

QU'EST-CE QUE LA RADIOACTIVITÉ ET COMMENT LA MESURE-T-ON ?

L'atome est composé d'un noyau très petit lui-même composé de protons (de charge électrique positive) et de neutrons (sans charge), entouré d'électrons de charge négative.

Le nombre de protons est caractéristique de l'élément chimique, par exemple l'hydrogène en a un seul, le carbone en a six et l'oxygène huit ! Pour le détail des éléments chimiques, [voir le tableau périodique](#).

La radioactivité est liée aux changements d'état du noyau de l'atome¹, à savoir l'émission de « rayons ² » émis du fait de l'instabilité de la matière, ça ne se crée pas dans le vide. De fait les « radiations ionisantes³ » sont le produit de la « radioactivité ». On nomme l'atome radioactif (dont le noyau est instable) : « radionucléide ». Citons par exemple l'Uranium 238, le Carbone 14, etc.

N \ Z	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
9			¹² Li	¹³ Be	¹⁴ B	¹⁵ C	¹⁶ N	¹⁷ O	¹⁸ F	¹⁹ Ne	²⁰ Na	²¹ Mg	²² Al
8		¹⁰ He	¹¹ Li	¹² Be	¹³ B	¹⁴ C	¹⁵ N	¹⁶ O	¹⁷ F	¹⁸ Ne	¹⁹ Na	²⁰ Mg	²¹ Al
7		⁹ He	¹⁰ Li	¹¹ Be	¹² B	¹³ C	¹⁴ N	¹⁵ O	¹⁶ F	¹⁷ Ne	¹⁸ Na	¹⁹ Mg	
6	⁷ H	⁸ He	⁹ Li	¹⁰ Be	¹¹ B	¹² C	¹³ N	¹⁴ O	¹⁵ F	¹⁶ Ne			
5	⁶ H	⁷ He	⁸ Li	⁹ Be	¹⁰ B	¹¹ C	¹² N	¹³ O	¹⁴ F				
4	⁵ H	⁶ He	⁷ Li	⁸ Be	⁹ B	¹⁰ C	¹¹ N	¹² O					
3	⁴ H	⁵ He	⁶ Li	⁷ Be	⁸ B	⁹ C	¹⁰ N						
2	³ H	⁴ He	⁵ Li	⁶ Be	⁷ B	⁸ C							
1	² H	³ He	⁴ Li	⁵ Be	⁶ B								
0	¹ H		³ Li										

Prenons par exemple une masse d'atomes d'Iode 131 ; certains de ses atomes vont se désintégrer à un temps t1, d'autres à un temps t2, c'est-à-dire au hasard. On appelle demi-vie⁴, ou encore période le temps nécessaire à la désintégration de la moitié des atomes, huit jours dans le cas de l'Iode 131 ! Par ailleurs, au lieu de « désintégration » il serait plus juste de dire « fragmentation », puisque rien ne disparaît vraiment : « rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme », comme l'avait déjà observé le chimiste Lavoisier !

Pourquoi les noyaux d'atomes sont-ils instables ?

Le noyau est constitué de protons⁵ et de neutrons. Nous pouvons constater que les atomes stables ont à peu près le même nombre de protons et de neutrons.

Quand il y a trop de protons ou de neutrons, le noyau va rétablir l'équilibre en transformant des protons en neutrons ou vice-versa comme expliqué ci-dessous dans le paragraphe sur la radioactivité bêta (β). Plus le noyau est déséquilibré,

1 A l'exception de la plupart des rayons X.

2 Le mot « rayon » a été historiquement le premier terme utilisé au commencement des recherches.

J'utilise indifféremment les termes « radiations, rayons, particules ou encore ondes » suivant en cela l'usage qui diffère selon les textes que j'ai consultés, qui manque il est vrai de rigueur. Pour aborder le paradoxe apparent de la dualité onde/particule, il faudrait aborder la mécanique quantique, ce qui n'est pas possible ici !

3 Ionisantes : qui sont susceptibles d'arracher un ou des électrons à un atome, ou de manière plus générale de modifier sa configuration électronique. Le terme est devenu incorrect car il inclut implicitement la « radiolyse », c'est-à-dire la capacité de briser des liens chimiques, en cassant par exemple des brins d'ADN, ou en créant des « radicaux libres », hyper-oxydants et nuisibles, comme H° et HO°, qui peuvent créer du H₂ et du H₂O₂. Ce terme « ionisant » est historiquement lié aux premières méthodes de détection. Le terme n'est donc plus tout à fait correct.

En plus dans certains cas, les radiations ne sont pas ionisantes du tout. C'est le cas des neutrons par exemple, qui ne provoquent pas d'ionisation directe, car ils n'ont pas de charge électrique, et qui peuvent frapper directement les noyaux.

4 Le Pu 239 a une demi-vie de vingt-quatre mille ans. Après dix demi-vies, il en reste donc 1/1024.

Dans deux cent quarante mille ans, du stock de quarante-quatre tonnes de Plutonium du Japon en fin 2013, il en restera encore quarante-quatre Kg, ce n'est absolument pas négligeable : de quoi faire 6 bombes ou d'empoisonner des milliers de personnes!

5 Le noyau est composé de protons et de neutrons. Les premiers ont une charge électrique positive identique à celle de l'électron. Les neutrons n'ont pas de charge électrique. Tout cela tient ensemble grâce à une force attractive très locale appelée « interaction forte ».

plus la demi-vie est courte !

Parfois aussi le noyau devenu trop gros tente de « maigrir » en éjectant une particule alpha (α), composée de deux neutrons et de deux protons. Parfois aussi, comme dans le cas de l'Uranium, il se « fissionne » en plusieurs morceaux et dégage beaucoup d'énergie.

Dans le tableau ci-contre, Z représente le nombre de protons, N le nombre de neutrons.

Les noyaux d'atomes stables sont colorés en noir.

Les colonnes verticales représentent les isotopes, c'est-à-dire les différentes variétés d'un même élément chimique. Par exemple le Carbone 14 (8 neutrons, 6 protons) est bien un isotope instable (radioactif) du Carbone 12 stable (6 protons et 6 neutrons).

Les rayons gamma (γ) sont des photons de haute énergie⁶ produits par un rééquilibrage énergétique du noyau, donc par un changement de niveau énergétique du noyau défini par la mécanique quantique⁷. Il n'y a pas de différence de nature entre un gamma mou (faible) et un rayon X dur (fort). En fait ce sont tous deux des photons, comme la lumière, les micro-ondes et les ondes radio, mais d'énergie bien plus élevée que la lumière. L'unité d'énergie employée en physique nucléaire est « l'électron volt⁸ ». Un Kev = 1000 eV, un Mev = un million d'eV, un Gev = un milliard d'eV ! Pour les arrêter, il faut une forte couche de matière (plaques de plomb, un épais mur de béton, plusieurs mètres d'eau...)

Les rayons X sont des photons de moyenne énergie⁹ produits le plus souvent par un rééquilibrage énergétique de l'atome (et non du noyau !), en d'autres termes par un changement de la configuration électronique « autour » du noyau. Dans le « vide » ou dans la matière, ils peuvent aussi être produits par le freinage des électrons¹⁰. Ils sont en général produit par des appareils électriques comme les tubes à rayons X, et aussi (faiblement) par les anciennes télévisions à tube en verre. On trouve des rayons X dans le milieu interstellaire, mais sur terre ils ne sont pas naturels : ils sont produits par des appareils électriques ou par le freinage des électrons de la radioactivité Beta, comme à la surface des citernes métalliques d'eau contaminées à Fukushima.

Les rayons bêta (β) sont des électrons émis de l'intérieur du noyau¹¹. Ils peuvent être arrêtés par une couche de métal. Dans l'exemple le plus simple et le plus courant, tout se passe comme si un neutron se trouvait transformé en un proton, provoquant l'émission d'un électron et d'un neutrino neutre, la charge électrique étant ainsi conservée. On peut donc considérer la radioactivité β comme une réaction impliquant neutron, proton, électron et neutrino, comme dans l'exemple suivant : $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$, qui exprime ici qu'un neutron s'est transformé en proton plus un électron et un neutrino. La charge électrique est conservée, le neutron et le neutrino n'ayant pas de charge

7 Les niveaux d'énergie sont définis par la mécanique quantique.

8 L'électron volt est l'énergie d'un électron soumis à un potentiel de 1 Volt, soit donc $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Joule}$ (Le Joule est l'unité légale d'énergie en physique, toutes les autres unités, par exemple la calorie ou le kilowattheure peuvent être reliées au Joule, voir <http://fr.wikipedia.org/wiki/Joule>).

Dans les anciens téléviseurs à tube cathodique (en verre) la haute tension montait à plus de 10 000 Volts et donc les électrons propulsés vers l'écran avaient une énergie de l'ordre de 10000 eV, soit 10 Kev !

9 L'énergie des rayons X varie de quelques électronvolts à quelques MeV.

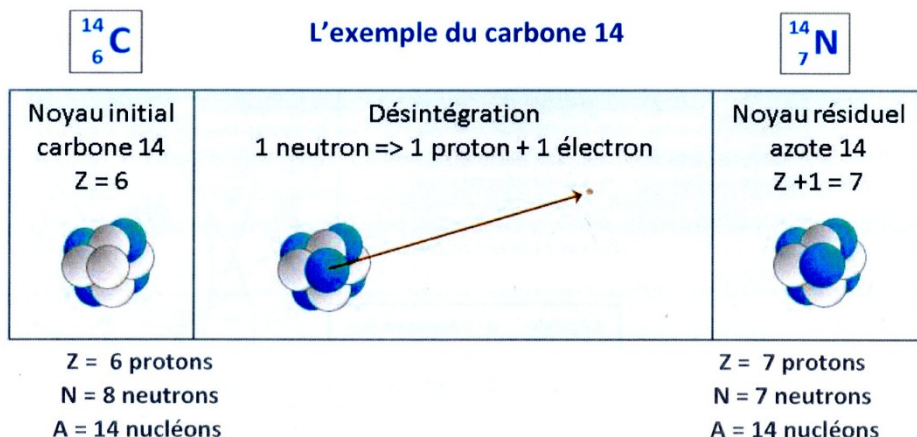
10 On appelle cela le "Brehmstrahlung".

11 Ceci est surprenant, vu qu'il n'y a **PAS** d'électrons dans le noyau !

Tout ceci est en fait une manifestation de l'**Interaction Faible**, voir http://fr.wikipedia.org/wiki/Interaction_faible Aussi appelée force faible et parfois force nucléaire faible, elle est l'une des quatre interactions fondamentales de la nature, les trois autres étant les interactions électromagnétique, forte ou gravitationnelle. Elle est responsable de la désintégration radioactive de particules subatomiques et participe à la fusion nucléaire et à la nucléosynthèse dans les étoiles et dans les modèles expliquant le « big bang ». Elle affecte toutes les catégories de fermions connues, à commencer par les électrons, les quarks et les neutrinos.

électrique, le proton étant positif et l'électron négatif. Il existe aussi le cas symétrique d'émission d'un positon (électron positif¹²), par la transformation apparente d'un proton en neutron à l'intérieur du noyau. Tout ceci pour rétablir un équilibre entre le nombre de protons et de neutrons !

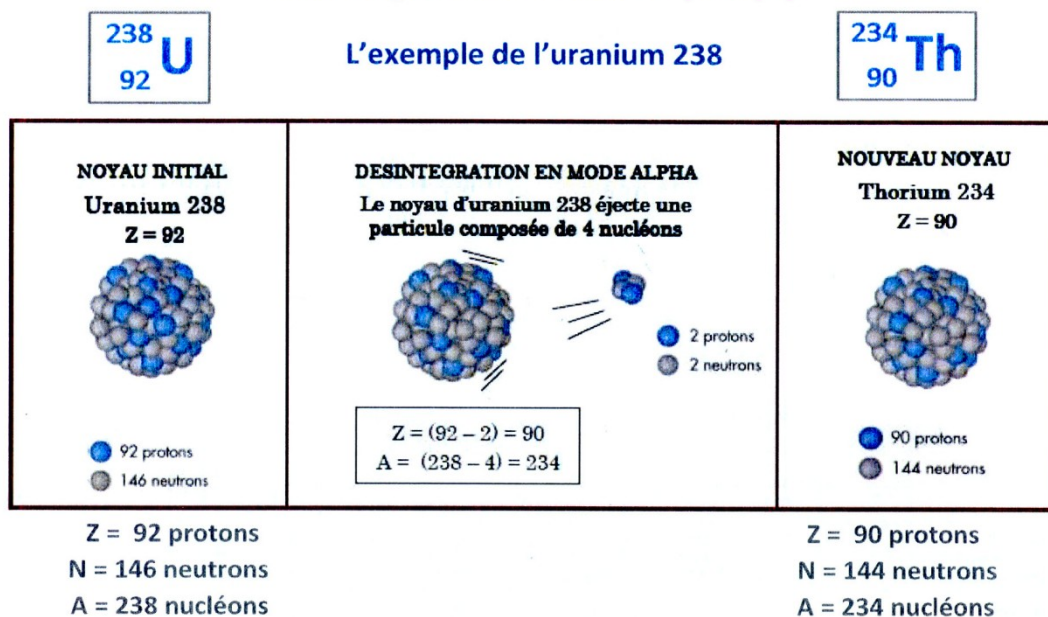
Désintégration en mode bêta (β^-)



Les « rayons » alpha (α) sont émis par certains noyaux qui « maigrissent » en éjectant deux protons et deux neutrons, c'est à dire des noyaux d'hélium. Ainsi l'Uranium 238 se transforme en Thorium 234¹³.

Les α sont arrêtés par une feuille de papier, ou par la première couche de la peau, composée de cellules mortes.

Désintégration en mode alpha (α)

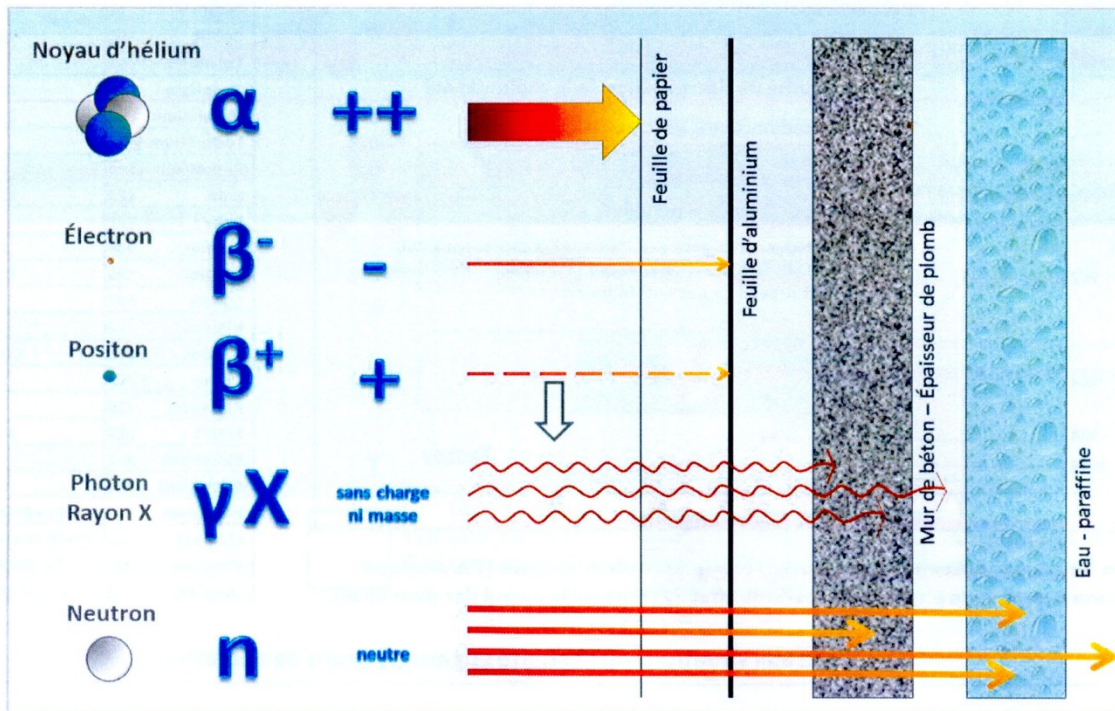


¹² L'anti-électron, appelé aussi le positon en français ou le positron en anglais, est l'antiparticule de l'électron, et en a les mêmes caractéristiques, sauf que la charge est positive. C'est donc de l'antimatière, le positon disparaît au contact de l'électron dans un éclair de rayons gamma !

¹³ Hélium 4 : deux protons, deux neutrons, charge électrique positive (++) !
 En éjectant ces quatre nucléons, l'Uranium 238 (92 protons, 146 neutrons) se transforme en Thorium 234 (90 protons, 144 neutrons) !

Les rayonnements ionisants

(particulaires et électromagnétiques)



Il y a encore bien d'autres types de particules élémentaires qui peuvent circuler, en particulier les neutrons, les neutrinos, muons, etc. Certaines proviennent des rayons cosmiques¹⁴. En règle générale, on ne rencontre de neutrons que dans le « cœur » des réacteurs, ou dans certaines matières très radioactives faisant l'objet de transport. Quant aux déchets nucléaires, ils émettent bien des particules (β , α , neutrons) mais aussi des rayons γ qui n'ont pas de masse (au repos), ce sont des photons. En français on désigne ces émissions par les termes de « radiations » ou « radiations ionisantes », les mots "radiations" ou « radiations ionisantes » en vertu d'une traduction littérale de l'anglais. La substance qui émet la radioactivité dégage donc à la fois des particules, et du rayonnement pur (des radiations). Mais lorsqu'on parle du point de vue de celui qui reçoit les effets de la radioactivité, par exemple un corps humain, ce dernier reçoit en vérité deux choses différentes : surtout des rayons γ , qui peuvent faire des dégâts en pénétrant depuis l'extérieur, et de la matière, des éléments radioactifs, qui sont surtout pernicious quand ils sont incorporés par l'organisme (par exemple inhalés ou ingérés) et continuent, à l'intérieur de cet organisme, à être radioactifs.

LES UNITÉS UTILISÉES EN RADIOPROTECTION

La connaissance des unités existantes reste encore aujourd'hui complexe parce que la connaissance de la radioactivité progresse pas à pas dans l'Histoire! Depuis la découverte des rayons X par Roentgen en 1895 en passant par celle de la radioactivité de l'uranium par H. Becquerel vers 1896, puis la découverte du thorium et du radium par Marie Curie à partir de 1898, il a fallu presque cinquante ans avant qu'on ne commence à établir les effets potentiellement dangereux de la radioactivité sur la santé humaine. Rappelons que le neutron a seulement été découvert en 1932 et la structure de l'ADN en 1953...

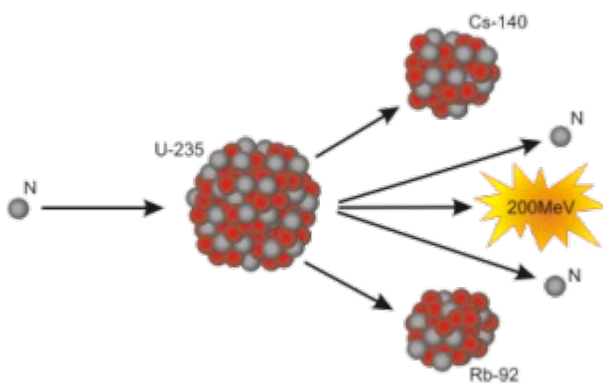
Le BECQUEREL (Bq)

Il désigne le nombre de désintégrations par seconde concernant un ou plusieurs éléments précis.

C'est l'unité de mesure de l'activité.

Nous parlerons donc de Becquerels de Césium, de Becquerels de Strontium, etc...

On ne s'intéresse pas ici, dans cette définition, aux radiations émises. Mais nous savons que celles-ci ont des caractéristiques très variées : leur nature, leur pénétration, l'énergie transportée.



Une désintégration peut produire plusieurs rayonnements et parfois aussi des éléments radioactifs (produits de fission¹⁵) qui peuvent aussi à leur tour produire des rayonnements et des neutrons en se désintégrant à leur tour.

Ci-contre l'exemple de la fission de l'Uranium : les neutrons émis pouvant fragmenter d'autres noyaux d'Uranium, une « réaction en chaîne » peut se déclencher s'il y a suffisamment de neutrons.

¹⁴ <http://www.laradioactivite.com/fr/site/pages/expositionauxrayonscosmiques.htm>

¹⁵ La fission de l'Uranium consiste en la fragmentation du noyau en deux autres noyaux et quelques neutrons. Cette fission peut créer une réaction en chaîne étant donné que les neutrons peuvent provoquer la fission d'autres noyaux s'ils sont suffisamment nombreux.

La bombe nucléaire c'est de la « fission incontrôlée ». A l'inverse, dans les centrales nucléaires on s'applique à contrôler la fission en maintenant la réaction en chaîne au ralenti. En régulant le nombre de neutrons lents, il est possible de piloter la centrale, voire de l'arrêter si on absorbe beaucoup de ces neutrons. C'est ce qui se passe lorsque les barres d'arrêt d'urgence tombent dans la cuve, et mettent le réacteur à l'arrêt.

URANIUM 238

Famille de l'uranium 238

Radioéléments	Mode de désintégration	Période de radioactivité
Uranium 238	α	4,5 10 ⁹ ans
↓		
Thorium 234	β	24 jours
↓		
Protactinium 234	β	1,2 minute
↓		
Uranium 234	α	2,5 10 ⁵ ans
↓		
Thorium 230	α	7,5 10 ⁴ ans
↓		
Radium 226	α	1,6 10 ³ ans
↓		
Radon 222	α	3,8 jours
↓		
Polonium 218	α	3 minutes
↓		
Plomb 214	β	27 minutes
↓		
Bismuth 214	β	20 minutes
↓		
Polonium 214	α	1,6 10 ⁻⁴ secondes
↓		
Plomb 210	β	22,3 ans
↓		
Bismuth 210	β	5 jours
↓		
Polonium 210	α	138,5 jours
↓		
Plomb 206		Stable

L'exemple ci-contre de la désintégration d'un noyau d'Uranium 238 nous montre pourquoi un compteur Geiger peut détecter zéro, un, ou plusieurs impacts par unité de temps (CPM¹⁶) pour chaque Becquerel de l'élément original, car il faut tenir compte des désintégrations des « enfants » qui sont quasi immédiates ou fortement différées, suivant les demi-vies. La mesure généralement utile d'activité est le Becquerel / Kilo ou le Becquerel / Litre. Cette mesure nous permet aussi d'évaluer la quantité par unité de masse ou de volume du radionucléide concerné.

La plupart des éléments de la radioactivité naturelle tellurique proviennent des « enfants » de l'Uranium 238 et du Thorium 232 présents depuis la formation de la terre, les transmutations se faisant par émission alpha (deux protons et deux neutrons en moins) ou bêta (un neutron en moins et un proton en plus, le nombre atomique étant donc conservé). Voir dans le tableau ci-contre la chaîne de désintégration¹⁷ de l'Uranium 238¹⁸. L'Uranium 238 a une demi-vie de l'ordre de l'âge de la terre, et la demi-vie du thorium 232 est même encore plus élevée, proche de l'âge de l'Univers, soit 14 milliards d'années ! Cette chaîne « en équilibre » explique par exemple la création continue de radon, un élément à courte durée de vie !

La désintégration du plutonium 239¹⁹ qui émet des particules alpha perd donc 4 unités pour se greffer ainsi sur la famille de l'Uranium 235 !

¹⁶ Il existe aussi des DPM (Désintégration Par Minute) = 1/60 Bq

¹⁷ L'uranium 238 possède également d'autres modes de désintégration, extrêmement faibles, dont 5,45×10⁻⁷ fissions spontanées. La **fission spontanée** est une forme de désintégration radioactive caractéristique des isotopes très lourds au cours de laquelle un noyau lourd se divise, sans apport d'énergie extérieur, et donc sans intervention de neutrons, en au moins deux noyaux plus légers. https://fr.wikipedia.org/wiki/Fission_spontan%C3%A9

¹⁸ Notez que les rayons gamma émis par les éléments des lignes colorées ne correspondent pas à une transmutation !

¹⁹ Les chaînes de désintégration : https://fr.wikipedia.org/wiki/Cha%C3%Aene_de_d%C3%A9sint%C3%A9gration

Ceci montre un fait peu souvent évoqué, à savoir qu'après 10 demi-vies, alors qu'il ne reste que 1/1024 (soit 0,00097) de la quantité initiale de Plutonium 239, les fissions spontanées étant assez marginales, la plus grande partie s'est transformé en Uranium 235, qui a une demi-vie de plusieurs centaines de millions d'années, pendant laquelle tous les descendants de l'U235 sont produits en continu, le [schéma de désintégration complet du Plutonium 239](#) montre que ses descendants seront présents pour des centaines de millions d'années !

Élément chimique		Rayonnement	Demi-vie ^c
Plutonium 239	²³⁹ Pu	Radioactivité α	24 110 a
Uranium 235	²³⁵ U	Radioactivité α	7,038×10 ⁸ a
Thorium 231	²³¹ Th	Radioactivité β	25,2 h
Protactinium 231	²³¹ Pa	Radioactivité α	32 700 a
Actinium 227	²²⁷ Ac	Radioactivité β	21,8 a
Thorium 227	²²⁷ Th	Radioactivité α	18,72 j
Radium 223	²²³ Ra	Radioactivité α	11,43 j
Radon 219	²¹⁹ Rn	Radioactivité α	3,96 s
Polonium 215	²¹⁵ Po	Radioactivité α	1,78 ms
Plomb 211	²¹¹ Pb	Radioactivité β	36,1 min
Bismuth 211	²¹¹ Bi	Radioactivité α	2,15 min
Thallium 207	²⁰⁷ Tl	Radioactivité β	4,77 min
Plomb 207	²⁰⁷ Pb	stable	

Le CURIE (Cu)

C'est une ancienne **unité de mesure de l'activité**, adaptée aux fortes radioactivités : c'est l'activité de 1 g de radium 226 ou 15 g de Plutonium 239 : $3,7 \cdot 10^{10}$ émissions par seconde.

1 Curie = $3,7 \cdot 10^{10}$ Becquerel²⁰

1 pCurie = $3,7 \cdot 10^{-2}$ Becquerel

1 Becquerel = 27.02 Pico Curies

²⁰ Exercice pratique : à Tchernobyl, certains terrains ont atteint 67 Curies / km². La limite « légalement admissible !? » a été fixée à 40 Curies / km². Soit donc $40 \cdot 3,7 \cdot 10^{10} / 10^6 \text{ m}^2 = 1,48 \cdot 10^6 \text{ Bq/m}^2$

Source des mesures : Marc Molitor dans « Tchernobyl, Déni Passé, menace future ? » p.85, éditions Racines/RTBF, 2011

Le GRAY (Gy)

C'est une **unité de dose absorbée**, applicable à la matière organique²¹

Pour représenter l'effet que ces radiations ont sur la matière vivante, on a créé le **GRAY (Gy)** qui représente l'énergie déposée par le rayonnement ionisant. Un Gray correspond à un Joule d'énergie déposé par Kilogramme de matière²². Cette « dose absorbée » est mesurable avec des appareils de physique.

Le **ROENTGEN**²³ et le **RAD**²⁴, le **REM**²⁵ (remplacé par le Sievert ci-dessous) sont des unités historiques, et qui ne sont en principe plus utilisées !²⁶

Le SIEVERT (Sv) est une unité de dose, et vaut un Gray multiplié par facteur de correction sans dimension, plus grand ou égal à 1.

La quantité de rayonnement nécessaire pour produire une dose déterminée dépend de la nature du rayonnement, de son énergie et du milieu absorbant :

Véritable boulet de canon, la particule α , très lourde et rapide, va déposer son énergie de façon très concentrée puisque, à l'intérieur du corps, elle ne parcourt au plus que quelques millimètres et les cellules avoisinantes vont recevoir toute la dose. A la surface de la peau, c'est en général bénin²⁷, mais à l'intérieur cela fait des dégâts sérieux.

Dans le cas d'un rayonnement α l'effet est donc 20 fois plus fort, un Gray égale alors 20 Sieverts.

Par contre un rayonnement γ (gamma) très pénétrant va dissiper son énergie tout le long de son trajet jusqu'à épuisement de son énergie. **Dans le cas où il s'agit de rayonnements β ou γ un Gray égale un Sievert.**

La **dose équivalente (en Sv)**, qui tient compte de la nature des rayonnements et des tissus biologiques en jeu, est un perfectionnement de la « dose absorbée ».

Elle se définit comme la dose absorbée par un corps humain, à savoir l'énergie reçue par unité de masse, corrigée d'un facteur de pondération du rayonnement sans dimension, qui prend en compte la dangerosité relative du rayonnement considéré. Voir http://fr.wikipedia.org/wiki/Dose_%C3%A9quivalente

21 http://fr.wikipedia.org/wiki/Dose_absorb%C3%A9e

22 1 Joule c'est l'énergie de 1 Watt pendant 1 seconde. On peut écrire 1 Joule = 1Ws

23 Le **Röntgen** n'est pas une unité de dose mais une unité d'exposition de la matière!

Le Röntgen exprime la capacité d'ionisation des rayons X ou Gamma dans l'air et correspond à la formation d'un nombre précis de paires d'ions dans 1 cm³ d'air.

Il a été supplanté par le Coulomb par kilogramme (C/kg).

24 Le **RAD** est une ancienne unité exprimant les mêmes mesures que le GRAY, à un facteur 100 près, depuis 1953 :

1 rad = 0,01 Gy = 1 cGy

1 Gy = 100 rad

25 Le **REM**, ou « **Roentgen Equivalent Man** » est une ancienne **unité de mesure de dose** qui est encore utilisée, surtout aux USA. Au départ, le REM a été défini comme la quantité d'énergie dont l'effet biologique est égal chez l'homme à celui d'un Roentgen de rayons X. Maintenant **on utilise de plus en plus le SIEVERT (Sv), qui équivaut au REM à un facteur 100 près :**

1 Sievert (Sv) = 100 REM

1 milliRem (mRem) = 10 microSievert (μ Sv) [0.001 REM = 0.00010 Sievert]

26 Voir le site de conversion <http://www.convert-me.com/en/convert/radiation/>

27 Sauf si la peau est blessée !

La **dose efficace (en Sv)** est une dose biologique très utilisée en radioprotection, qui sert à évaluer l'exposition d'une personne individuelle aux rayonnements. **Elle tient compte de la sensibilité des tissus affectés et de la nature des rayonnements.** C'est un perfectionnement de la « dose équivalente », en lui ajoutant la spécificité des organes. Il se définit comme la dose absorbée, à savoir l'énergie reçue par unité de masse, corrigée de facteurs sans dimension prenant en compte d'une part la dangerosité relative du rayonnement considéré et d'autre part la sensibilité du tissu irradié.

L'unité de dose efficace est donc le sievert (Sv).

La dose efficace est une grandeur utilisée en radioprotection pour prédire les risques stochastiques, c'est-à-dire que l'on ne peut calculer qu'en termes de probabilités, donc pour les faibles doses²⁸ !!!

Il est très important de remarquer que ces unités de doses s'appliquent surtout à l'irradiation « externe ».

L'irradiation « interne », (appelée aussi « contamination interne ») est beaucoup plus insidieuse. Si on applique en effet les mêmes principes à une particule ingérée ou inhalée, la dose équivalente locale, à l'échelle d'un organe ou d'une cellule par exemple, serait beaucoup plus importante et plus dommageable ! C'est pourquoi les dosimètres ne mesurent qu'une partie de la contamination, les poussières inhalées et les aliments absorbés ne sont malheureusement pas mesurables facilement avec les instruments courants, il faut recourir à des examens dans des cabines de « comptage total du corps », effectués par des spécialistes.

Le microSievert/h ($\mu\text{Sv/h}$) est donc l'unité de débit de dose la plus utilisée.

La dose annuelle moyenne reçue du fait de la radioactivité naturelle ambiante en France oscille généralement entre 2 et 3 mSv/an²⁹.

Un passager d'un vol aérien vers 10 000 m d'altitude reçoit une dose de 5 $\mu\text{Sv/h}$ (43 mSv/an) soit près de 20 fois la dose de radioactivité moyenne en France.

Un cosmonaute reçoit près de 8,2 $\mu\text{Sv/h}$ (72 mSv/an) dans la station spatiale, soit à peu près 30 fois la radioactivité naturelle moyenne en France.

CPS et CPM

C'est le nombre d'événements par minute ou par seconde détectés par un tube Geiger, c'est à dire le nombre de particules ou d'ondes qui pénètrent le volume du tube³⁰ et y créent une ionisation détectable, par unité de temps. Donc des « Clics (Coups) Par Minute » ou des « Clics Par Seconde ». Les tubes Geiger sont comme des filets de pêche : la prise est proportionnelle à la taille du filet et à la petitesse des mailles (analogie à la sensibilité du tube et de son électronique³¹). Pour donner un autre exemple, la température dans une pièce d'habitation est définie en chaque endroit, et varie lentement, de manière continue, en chaque point³². La taille et la technologie du thermomètre importent peu, et nous avons un bon accord entre les différents instruments de mesure. De plus la température varie d'une manière assez continue dans l'espace et le temps.

La radioactivité d'un échantillon de matière émet une sorte de flux aléatoire et discontinu. Non seulement ça varie d'un

28 http://fr.wikipedia.org/wiki/Dose_efficace_%28radioprotection%29

29 Le chiffre de 2,4 est souvent cité, les valeurs locales varient de 1 à 6 mSv/ an, la moyenne entre des situations très différentes n'est pas très significative.

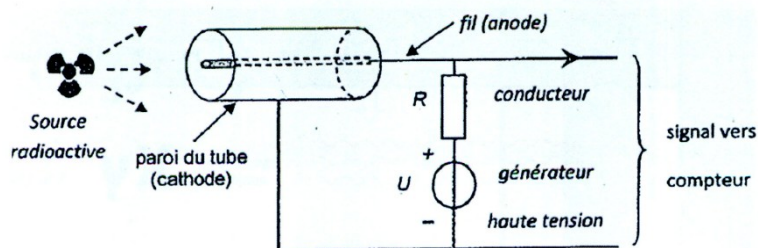
Un mSv/an correspond à 0,001 Sv / 8760 heures = 0,114 $\mu\text{Sv/h}$, et donc 2,4 mSv/an sont équivalent à 0,27 $\mu\text{Sv/h}$.

30 Le tube Geiger, généralement en verre, est rempli d'un gaz susceptible d'être ionisé. Ce gaz devient alors conducteur pendant un instant, ce qui est détecté et comptabilisé par l'électronique de l'appareil.

31 L'efficacité est le rapport entre le nombre de coups enregistrés et le nombre de particules entrant dans le compteur. En plus, le compteur est incapable de compter des événements simultanés, ce qui arrive rarement, mais n'est pas impossible. Le rapport est proche de l'unité, mais toujours inférieur à 1 ! « L'Inspector Alert » a un tube plat (pancake en anglais) de 45 mm de diamètre, certains autres ont une fenêtre de 40 * 5 mm, pas étonnant qu'ils captent moins d'événements !

http://www.minresco.com/geigercounters/inspector/inspector_page1.htm

32 C'est ce que l'on appelle un « champ ».



instant à l'autre, mais le rapport entre la taille de l'échantillon et le volume du tube vont donner des nombres d'événements assez différents... Plus le capteur est grand et plus grand est le « temps de pose », plus la mesure sera fiable.

Pour les compteurs Geiger, la correspondance CPM / (Sievert/h) varie d'un modèle d'appareil à l'autre !

Les tubes Geiger ne peuvent que...compter. Ils sont incapables de deviner la nature et l'énergie de la source.

Chaque compteur comporte un facteur de conversion interne qui permet d'afficher aussi les $\mu\text{Sv/h}$ correspondant aux CPM, par une simple multiplication. Ce facteur est tout simplement mesuré à l'usine, en mettant une source connue de Césium 137 devant le compteur et en notant les CPM comptés par l'appareil, ce qui établit un facteur de conversion enregistré ensuite dans l'électronique de l'appareil.

Les CPM ne donnent aucune indication sur l'origine ni sur l'énergie du rayonnement traversant le tube. Et donc la correspondance avec les Sievert n'est qu'indicative³³, et son intérêt est de permettre de comparer les données des appareils différents. C'est évidemment arbitraire, vu que dans la plupart des environnements il n'y a pas, (ou pas uniquement) du Césium 137, mais cela nous permet de comparer les mesures faites avec des détecteurs calibrés avec la même substance. Ce qui ne veut pas dire qu'ils ne détectent pas de radionucléides qui émettent en dehors du spectre du Césium. En général le mode d'emploi donne la plage d'énergie à laquelle le détecteur est sensible, par exemple : de 100 Kev à 1,5 Mev. La principale qualité du détecteur Geiger est de pouvoir indiquer une différence entre une situation normale et une situation anormale, voire dangereuse, c'est plus un instrument d'alerte qu'un instrument de mesure. Il est important de préciser que les compteurs Geiger portables, ne détectent généralement pas le Tritium³⁴ ni les rayons α !

33 Surtout du fait que le calcul expliqué dans la note suivante repose sur la supposition généralement fautive que la source serait le Césium 137. Mais le fait même que tous les compteurs Geiger de poche soient calibrés sur la même source de Césium 137 nous permet d'utiliser la conversion en $\mu\text{Sv/h}$ pour comparer les mesures des différents appareils. Cependant, lorsque les activités dépassent largement la normale, ces appareils sont très utiles pour nous avertir d'un danger et nous inciter à demander des analyses complémentaires.

34 En fait certains détecteurs, comme le Radex proposé par la CRIIRAD, détectent quand-même (imparfaitement) les sources de tritium, qui émet des bêtas de 5 Kev : le Radex réagit à une montre chargée au tritium ! Voir

<http://www.criirad.org/laboratoire/radiometres/compteur-geiger.html>

et <http://tinyurl.com/jjaenhf>



Ci-dessus : exemple de compteurs Geiger, donnant des indications en $\mu\text{Sv/h}$: l'Inspector Alert fabriqué aux USA et le Radex, fabriqué en Russie et proposé par la CRIIRAD. Bien que basique, le Radex est robuste et fiable, comme d'autres produits russes bien connus que je vous laisse deviner...

Son avantage est de donner rapidement une valeur moyenne du débit de dose près du tube.

Pour « l'Inspector Alert », la correspondance est la suivante³⁵ : (le RADEX n'affiche pas les CPM !)

CPM	Micro Sieverts/h	Milli Sieverts/an
10	0,030	0,26
20	0,060	0,52
30	0,090	0,79
40	0,120	1,05
45	0,135	1,18
50	0,150	1,31
80	0,240	2,10
100	0,299	2,62
150	0,449	3,93
167	0,500	4,38

Il n'y a pas de relation possible entre les CPM d'un compteur et les Becquerels par unité de masse ou de volume. Les raisons en sont :

- Les rayonnements sont émis dans toutes les directions, et le tube Geiger n'en capture forcément qu'une partie, la plus grande partie passe à côté, et aussi certains rayons passent à travers sans déclencher de clic. Soit parce que par nature le détecteur est incapable de les détecter, soit simplement parce qu'il n'est pas efficace à 100 %. Par exemple la plupart des détecteurs de poche ne peuvent détecter les rayons β du tritium, et pour la plupart ils ne sont sensibles qu'aux

³⁵ La relation est linéaire : 1 mR/hr (soit 10 $\mu\text{Sv/h}$) pour le Cesium137 = 3340 CPM.

Donc 1 CPM = 1/3340 mR/h = 1000/100*3340 microSv/h = 0,00299401 $\mu\text{Sv/h}$ (soit 2,99401 E-03).

Ceci pourrait varier de quelques centièmes lors de la recalibration ; cette constante est à peu près la-même pour tous les instruments du même modèle. En fait la calibration consiste à placer devant le compteur une source connue de césium 137 et de noter le nombre de CPM mesurés. Lors de la recalibration du compteur, il est donc possible que le facteur de conversion soit un peu différent, ceci pouvant s'expliquer entre autres raisons par le vieillissement possible du tube.

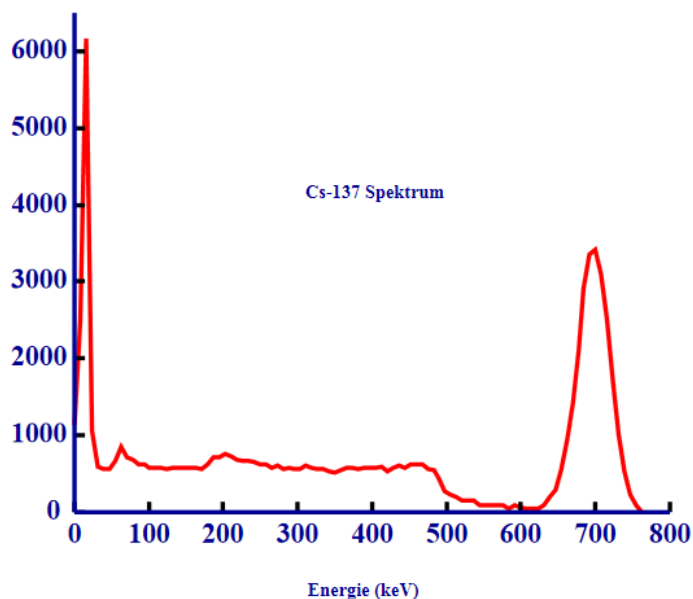
rayons γ dans une certaine gamme énergétique, et en général pas du tout aux rayons α et encore moins aux neutrons.

- Un Becquerel (une désintégration d'un noyau d'atome) peut provoquer l'émission de plusieurs particules ou photons ou fragments de fission. Ces mêmes fragments de fission peuvent à leur tour donner lieu à d'autres désintégrations.
- Les détecteurs sont seulement sensibles à certaines particules et rayonnements : les neutrons ne produisent pas d'ionisation directe, les muons et toute une gamme de particules élémentaires nécessitent des détecteurs spécialisés, sans parler des neutrinos qui ne sont détectables qu'au moyen d'installations très sophistiquées..

Tous les détecteurs ne sont pas sensibles aux rayons X³⁶.

Autres détecteurs

Citons aussi les détecteurs à scintillation³⁷, qui mesurent à la fois les « clics » et, de manière proportionnelle, les énergies associées, et donnent donc un spectre montrant la relation entre la quantité d'événements et l'énergie.



Cela permet d'identifier les éléments radioactifs présents dans l'échantillon.

Ci-contre un graphique montrant les caractéristiques du Césium 137, avec le « comptage » en ordonnée (échelle verticale) et les énergies (Kev) en abscisse (échelle horizontale).

On observe que le Césium produit une émission γ typique entre 600 et 800 Kev³⁸.

Grâce à ces instruments, il est alors possible en laboratoire, en entourant l'échantillon de détecteurs à scintillation, de mesurer quantitativement les activités des différents éléments le composant sous forme de Becquerels/Kilogramme (Bq/Kg).

Les chambres à bulles ou à brouillard³⁹, outils des pionniers, pourraient aussi donner des indications utiles, car la longueur des trajets matérialisés dans la chambre à

brouillard est indicative de l'énergie de la particule.

La radioactivité d'origine cosmique

36 A Fukushima, les réservoirs émettent des rayons X, produits par le métal des réservoirs activé par les rayons β de l'eau radioactive. Les atomes de fer en effet sont excités par les électrons émis par l'eau, ensuite le métal retourne à son état fondamental en émettant des rayons X.

37 Les « particules » incidentes créent une sorte de fluorescence dans un substrat solide, liquide ou gazeux, et ces photons sont ensuite amplifiés par un « photomultiplicateur ».

Il y a maintenant des détecteurs à semi-conducteurs qui permettent d'obtenir les mêmes résultats que les détecteurs à scintillation. En fait les caméras numériques des Smartphones sont sensibles aux rayons gamma et il existe des applications pour Smartphones qui permettent d'avoir une idée du débit de dose reçu par la camera (en $\mu\text{Sv/h}$). L'efficacité est limitée et dépend du modèle de Smartphone ! De plus les courbes ne sont pas linéaires !

38 En fait les rayons gamma à 662 Kev sont émis par « le descendant » du Césium, le Ba 137 qui a une demi-vie de 153 secondes. En réalité on n'analyse pas le rayonnement d'un radioélément, mais celui d'un radioélément en équilibre avec ses dérivés !

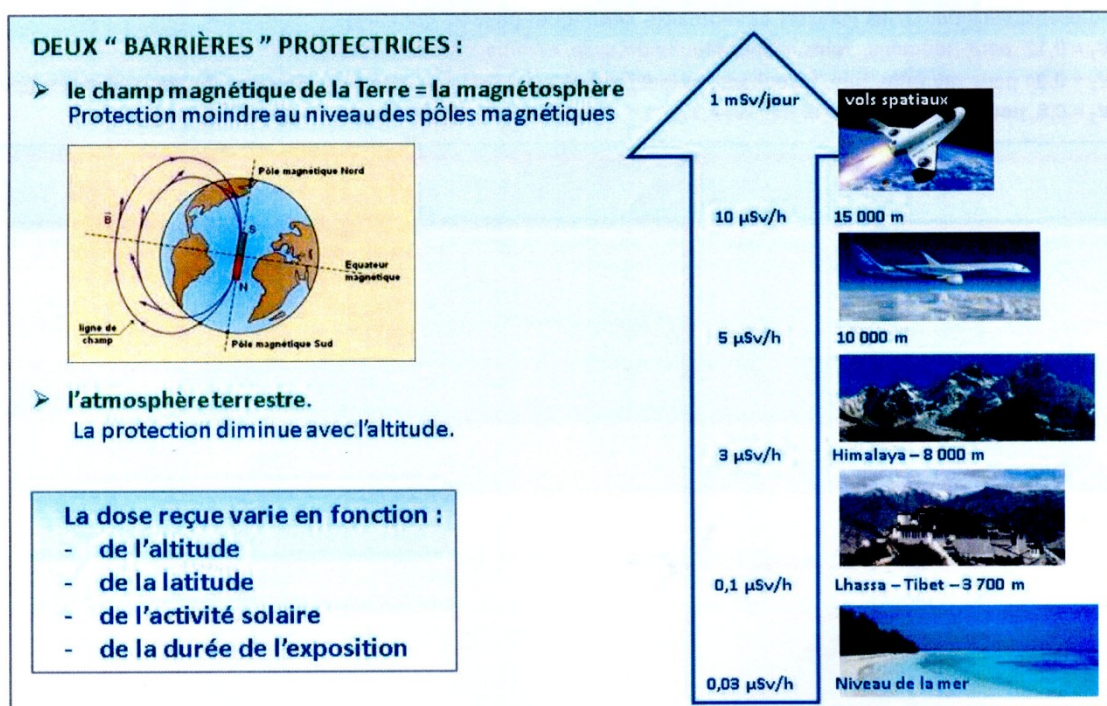
39 <http://www.laboiteverte.fr/visualiser-radioactivite-chambre-brouillard/>

En France, la radioactivité naturelle moyenne est estimée à 2.4 mSv/an, les rayons cosmiques y contribuant pour à peu près 0.3 mSv/an, au niveau de la mer, soit à peu près un huitième.

Le débit de dose des rayons cosmiques est de 0.034 $\mu\text{Sv/h}$ au niveau de la mer, 0.1 $\mu\text{Sv/h}$ à 3000 m, et le niveau peut atteindre 3 $\mu\text{Sv/h}$ en avion à 10 000 m d'altitude. En montant en altitude, la radioactivité double tous les mille cinq cent mètres. Les cosmonautes recevraient au moins 72 mSv par an⁴⁰ (8,2 $\mu\text{Sv/h}$)!

Le passager d'un vol Paris New York reçoit une dose de 32 μSv , le débit de dose est donc de 3 à 4 $\mu\text{Sv/h}$. En avion à haute altitude, les passagers reçoivent au moins 10 fois la radioactivité naturelle moyenne. La valeur peut monter jusqu'à 5 $\mu\text{Sv/h}$ lors des long-courriers ; pour les vols moyen-courrier (Genève-Bruxelles), le débit de dose est typiquement de 1,5 $\mu\text{Sv/h}$.

Le rayonnement cosmique (origines solaire et galactique)



⁴⁰ Donc 72 mSv/an (8,2 $\mu\text{Sv/h}$) pour la Station Spatiale. Pour un voyage vers Mars, l'évaluation atteint, voire dépasse 365 mSv/an, soit plus de 40 $\mu\text{Sv/h}$!

EXEMPLES

La noix du Brésil

La denrée alimentaire naturellement la plus radioactive est **la noix du Brésil**⁴¹ (appelée aussi noix d'Amazonie), avec une activité qui peut atteindre 6600 Pico Curies par kg soit $6600/27.02 = 244$ Bq/Kg !!! C'est presque le double des bananes (3 520 PicoCuries ou 130 Becquerels par kilo). C'est que la concentration en potassium (Potassium 40 ou « K 40 ») est presque le double (659 contre 358 mg par kilo) et celle du carbone (carbone 14) est plus haute aussi car il y a moins d'eau et plus de lipides dans la noix, qui contient environ 65 % de carbone contre 10 % dans la banane.

Malheureusement, du à certains sols naturellement contaminés, certaines noix du Brésil contiennent des traces de radium radioactif !

L'analogie de la banane

Elle est souvent avancée par les partisans du nucléaire, qui mettent sur pied d'égalité la radioactivité des déchets nucléaires et les éléments radioactifs naturels présents dans la nourriture saine, comme le potassium 40. C'est un fait que les bananes (et plus encore les noix du Brésil) sont chargées en potassium qui est toujours associé à son isotope radioactif. Il y a 130 Becquerels de K40 par kilo dans les bananes et même 244 Bq/kg dans les noix du Brésil⁴² !

Cependant la comparaison ne tient pas car :

- Le potassium est très bien réparti, principalement dans les cellules, et parfaitement régulé par l'organisme pour des raisons d'importance vitale⁴³. La proportion de 0,0117 % de K40 radioactif dans le potassium naturel non radioactif (K40/K39 ~ 1/10 000 !) est aussi maintenue dans l'organisme car il n'y a aucun processus naturel connu capable de concentrer le K40.
- Le potassium total ne s'accumule pas, la quantité de potassium dans l'organisme est fixe et quelques heures après avoir ingéré une banane⁴⁴, la quantité de Becquerels de K40 se rétablit à ce qu'il était avant l'ingestion, soit aux environs de 5000 Bq. Mangeons donc autant de bananes, de fruits et légumes ou de pommes de terre que nous le voulons. Le potassium 40 correspond à une dose annuelle de l'ordre de 0,39 mSv /an, par rapport à laquelle la dose de 0,01 mSv/an du Carbone 14 est apparemment négligeable⁴⁵. Un homme de 70 kg subirait chaque seconde la désintégration de 4 400 atomes de K40.
- Le K40 est indéniablement nocif à forte concentration. Des aliments au potassium enrichi en K40 seraient cancérigènes, heureusement ils n'existent pas !⁴⁶. Mais la vie fait bien les choses, le potassium a tant d'effets positifs biochimiques protecteurs de la santé que ces effets neutralisent et outrepassent complètement l'effet nuisible de cette quantité associée de noyaux de potassium radioactifs. Les recherches récentes montrent que les produits cancérigènes ont tendance à faire descendre la concentration de potassium dans les cellules. Les agents cancérigènes alimentaires étudiés⁴⁷ incluent le sodium, le cadmium, certaines graisses, le cholestérol, les

41 Source : http://fr.wikipedia.org/wiki/Noix_du_Br%C3%A9sil

42 La noix du Brésil contient souvent des traces de Radium 226, jusqu'à 260 Bq/Kg suivant la provenance.

43 Le rapport sodium / potassium règle la perméabilité de la cellule et donc aussi la rétention d'eau, et indirectement le taux de sodium/potassium dans le sang.

44 https://fr.wikipedia.org/wiki/Dose_%C3%A9quivalente_en_bananes Lors de l'ingestion de potassium normal, le corps rejette très vite la quantité de potassium en excès et donc le K40 associé. Dans le cas d'une contamination au K40 ou au C14, les temps d'élimination sont beaucoup plus longs !

45. [Radiocarbon in food: a non-problem of health effects](#)

46 Ce qui serait le cas en cas d'irradiation d'un aliment ou d'un sol par des neutrons (par utilisation d'une bombe à neutrons ?), transmutant par exemple le K 39 en K 40. En dehors de ce cas, la concentration de 0,0117 % de K40 dans le potassium naturel est typique de cette planète, et le potassium enrichi n'existe pas.

calories, et l'alcool⁴⁸; les agents anti cancérigènes étudiés dans cette recherche incluent le potassium, les vitamines A, C, and D, le sélénium, et les fibres, qui ont tendance à faire remonter le taux de potassium dans les cellules. Partout où le K40 pourrait nuire, l'effet biochimique du potassium prend le dessus.

- L'apport quotidien et nécessaire de potassium (patates, fruits, légumes...), entre 3,5 et 4 grammes, nous fait absorber de 100 à 150 Bq de K40 et a en même temps un effet protecteur et anticancéreux !
- Le Césium 137 (ou 134) est de la même famille chimique que le potassium, mais son comportement n'est pas vraiment identique, il s'accumule et reste longtemps dans l'organisme, et les Becquerels de CS 137 se concentrent par milliers dans certains organes, en particulier la thyroïde et le muscle cardiaque où ils font des dégâts considérables, comme l'a montré en particulier le Pr Youri Bandajevsky en étudiant de la population contaminée par le Césium 137 de Tchernobyl.⁴⁹ Il ne s'agit pas seulement de cancers, mais de troubles cardiaques, qui attirent l'attention car ils devraient être rares chez les enfants !
- Le potassium 40 joue un rôle non négligeable dans le bilan calorifique⁵⁰ du noyau de la terre. Normalement comme il s'agit d'un élément léger, et dont la proportion isotopique (K40/K39) est de d'1/10000, on ne pensait pas le retrouver au centre de la terre et encore moins y jouer un rôle important. Mais des scientifiques ont prouvé que dans les conditions qui règnent à cet endroit, le potassium peut se dissoudre dans le fer en grandes quantité et contribuer à la chaleur du noyau en complément de l'Uranium et du Thorium.

La radioactivité du tabac

Les engrais phosphatés utilisés pour le tabac (surtout américain !) comprennent de manière naturelle des radionucléides qui dérivent de la désintégration naturelle du Radon 222⁵¹ (Polonium 210 et Plomb 210). Cela est dû à l'utilisation d'un minerai particulier de phosphates⁵², appelé « apatite »! Le Polonium 210 est un des éléments les plus radioactifs qui soient, une quantité minuscule peut être dangereuse⁵³.

La dose efficace⁵⁴ serait de 1 µSv par paquet de 20, soit 0.05 µSv/cigarette⁵⁵. Au bout de l'année ça représente un quart à un tiers (en plus) de la radioactivité naturelle (à un paquet par jour), soit 0,36 mSv/an, en consommant 1 paquet de 20 cigarettes par jour. Cela correspond à une ou deux radios des poumons par rayons X.

47 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9216787>

48 Moins de potassium dans les cellules malades ou attaquées peut aussi signifier plus de potassium dans le sang, ce qu'on appelle « Hyperkalémie » !

49 <http://independentwho.org/fr/galina-et-youri-bandajevsky/> .

Youri Bandajevsky a maintenant quitté l'Ukraine pour la Lettonie et a reçu la nationalité Française.

50 Radioactive potassium may be major heat source in Earth's core :

https://www.berkeley.edu/news/media/releases/2003/12/10_heat.shtml

51 C'est un des derniers stades de la désintégration de l'uranium.

52 Il semble qu'ils utilisent cet engrais potassique pour diminuer la quantité d'azote dans la plante, ce qui aurait un effet positif sur le goût du tabac.

53 Le polonium 210 présente une très forte activité spécifique, de 166 TBq/g. Un seul gramme de Po 210 pur est donc le siège de $1,66 \times 10^{14}$ désintégrations par seconde, et émet donc autant de particules α que 4,5 kg de radium 226 ou 13,5 tonnes d'uranium 238 ! La radio toxicité du polonium 210 est de 0,51 µSv/Bq quand il est ingéré, et 2,5 µSv/Bq quand il est inhalé. 5 microgrammes suffisent à tuer un humain adulte (il est près d'un million de fois plus toxique que le cyanure de potassium).

54 Traduction de « effective dose ».

55 Source : <http://hps.org/publicinformation/ate/q8521.html>

Il y aurait 0.04 picocuries de polonium 210 par cigarette. 1 paquet/jour pendant un an (Selon Scientific American ci-dessous) produirait 0.36 mSv, soit 360 µSv /an, soit 1 µSv/ paquet.

<http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=graphic-science-radiation-exposure>

Une recherche Egyptienne arrive à des résultats équivalents : <http://faculty.ksu.edu.sa/Khater/recent/published%20papers.pdf>

Mais attention pour le polonium inhalé, il s'agit ici de contamination interne, plus pernicieuse que les rayons X, les tentatives de comparaisons entre les deux sont assez contestable. Remarquons aussi que le Po212 continue pendant des mois à faire son effet (sa demi-vie est de 138 jours).

Durant la combustion de la cigarette, vos poumons absorbent plus de radioactivité et certainement plus de dégâts que tout votre corps en reçoit de la radioactivité naturelle.

Les experts disent que le risque de cancer du poumon radio-induit par la cigarette est marginal par rapport au total des cancers dus au tabac, mais rien n'est sûr, les avis sont partagés...

Ce problème concerne-t-il uniquement le tabac ? Ce n'est pas sûr !

BILAN

Les doses reçues dans le cadre des applications médicales peuvent correspondre, voire dépasser l'équivalent de la radioactivité naturelle.

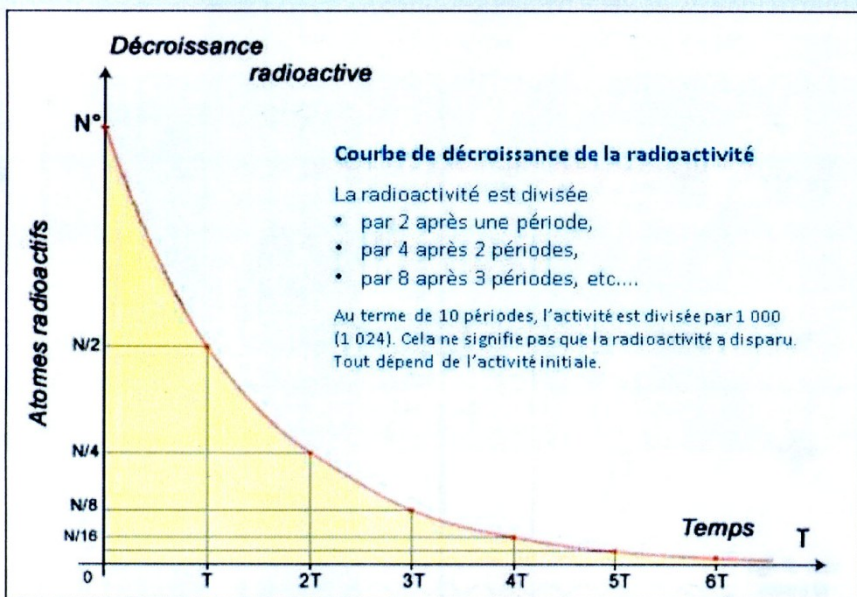
Nous sommes donc soumis à quatre sources de radioactivité :

- Naturelle
- Naturelle renforcée, qui résulte de la concentration par l'activité humaine de produits naturels, par exemple les déchets miniers utilisés comme remblais, le radon stagnant dans des locaux mal ventilés, etc.....
- Médicale
- La pollution radioactive du nucléaire civil et militaire

Rappel du principe de la « demi-vie » : après une demi-vie il reste la moitié des noyaux originels. L'autre moitié n'a pas disparu, elle s'est transmutée en d'autres éléments et dans certains cas ces éléments ne sont pas stables et ont eux-aussi leur propre demi-vie et leurs descendants...

Il faut 10 demi-vies pour qu'il reste à peu près un millième⁵⁶ de la quantité de radionucléides originels.

Après 240 000 ans, hors d'un kilo de plutonium, il reste encore un gramme, et cette quantité n'est pas négligeable !



⁵⁶ $2^{10} = 1024$

LE CALCUL DES EFFETS DE DOSE COLLECTIVE

Le problème des faibles doses est complexe et demanderait un long développement. Actuellement les organismes de contrôle nucléaire et l'OMS s'accordent sur un modèle linéaire sans seuil, c'est-à-dire que l'effet est proportionnel à la dose et que toute dose, même faible, peut avoir un effet. Ainsi l'OMS et l'IPPNW⁵⁷ utilisent une formule générale pour estimer l'effet de dose collective sur une population assez grande pour être homogène, en particulier au niveau de la pyramide des âges. La formule utilisée par l'OMS est :

$$0.2/Sv * P$$

Où Sv représente la dose annuelle exprimée en Sieverts et P le nombre de personnes
Cette formule donne une estimation de l'augmentation de la morbidité cancéreuse pour une population soumise à une dose de radiations.

Donc si la norme passe à 20 mSv comme au Japon suite à accident nucléaire, et donc par exemple pour une population de 100 000 personnes soumises à un excès de dose de 18 mSv le calcul est donc :

$$0.2 * 0.018 * 100\ 000 = 0.0036 * 100\ 000 = 360$$

Ce qui donne donc pour 100.000 personnes un excès de morbidité cancéreuse de 360 personnes sur un an.

L'IPPNW estime qu'il faut doubler le coefficient et utiliser la formule $0.4/Sv * P$, qui donnerait 720 malades.

Comme expliqué dans le document, cela suppose une population avec une distribution correcte des âges, en sous-estimant vraisemblablement l'effet sur les enfants et fœtus, plus sensibles...

En plus il ne faut pas oublier que le groupe des maladies radio-induites ne comporte pas que des cancers, il y a aussi des troubles cardiaques, etc...

Pour plus d'information voir le rapport de l'IPPNW⁵⁸ sur les effets sanitaires des radiations ionisantes.

⁵⁷ Association Internationale des Médecins pour la Prévention de la Guerre Nucléaire

<https://www.ippnw.eu/fr/accueil.html>

⁵⁸ Health effects of ionizing radiation: Summary of expert meeting in Ulm, Germany, October 19th, 2013

https://www.ippnw.de/commonFiles/pdfs/Atomenergie/Health_effects_of_ionising_radiation.pdf

REFÉRENCES

Le site de la CRIIRAD, ou « Commission de Recherche et d'Information Indépendantes sur la Radioactivité » <http://www.criirad.org/> qui m'a permis de reproduire la plupart des illustrations présentes dans ce texte.

Introduction à la radioactivité

<http://www.laradioactivite.com/fr/site/pages/intro.html>

Le débat controversé sur les faibles doses (je prépare un texte sur le sujet)

https://fr.wikipedia.org/wiki/Faibles_doses_d%27irradiation

Tableau des éléments chimiques de Mendeleïev

http://fr.wikipedia.org/wiki/Tableau_périodique_des_éléments

Tableau des nucléides extrêmement complet, montrant la zone de stabilité au centre de l'infographie : vers la droite du tableau il y a un excès de neutrons, vers la gauche, un excès de protons

<https://www-nds.iaea.org/relnsd/vcharthtml/VChartHTML.html>

Quelques Activités Spécifiques en Bq/g

Americium	
241Am	1.27E+11 ⁵⁹
Plutonium	
238Pu	6.33E+11
239Pu	2.30E+09
Uranium	
235U	7.11E+04
238U	1.24E+04
Thorium	
229Th	7.91E+09
230Th	7.63E+08
232Th	4.06E+03
Polonium	
210Po	1,66E+14

SITES DE CONVERSION :

<http://www.unit-conversion.info/metric.html>

<http://www.convert-measurement-units.com/conversion-calculator.php?type=radioactivity>

<http://www.convertworld.com/fr/dose-equivalente/Sievert.html>

<http://www.civildefensemuseum.org/southrad/conversion.html>

<http://www.convert-me.com/en/convert/radiation/>

⁵⁹ 1.27E+11 est équivalent à 1,27 10¹¹ soit 11 zéros, ou 100 milliards!

COMPLÉMENTS

➤ ACTIVITÉ : le becquerel (Bq)

1 Bq = 1 désintégration par seconde

Chaque désintégration libère une certaine quantité d'énergie, typique de chaque radionucléide.

Exprimée en eV, elle varie typiquement de quelques keV à une dizaine de MeV.

Tritium : 18,6 keV / Radium 226 : 4 870 KeV (4,87 MeV) / Cobalt 60 : 2 824 keV

➤ DOSE ABSORBÉE – D : le gray (Gy)

Quantité d'énergie absorbée par unité de masse (dose à l'organe, au corps entier...)

1 Gy = 1 joule par kilogramme (1 J.kg⁻¹)

1 eV = 10⁻¹⁹ J

➤ DOSE ÉQUIVALENTE – H : le sievert (Sv)

Dose absorbée D pondérée par un coefficient censé tenir compte de l'efficacité spécifique des différents types de rayonnement (α , β , γ , neutrons ...)

$W_R = 1$ pour les X, γ , β / $W_R = 20$ pour les α et neutrons de 1 MeV

➤ DOSE EFFICACE – E : le sievert (Sv)

Somme des doses équivalentes pondérées par un coefficient censé tenir compte de la radiosensibilité des tissus (cancers et anomalies génétiques pour les gonades)

$W_T = 0,12$ pour poumons, seins, côlon, moelle osseuse, estomac, tissus restants

$W_T = 0,04$ pour thyroïde, foie, œsophage, vessie / = 0,01 pour surfaces osseuses, cerveau, glandes salivaires, peau

$W_T = 0,8$ pour gonades (somme des $W_T = 1$)



ECHELLES :

En tête (avant la virgule)	Zéros	Après la virgule
Kilo (K)	3	Milli (m)
Méga (M)	6	Micro (μ)
Giga (G)	9	Nano (n)
Téra (T)	12	Pico (p)
Peta	15	Femto
Exam	18	Atto
Zetta	21	Zepto
Yocto	24	Yotta

Ce document est évolutif, la dernière version se trouve à <http://tinyurl.com/z4f9gcb>

Il existe aussi un document sur le tritium à <http://tinyurl.com/jjaenhf>

Normes en cas d'accident :

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32016R0052>

Auteur : philippe.looze@cwacwa.be

