

EXPOSITIONS EXTERNE & INTERNE

1 - EXPOSITION EXTERNE

✓ Rayonnements α , β , γ et X

✓ Neutrons

2 - EXPOSITION INTERNE

✓ Causes d'exposition

✓ Transfert et répartition dans l'organisme

✓ Devenir des radioéléments

✓ Équivalent de dose engagée

✓ Normes

A. Belafrites

Dosimetrie des R.I.

1

Exposition Externe-alpha

Particules α :

✓ Origine : Famille radioactives (^{238}U , ^{232}Th , ^{235}U)

✓ Énergie : $4 < E_\alpha < 9 \text{ MeV}$

✓ Parcours : dizaines de μm dans les tissus de l'organisme

⇒ traverser la couche morte de l'épiderme

⇒ pas d'irradiation de l'organisme

A. Belafrites

Dosimetrie des R.I.

2

Exposition Externe-béta

Particules β :

- ✓ Énergie : $10 \text{ keV} < E_\beta < 3 \text{ MeV}$
 ${}^3\text{H}$ (17 keV) ${}^{14}\text{C}$ (156 keV) ${}^{32}\text{P}$ (1,71 MeV)
- ✓ Parcours : < mm dans les tissus de l'organisme

Profondeur d'irradiation

$$\checkmark E_\beta > 0,8 \text{ MeV} \Rightarrow R_{\text{cm}} = \frac{0,543 \cdot E_{\text{max}} - 0,160}{\rho} \quad \text{Tissus mous } \rho = 1$$

$$\checkmark E_\beta < 0,8 \text{ MeV} \Rightarrow R_{\text{cm}} = \frac{0,4 \cdot E_{\text{max}}^{1,38}}{\rho}$$

A. Belafrites

Dosimetrie des R.I.

3

Parcours maximum β dans l'organisme

Radioélément	Energie (keV)	Parcours (mm)
${}^3\text{H}$	17	< 0,1
${}^{14}\text{C}$	156	0,4
${}^{35}\text{S}$	167	0,45
${}^{33}\text{P}$	249	0,65
${}^{45}\text{Ca}$	257	0,70
${}^{36}\text{Cl}$	710	2,5
${}^{24}\text{Na}$	1390	5,9
${}^{32}\text{P}$	1710	8

$E_\beta > 200 \text{ keV} \Rightarrow$ l'exposition externe est à prendre en considération

\Rightarrow plus profonde que l'énergie est plus importante

A. Belafrites

Dosimetrie des R.I.

4

Estimation de débit de dose de source β

✓ Relations débit de dose absorbée /débit de fluence

$$\dot{D} = 1,610^{-14} \dot{F} \left(\frac{S}{\rho} \right)_c \quad \text{source ponctuelle d'activité } A \Rightarrow \dot{F} = \frac{A \vartheta}{4\pi d^2}$$

✓ Relation empirique

Pour $E_\beta > 200$ keV $\Rightarrow dE/dx$ est indépendant de l'énergie

$$\text{Débit de dose en Gy/h à 10 cm} \Rightarrow \dot{D} = 910^{-10} A \vartheta$$

✓ Fiches techniques de radioprotection

$$\dot{D} = f(d) \text{ pour une source de 1 MBq} \quad \text{Exemple : } {}^{32}\text{P}$$

$$d = 10 \text{ cm} \Rightarrow \dot{D} = 1070 \mu\text{Gy/h}$$

$$d = 100 \text{ cm} \Rightarrow \dot{D} = 9,5 \mu\text{Gy/h}$$

A. Belafrites

Dosimetrie des R.I.

5

Exposition externe photons

✓ Relations débit de dose absorbée /débit de fluence

$$\dot{D} = 1,6 \cdot 10^{-14} \dot{F} E \frac{\mu_{\text{en}}}{\rho} \quad \text{source ponctuelle d'activité } A \Rightarrow \dot{F} = \frac{A \vartheta}{4\pi d^2}$$

✓ Relation empirique : $60 < E_\gamma < 2000$ keV

$$\text{Débit de dose (Gy/h) à } d \text{ (cm) pour } E \text{ (MeV)} \Rightarrow \dot{D} = \frac{1,4610^{-13} A \vartheta E}{d^2}$$

✓ Fiches techniques de radioprotection

$$\dot{D} = f(d) \text{ pour une source de 1 MBq} \quad \text{Exemple : } {}^{60}\text{Co}$$

$$d = 10 \text{ cm} \Rightarrow \dot{D} = 8,8 \mu\text{Sv/h}$$

$$d = 100 \text{ cm} \Rightarrow \dot{D} = 0,1 \mu\text{Sv/h}$$

A. Belafrites

Dosimetrie des R.I.

6

Exposition externe neutrons

Neutrons :

- ✓ calcul complexe, compte tenu du fait que le
- ✓ facteur de qualité dépend de l'énergie des neutrons

E_n (MeV)	Facteur de conversion (n.cm ⁻² .s ⁻¹ par mrem.h ⁻¹)
10 ⁻⁶	220
10 ⁻³	270
10 ⁻¹	48
1	8,5
10	6,8
100	5,6
1000	2,2

Valeurs recommandées par la CIPR

A. Belafrites

Dosimetrie des R.I.

7

Causes d'exposition interne

Les radioéléments pénétrés dans l'organisme, y séjournent, irradient, pendant ce temps de présence, les tissus des organes et délivrent donc une dose à l'organisme.

✓ contamination du milieu de travail

- ❑ dans l'atmosphère
- ❑ sur les surfaces : sols, plan de travail, matériels
- ❑ sur les vêtements ou sur la peau

✓ Risque d'exposition externe :

- ❑ dans l'atmosphère : aérosols, poussières, gaz, vapeurs, ..
- ❑ sur les surfaces : poussières avec risque de remise en suspension

A. Belafrites

Dosimetrie des R.I.

8

Transfert dans l'organisme par inhalation

Inhalation suivant la granulométrie \Rightarrow adhésion au tissu pulmonaire et tube digestif

- Composés solubles (pour 1 inhalé)
 - ❖ 0.25 exhalé
 - ❖ 0.25 va à travers les poumons, vers le sang puis vers les organes
 - ❖ 0.5 retenu par les voies supérieures va dans le tube digestif
- Composés insolubles (pour 1 inhalé)
 - ❖ 0.25 exhalé
 - ❖ 0.75 dans le tube digestif :
 - 0.125 des poumons,
 - 0.625 de la rétention dans les voies respiratoires supérieures

A. Belafrites

Dosimetrie des R.I.

9

Transfert dans l'organisme par ingestion

- ✓ Si le composé est soluble,
 - \Rightarrow il passe à travers la paroi intestinale, dans le sang qui le conduit vers les organes.
- ✓ Si le composé est insoluble,
 - \Rightarrow il est éliminé par les selles après un séjour plus ou moins long dans le tube digestif.

Contamination à travers la peau

- ✓ Blessure \Rightarrow radioélément entraîné par le sang
- ✓ Peau intacte \Rightarrow radioélément passe dans la lymphe

A. Belafrites

Dosimetrie des R.I.

10

Répartition dans l'organisme

Le radioélément passé dans le sang va fréquemment se comporter comme le composé chimique correspondant en matière d'affinité pour un organe.

Radioélément	Répartition
Tritium	Organisme entier
Carbone	Os, graisse
Phosphore	Os, foie
Soufre	Os, peau
Iode	Thyroïde
Césium	Muscles

- ✓ Répartition homogène dans l'organisme
- ✓ Fixation préférentielle sur certains organes (+ irradiés)

Devenir des radioéléments

- ✓ Décroissance du radioélément dans l'organisme par sa propre période T_r
- ✓ L'organisme élimine lui-même le radioélément, par renouvellement de ses constituants : période biologique T_b
- ✓ La vitesse de disparition du produit radioactif obéit à la combinaison de ces deux décroissances : période effective T_e :

$$\frac{1}{T_e} = \frac{1}{T_r} + \frac{1}{T_b}$$

Loi de décroissance : $A(t) = A_0 e^{-\lambda_e t}$

Exemple :

${}^3\text{H}$: $T_r = 12$ ans $T_b = 10$ jours $T_e = 10$ jours

${}^{131}\text{I}$: $T_r = 8$ jours $T_b = 140$ jours $T_e = 7,6$ jours

Équivalent de dose engagé

✓ **Dose engagée** : Présence d'un radioélément dans l'organisme

- l'activité incorporée
- la nature du radioélément
- la nature des rayonnements

✓ **Débit d'équivalent de dose** : décroît avec l'activité

$$\dot{H} = \frac{A \sum E_{\text{eff}} Q}{m}$$

✓ **L'équivalent de dose engagé** : sur un temps τ

$$H_{\tau} = \frac{A_0 \sum E_{\text{eff}} Q}{m \lambda_e} (1 - e^{-\lambda_e \tau})$$

$\tau = 50 \text{ ans vie active}$
 d'un travailleur

Limite dérivée de concentration dans l'air : LDCA

Dans une atmosphère contaminée, l'activité inhalée est fonction de la concentration de radionucléïdes présents dans l'air, du débit respiratoire et du temps de séjour :

$$A = C \cdot D_{\text{res}} \cdot t$$

A : Bq ;

C : Bq/m³ ;

D : m³/h

t : h

Débit respiratoire standard pour un travailleur D = 1,2 m³/h

$$\text{LDCA (Bq/m}^3\text{)} = \text{LAI (Bq) / 2400 m}^3$$

Application-1

Un faisceau parallèle d'électrons mono énergétiques d'énergie $E_e = 2 \text{ MeV}$ est émis par un accélérateur de particules.

1°) Quelle est la fluence Φ d'électrons qui produira une dose absorbée de 1 mGy dans l'air (en e.cm^{-2}) ?

2°) Quel sera le débit de fluence qui produira un débit de dose absorbée de 0,1 mGy.h⁻¹ dans l'eau (en $\text{e.cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)?

On donne $\left(\frac{S}{\rho}\right)_{\text{air}} = 1,71 \text{ MeV.cm}^2\text{.g}^{-1}$ et $\left(\frac{S}{\rho}\right)_{\text{eau}} = 1,89 \text{ MeV.cm}^2\text{.g}^{-1}$

Application -2

Calculer le débit de dose au contact de la peau pour une personne qui serait contaminée avec une source de phosphore 32 sur 1 cm² à raison de 1000 Bq.

On donne : $E_{\text{max}} = 1710 \text{ keV}$ $I = 100\% \text{ ce qui donne } E_{\text{moyen}} = 570 \text{ keV}$

$$\frac{S}{\rho_{\text{tissus}}} = 1,96 \text{ MeV.cm}^2\text{.g}^{-1}$$

Quel est la valeur du débit de dose dans l'air en mGy/h à 1 mètre d'une source ponctuelle de césum 137 ayant une activité égale à 1 GBq ? Vous ferez le calcul en négligeant l'atténuation de l'air puis en tenant compte de cette atténuation.

On négligera le rayonnement de freinage.

On donne :

Energie en keV	Intensité d'émission	$\frac{\mu}{\rho_{\text{air en cm}^2\text{g}^{-1}}}$	$\frac{\mu_{\text{en}}}{\rho_{\text{air en cm}^2\text{g}^{-1}}}$
662	85,2 %	0,075	0,0295

$$\rho_{\text{air}} = 1,293 \text{ kg.m}^{-3}$$

Réponses :
1°)

$$D = 1,6 \cdot 10^{-7} \cdot \left(\frac{S}{\rho} \right)_{\text{coll}} \Phi$$

Ce qui donne

$$\Phi = \frac{D}{1,6 \cdot 10^{-7} \cdot \left(\frac{S}{\rho} \right)_{\text{coll}}}$$

$$\Phi = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-7} \cdot 1,71} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ électrons.cm}^{-2}$$

2°)

$$\frac{D}{\dot{D}} = 5,76 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{S}{\rho} \right)_{\text{coll}} \frac{\dot{\Phi}}{\Phi}$$

$$\frac{\dot{\Phi}}{\Phi} = \frac{\dot{D}}{5,76 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{S}{\rho} \right)_{\text{coll}}}$$

$$\frac{\dot{\Phi}}{\Phi} = \frac{0,1}{5,76 \cdot 10^{-4} \cdot 1,89} = 91,9 \text{ électrons.cm}^{-2.s^{-1}}$$