

## En connaître un rayon

Jacques PEULVÉ

### 1. INTRODUCTION

La radioactivité se mesure en **becquerel**, 1 Bq = 1 désintégration/seconde.

Elle produit différents types de rayonnements ionisants : les particules alpha ( $\alpha$ ), les particules bêta  $\beta$  ( $\beta^-$  : électrons,  $\beta^+$  : positons), les protons ( $p$ ), les neutrons ( $n$ ) et les rayons gamma ( $\gamma$ ) ou X ( $x$ ). Ces rayonnements délivrent de l'énergie à la matière appelée "**dose absorbée**", dont l'unité de mesure est le **gray** qui est égal à 1 joule par kg de matière (**1 Gy = 1 J.kg<sup>-1</sup>** ou 1 J/kg).

Pour tenir compte des effets biologiques sur les êtres vivants, les instances internationales ont défini « l'équivalent de dose » exprimée en sievert (**Sv**). Pour les rayonnements X ( $x$ ),  $\beta^-$  et  $\gamma$  **1 Sv = 1 Gy**.

Selon la durée et le niveau d'exposition qu'elles auront subi, les cellules des tissus vivants peuvent se **réparer totalement, disparaître** ou se **réparer partiellement**. Ce sont ces cellules modifiées qui pourrait être, très exceptionnellement, à l'origine d'un cancer au bout de plusieurs années.

La radioactivité naturelle est à l'origine d'une exposition, pour tous les êtres humains, supérieure à **2,4 mSv/an au niveau de la mer**, c'est la vie !

### 2. RAPPEL SUR LA RADIOACTIVITÉ

En se désintégrant, le noyau d'un isotope radioactif, crée un nouvel isotope ( $^{238}\text{U} \Rightarrow ^{234}\text{Th}$ ) plus léger et éjecte le surplus de masse et/ou d'énergie, c'est le **phénomène de transformation spontanée d'un nucléide avec émission de rayonnements ionisants**. Le nombre de désintégration par seconde définit la radioactivité de cet élément.

Elle se mesure en becquerel (symbole Bq) avec la définition suivante : **1 Bq = 1 désintégration par seconde**.

Un gramme (1 g) de radium équivaut à  $3,7 \cdot 10^{10}$  Bq, c'est l'ancienne unité de radioactivité : **le Curie (Ci)**.

Pour la radioactivité spécifique, on parlera de Bq par kg de matière, 1 Bq/m<sup>3</sup> d'air ou 1 Bq/m<sup>3</sup> d'eau, s'il se produit une désintégration par seconde dans ce kg de matière, ce m<sup>3</sup> d'air ou ce m<sup>3</sup> d'eau. Comme le becquerel est une unité à l'échelle atomique, on utilise couramment les multiples MBq (10<sup>6</sup>), GBq (10<sup>9</sup>), TBq (10<sup>12</sup>), PBq (10<sup>15</sup>).

### 3. DIFFÉRENTS TYPES DE RAYONNEMENTS

Les émissions provenant du noyau qui se désintègre spontanément ou dans le phénomène de fission constituent les rayonnements ionisants. Ces rayonnements sont émis aléatoirement dans toutes les directions d'un volume sphérique entourant l'atome, sous les différentes formes suivantes.

#### 3.1. PARTICULES ÉLÉMENTAIRES OU ÉMISSIONS CORPUSCULAIRES

On distingue les quatre types de rayonnements suivants :

- **p** (proton) (noyau de l'atome d'hydrogène) : il représente l'unité de masse atomique (UMA) soit  $1,7 \cdot 10^{-24}$  gramme et possède une charge électrique positive de  $1,6 \cdot 10^{-19}$  coulomb,

- **n** (neutron) masse = 1 UMA sans charge électrique,
- **$\alpha$**  (alpha) constitué de deux protons et deux neutrons (c'est le noyau de l'hélium),
- **$\beta^-$**  (bêta) c'est l'électron, de masse =  $1/1840^{\text{ème}}$  de la masse du proton et charge électrique négative de  $1,6 \cdot 10^{-19}$  coulomb ;

### 3.2. RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Ce sont les photons, caractérisés par leur longueur d'onde :

- **X (x)** pour une énergie de 100.000 électronvolts (100 keV) sa longueur d'onde est de  $12,4 \cdot 10^{-12}$  mètre,
- **gamma ( $\gamma$ )** avec une énergie de 1 million d'électronvolts (1 MeV) pour une longueur d'onde de  $1,24 \cdot 10^{-12}$  mètre.

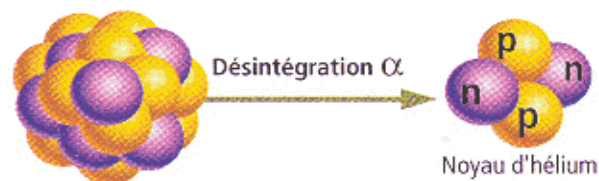
## 4. L'ACTION DES RAYONNEMENTS

### 4.1. L'IONISATION

Les rayonnements en pénétrant dans la matière transfèrent assez d'énergie aux électrons pour les arracher de leur atome. Les atomes ainsi privés d'un ou plusieurs de leurs électrons sont chargés positivement, alors que ceux qui accueillent les électrons libérés se chargent négativement. Ces atomes chargés positivement ou négativement sont appelés "ions", ils entraînent une modification des liaisons chimiques et peuvent devenir radioactifs (émetteurs  $\gamma$ ) à leur tour.

### 4.2. ALPHA ( $\alpha$ )

Ils sont émis par la désintégration de noyaux de numéro atomique généralement supérieur à 90. Du fait de leur masse et de leur charge, ils sont fortement ionisants mais ne parcourent que quelques centimètres dans l'air, une feuille de papier les arrête. Ils sont stoppés dès les premiers microns lorsqu'ils pénètrent dans les tissus vivants mais ils auront alors libéré toute leur énergie, comprise entre 2 et 9 MeV.



Les principaux risques sont donc une contamination cutanée, mais surtout une contamination interne, entraînant la destruction des tissus au contact des substances contaminées par des émetteurs  $\alpha$ .

### 4.3. BÊTA ( $\beta$ )

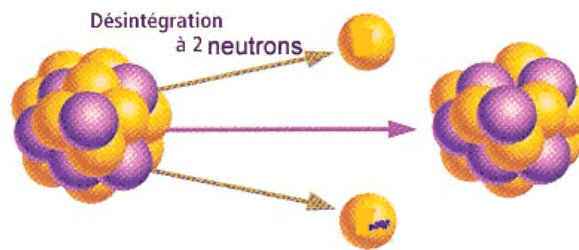
L'électron qui les compose dispose d'une énergie variant entre 0 et 2 MeV. Les  $\beta^-$  parcourent quelques mètres dans l'air, une feuille d'aluminium les arrête. Ils pénètrent de quelques microns à quelques centaines de microns dans les tissus vivants. Ils agissent en perturbant les couches d'électrons entourant les noyaux (excitation) ou en arrachant des électrons des couches périphériques (ionisation) et déstabilisent les atomes et les molécules.



### 4.4. NEUTRONS (N)

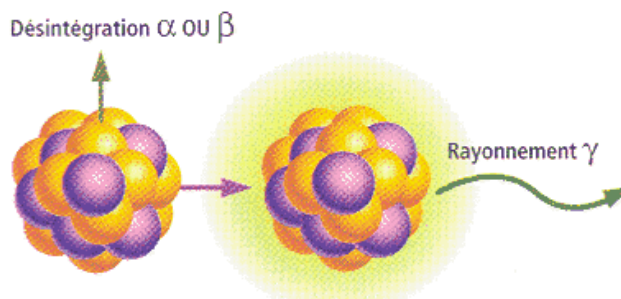
Dépourvus de charge électrique mais avec une masse et une énergie d'émission importantes, ils ont un parcours rectiligne à travers la matière, qui n'est modifié que lorsqu'ils entrent en collision avec un noyau ou un

électron (comme des boules de pétanque). En fonction de leur énergie initiale, ils peuvent parcourir plusieurs dizaines de mètres dans l'air.



#### 4.5. GAMMA ( $\gamma$ ) ET RAYONS X (x)

Les ondes électromagnétiques, ou photons, parcourent plusieurs centaines de mètres dans l'air et pénètrent profondément les tissus vivants, mais en n'y perdant que peu d'énergie. Il faut plusieurs dizaines de centimètres de béton ou de plomb pour les arrêter complètement. Comme pour les neutrons, ils agissent par collision avec les noyaux ou les électrons des couches périphériques des atomes.



### 5. LES MESURES D'EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS

#### 5.1. UNITÉ DE DOSE ABSORBÉE ET DÉBIT DE DOSE

L'exposition aux rayonnements ionisants se caractérise finalement par la quantité d'énergie absorbée par la matière exposée.

L'unité de "dose absorbée" qui définit l'énergie transférée à la matière irradiée par le rayonnement incident est le gray (Gy). Il est égal à une énergie absorbée de 1 joule par kg de matière, soit : **1 Gy = 1 J.kg<sup>-1</sup> (1 J/kg)**

**Nota** : Le rad est l'ancienne unité de dose absorbée (1 Gy = 100 rads).

Cette énergie absorbée entraîne dans l'organisme une élévation de température très faible des tissus irradiés d'environ 0,24 millièmes de °C.

L'effet biologique d'une irradiation de l'organisme, tel que la probabilité d'induction de cancers, sera fonction de l'énergie absorbée dans l'organisme. A titre d'exemple, une radiographie pulmonaire délivre une dose d'environ 1/1000 de Gray (1 milligray ou 1 mGy).

Une même dose absorbée a des effets très différents sur les tissus vivants selon sa durée d'exposition (suivant son intensité. Par exemple 1 mG reçu en un an n'a pas le même effet que 1 mG reçu en une heure). C'est pourquoi on définit un **débit de dose** exprimé en gray par heure (Gy/h).

#### 5.2. UNITÉ D'ÉQUIVALENT DE DOSE

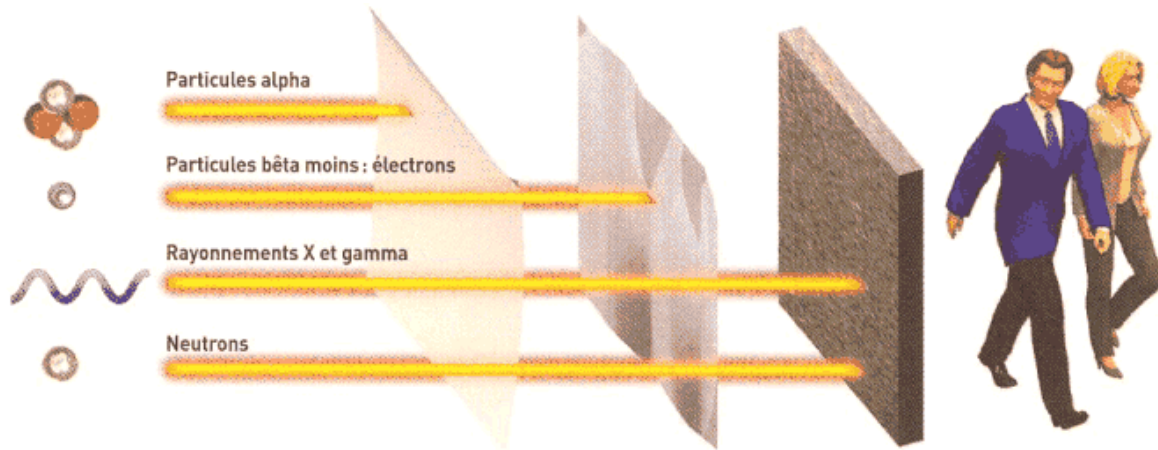
Les niveaux d'exposition des personnes du public et des travailleurs aux rayonnements ionisants, précisés dans les documents réglementaires, sont définis comme le produit de la dose absorbée multipliée par un facteur de qualité. Ils sont exprimés en sievert.

La dose en sievert, ou "équivalent de dose", s'obtient à partir de la dose absorbée par les relations suivantes :  $D$  (Sv) =  $D$  (Gy) x  $Q$ , où  $Q$  est défini comme étant un facteur de qualité dépendant de la nature du rayonnement

- pour les rayonnements  $\alpha$ ,  $\beta$ - et  $\gamma$   $Q = 1$  : dose en sievert = dose en gray  $D$ (Sv) =  $D$  (Gy),

- pour les neutrons,  $Q = 10$  : dose en sievert = 10 fois la dose en gray  $D(\text{Sv}) = 10 D(\text{Gy})$ ,
- pour les rayonnements  $\alpha$ ,  $Q = 20$  : dose en sievert = 20 fois la dose en gray  $D(\text{Sv}) = 20 D(\text{Gy})$

Ces facteurs 10 et 20 sont préconisés par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) - UNESCO qui considère que les neutrons et les rayonnements  $\alpha$  produisent le même effet biologique, avec des doses absorbées respectivement 10 et 20 fois plus faibles, que les rayonnements  $X$ ,  $\beta$ - et  $\gamma$ .



### 5.3. DÉTECTION DES RAYONNEMENTS IONISANTS

Les appareils de mesure modernes sont capables de détecter les rayonnements émis par un seul atome radioactif. Aucun rayon ne peut leur échapper (pour peu qu'ils soient placés sur leur parcours, mais ils peuvent aisément atteindre des dimensions couvrant la totalité de la silhouette humaine).

Sachant se protéger par la distance avec le point d'émission, en s'abritant derrière des écrans de plomb ou de béton et détecter la moindre source de rayonnement, il est donc aisé de se protéger des rayonnements dans des circonstances normales.

## 6. EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS

Nous avons vu que les rayonnements nucléaires auxquels sont soumis les êtres vivants provoquent au sein des composants des cellules (molécules regroupant plusieurs atomes) qui constituent les différents organes, soit :

- une excitation des électrons des couches périphériques des atomes produisant une élévation de température,
- une ionisation par éjection d'électrons.

C'est cette ionisation qui provoque les effets les plus importants en entraînant :

- la formation de radicaux libres et création d'un potentiel oxydant,
- la modification des membranes cellulaires,
- la modification de l'ADN.

Il s'agit d'interactions physicochimiques identiques à celles provoquées par des agressions physiques (chocs violents, élévation de température, déshydratation) ou chimiques (absorption de substances nocives).

Chaque cellule répare en permanence de telles modifications (que l'on estime à 10 000 par heure pour l'ADN qui détient le code génétique de reproduction des cellules). Selon le niveau d'exposition et sa durée on constate différentes réactions de la cellule :

- **Réparation complète**, la cellule récupère la totalité de ses caractéristiques antérieures,
- **Nécrose** de la cellule, lorsque les dégâts sont importants. Si le nombre de cellules nécrosées reste limité, l'organisme les élimine et les remplace, au-delà une lésion apparaît (identique à une brûlure) qu'il est possible de soigner avec les moyens médicaux traditionnels,
- **Réparation incomplète**, qui permet la survie de la cellule avec un "handicap". Si elle n'est pas capable de se reproduire, la cellule sera éliminée à terme, sinon elle peut produire une tumeur.

Les cellules d'une tumeur proviennent de la reproduction d'une de ces cellules à "handicap". Les tumeurs peuvent être éliminées par le système de défense immunitaire de l'organisme.

Dans le cas contraire, la prolifération de cellules qui n'obéissent pas au code de reproduction normalement contrôlé par l'organisme, peuvent proliférer anarchiquement et, à l'issue d'une période de plusieurs années, conduire au développement d'un cancer.

Mais notre corps dispose encore d'un moyen de défense : nos cellules contiennent deux jeux de chromosomes homologues et donc de deux jeux de chaque gène. Un cancer ne pourra se développer que si ces deux jeux ont subi la même "mutation" ce qui, naturellement, réduit considérablement la probabilité d'apparition d'un cancer.

## 7. NIVEAU D'EXPOSITION DE LA POPULATION FRANCAISE

[Voir fiches GASN N° 1 et 12.](#)

### 7.1. RAYONNEMENT COSMIQUE

Tous les corps à la surface du globe terrestre sont soumis aux rayons provenant de la voûte céleste, et principalement du soleil, appelés "rayons cosmiques". Ils sont beaucoup plus importants en altitude qu'au niveau de la mer car l'atmosphère les absorbe en partie. Par réaction avec l'azote de l'air ils produisent du carbone 14, isotope radioactif ayant une vie moyenne de 5.730 ans. Ils produisent du tritium et du béryllium, radioactifs également.

### 7.2. RAYONNEMENT TELLURIQUE

Il faut ajouter les rayonnements provenant des produits radioactifs contenus dans les sols et les matériaux de construction qu'ils "contaminent", d'une manière très variable suivant les régions, depuis l'origine de la terre. On y trouve le potassium 40, qui a une vie moyenne de 1.3 milliard d'années. Mais on y trouve également la lignée des isotopes de l'uranium, du thorium et du radium (dont les descendants gazeux : les radons et les thorons).

### 7.3. EXPOSITION INTERNE D'ORIGINE NATURELLE

Suite à l'absorption des radionucléides de l'atmosphère et du sol, tous les êtres vivants (animaux et végétaux) sont donc en permanence "naturellement" contaminés par ces produits radioactifs. Au total le corps humain contient plus de 100 Bq par kilogramme, dont le potassium 40, composant incontournable de tout corps vivant, le carbone 14 et le tritium. Cela totalise plus de 8 000 Bq pour un homme adulte normal (ce qui est également vrai pour les antinucléaires !!!).

### 7.4. EXPOSITION PROVOQUÉE PAR LES ACTIVITÉS HUMAINES

La principale source d'exposition des français, due aux activités humaines, provient des **radiographies médicales et dentaires et les examens de médecine nucléaire**. Peut-on s'en plaindre ? L'équivalent de dose est en moyenne de 1 mSv/an.

L'équivalent de dose moyen délivré à la population par les activités industrielles (y compris électronucléaires) est de l'ordre de 0,002 mSv (2µSv/a).

## 4 BIBLIOGRAPHIE

- [1] Georges CHARPAK - Devenez sorcier, devenez savant
- [2] Maurice TUBIANA - La radioactivité et ses applications - 1996 - Que sais-je ? PUF
- [3] Henri JOFFRE - Les effets biologiques des faibles doses de rayonnements ionisants 15/03/2002
- [4] Hubert CLERC - Radioactivité et radioprotection 17/09/97 - CEA/Valduc/SPR
- [5] L'homme et les rayonnements 1999 - CEA Direction de la communication
- [6] Jean et François HAMARD - Radioactivité, rayonnements ionisants et radioprotection à la portée de tous – 2001
- [7] Jacques MACHEFER - L'énergie nucléaire

## Annexe 1 : Echelle de quelques expositions aux rayonnements

<b>Échelle (mSv)</b>	<b>Origine des expositions aux rayonnements</b>
<b>50</b>	<b>Dose annuelle exceptionnelle tolérée pour les travailleurs</b>
<b>20</b>	<b>30 = Irradiation naturelle élevée (a) 20 = Limite réglementaire annuelle d'exposition des travailleurs</b>
<b>12</b>	<b>Scanner abdominal</b>
<b>10</b>	<b>Radon en région granitique</b>
<b>3,6</b>	<b>Equivalent de dose à 4500 m d'altitude</b>
<b>2</b>	<b>2,4 = Total d'origine naturelle (moyenne en France)</b>
<b>1</b>	<b>1,3 = Radon (moyenne en France) 1 = Limite d'exposition du public</b>
<b>0,5</b>	<b>0,5 = Rayonnement tellurique (sol + murs, moyenne en France) 0,4 = Rayonnement cosmique (au niveau de la mer)</b>
<b>0,2</b>	<b>0,3 = Total dû aux activités humaines Irradiation corporelle interne (hors radon)</b>
<b>0,1</b>	<b>Equivalent d'une radiographie pulmonaire (b)</b>
<b>0,06</b>	<b>Vol Paris-New York (aller et retour)</b>
<b>0,02</b>	<b>0,017 Essais des armes dans l'atmosphère</b>
<b>0,01</b>	<b>Activités industrielles non nucléaires (charbon, engrais, ...)</b>
<b>0,006</b>	<b>Radiographie dentaire panoramique</b>
<b>0,002</b>	<b>Incidences des centrales nucléaires sur le voisinage (b)</b>

(a) Au KERALA en Inde & à GUARAPARI au Brésil

(b) L'Homme et les rayonnements, Collection CEA 2002