Sv/Bq}$ ) : 1,8 milliardième de  $\mu\text{Sv/Bq}$  pour le tritium gazeux ; **18 millièmes de  $\mu\text{Sv/Bq}$**  pour l'eau tritiée ; **41 millièmes de  $\mu\text{Sv/Bq}$**  pour l'OBT.

Qu'est ce que cela signifie concrètement ?

Exemple : dans 1 litre de lait, on trouve **0,1Bq (OBT)** et **2 Bq (HTO)**,



On en déduit que l'impact dosimétrique de la consommation de 1 litre de lait par jour sera inférieur à  $(41 \times 0,1 \text{ pour OBT} + 18 \times 2 \text{ pour HTO}) = 40,1 \text{ millièmes de } \mu\text{Sv}$  soit **0,015  $\mu\text{Sv/an}$**  ( $40,1 \text{ millièmes de } \mu\text{Sv} \times 365 \text{ jours}$ ).

De même la consommation quotidienne de **1 kg de céréales** conduit à un impact dosimétrique de **0,020  $\mu\text{Sv/an}$** . Pour **1 kg de salade** (*consommée par jour*) on trouve **0,037  $\mu\text{Sv/an}$**  et pour **1 kg de viande** (*idem : consommée par jour !*) : **0,019  $\mu\text{Sv/an}$** .

Cela ne dit pas grand-chose au néophyte ! Il faut alors avoir un moyen de comparaison : comparons ainsi la différence d'impact dosimétrique naturel entre celui qui habite au niveau de la mer à Vauville et celui qui séjourne sur les hauteurs très proches, à la Nacquerie, par

<sup>6</sup> Le keV est une unité d'énergie utilisée pour qualifier l'énergie véhiculée par les rayonnements. Ce qui importe ici est la comparaison des énergies entre elles !

exemple, hameau situé à 150 mètres d'altitude (chacun peut trouver des exemples identiques selon son lieu de séjour). Celui qui vit sur les hauteurs subit un impact dosimétrique plus élevé de  $45 \mu\text{Sv}/\text{an}$  dû aux rayons cosmiques. Fort heureusement, il n'a pas l'impression de vivre plus dangereusement pour cette raison que celui qui vit au niveau de la mer.



Pour arriver à un impact dosimétrique identique, il faudrait, compte tenu des valeurs données plus haut pour la radiotoxicité éventuelle du tritium, consommer, par jour, chaque jour de l'année : **2 250 kg de céréales** ou **1 200 kg de salade** ou **2,4 tonnes de viande** ou encore boire **3 000 litres de lait** !!

Voilà comment on peut comprendre ces chiffres et pourquoi les spécialistes et les experts osent exprimer que la radiotoxicité du tritium est très faible.

Ceci explique que les critères de potabilité des eaux de boisson d'après les recommandations de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) sont estimés ainsi :

*« Du fait qu'il a été convenu par les spécialistes que la dose reçue en raison de la présence d'un radionucléide dans l'eau de boisson ne doit pas dépasser  $100 \mu\text{Sv}/\text{an}$ , si on considère une consommation quotidienne de 2 litres d'eau, l'activité du tritium dans l'eau de boisson ne doit pas dépasser  $10\,000 \text{ Bq}/\text{litre}^7$ . »*

En France, on utilise le tritium comme indicateur de radioactivité : si la concentration en tritium dépasse  $100 \text{ Bq}/\text{litre}$ , il est procédé à la recherche de la présence éventuelle de radionucléides artificiels. Ce niveau n'est donc qu'une « référence de qualité » ; *ce n'est pas une limite de potabilité de l'eau ; celle-ci est de  $10\,000 \text{ Bq}/\text{litre}$ .*

Pr. Jacques FOOS

Professeur Honoraire du Conservatoire National des Arts et Métiers  
Expert scientifique près les 3 Commissions Locales d'Information du Cotentin (Areva-Andra-EDF)  
Directeur de la Société Nationale des Sciences Naturelles et Mathématiques de Cherbourg

**Novembre 2017**

---

<sup>7</sup> Ceci correspond à une masse de tritium égale à 2,8 millièmes de milliardième de gramme par litre !