

# TD03 : Dosimétrie

*TD Radiobiologie Radioprotection*

Dr. Lezzar

# Table des matières



<b>I - Exercice : Débit de fluence</b>	3
<b>II - Exercice : Dose absorbée</b>	4
<b>III - Exercice : Période biologique</b>	5
<b>IV - Exercice : Exposition</b>	6
<b>V - Exercice : Dose absorbée</b>	7
<b>VI - Exercice : Dose équivalente</b>	8
<b>VII - Exercice : Exposition</b>	9
<b>VIII - Exercice : Ionisation totale</b>	10
<b>IX - Exercice : Exposition</b>	11
<b>X - Exercice : Dose absorbée</b>	12
<b>Solutions des exercices</b>	13

# Exercice : Débit de fluence



Un faisceau de photons monochromatiques de 120 keV possède un débit de fluence de  $2 \cdot 10^3$  photon/cm<sup>2</sup>.s<sup>1</sup>. Perpendiculairement à ce faisceau est placé un écran de 1 cm d'épaisseur dont le coefficient linéique d'atténuation pour ce rayonnement vaut 4.6 cm<sup>-1</sup>.

## Question

[solution n°1 p.13]

1. Quelle est la CDA pour ce rayonnement ?
2. Que vaut le débit de fluence à la sortie de l'écran
3. Quel est alors le débit de fluence absorbé par l'écran

# Exercice : Dose absorbée



II

Au cours d'une prise d'un cliché radiographique, l'exposition mesurée de la main d'un patient est de 150 mR.  
On donne  $\mu/\rho$  (cm<sup>2</sup>/g) : air =1.29, os =5.89 et muscle =1.34

## Question

*[solution n°2 p.13]*

1. Quelle est la dose absorbée par la partie osseuse ?
2. Quelle est la dose absorbée par la partie musculaire ?

# Exercice : Période biologique



Sachant que la période radioactive de l' $^{131}\text{I}$  est de 8 jours et que sa période effective dans l'organisme est de 72 heures.

**Question**

*[solution n°3 p.13]*

Quelle est sa période biologique (en jours) :

# Exercice : Exposition



IV

Une source  $\gamma$  d'énergie 0.2 MeV fournit un débit d'exposition de 10 R/min à 2 m, Sachant que la période de l'émetteur est de 5 ans :

## Question

[solution n°4 p.13]

1. Après combien de temps observera-t-on le même débit à une distance de 1 m ?
2. A cette date quel est le débit à 2 m ?

# Exercice : Dose absorbée

V

On place une cible devant un faisceau monochromatique de photons de 1000 keV dont le débit de fluence vaut  $10^{-6} \text{ W/m}^2$ . On suppose que l'équilibre électronique est atteint. on donne  $\mu \text{ (cm}^{-1}\text{)} = 2 \cdot 10^{-4}$  pour l'air et 0.171 pour l'eau.

$\mu_{m \text{ (tr)}} \text{ (cm}^2\text{/g)} = 0.0233$  pour l'air et 0.0255 pour l'eau

## Question

*[solution n°5 p.13]*

1. Calculer les CDA de ce rayonnement dans l'air et l'eau.
2. Quelle est la dose absorbée en 10 min si la cible est constituée d'air, même question avec une cible constituée d'eau.

# Exercice : Dose équivalente



VI

Un radionucléide émet un rayonnement  $\alpha$  d'énergie  $E = 4 \text{ MeV}$  ayant un parcours dans les tissu biologique égal à  $40 \mu\text{m}$ .

## Question

[solution n°6 p.13]

1. Calculer la dose absorbée pour un nombre de particule  $N = 3.68 \cdot 10^{12}$  particules déposée dans un organe de masse égale à 370 g.
2. En supposant que la concentration du radionucléide est homogène dans tout l'organe, estimer l'ordre de grandeur de la dose équivalente déterminée dans les même conditions, le facteur de pondération biologique des particule  $\alpha$  ( $W_R = 20$ )

# Exercice : Exposition

VII

Un faisceau parallèle de RX monochromatique est dirigé vers une plaque d'Aluminium de 6 cm d'épaisseur. Le débit d'exposition à l'entrée de la plaque est de 124 R/min.

## Question

*[solution n°7 p.14]*

1. Sachant que le coefficient linéique d'atténuation de l'Aluminium est de  $0.35 \text{ cm}^{-1}$ , calculer le débit d'exposition à la sortie de la plaque.
2. Quelle épaisseur de la plaque faut-il pour que ce débit ne soit plus que de 10 % à la sortie ?
3. Dans ce dernier cas, que vaut alors le KERMA en sortie de la plaque dans l'air pour une exposition de 3 min ?

# Exercice : Ionisation totale

VIII

On considère un volume d'air (énergie d'ionisation  $\omega_{\text{air}} = 34 \text{ eV}$ ) de  $3 \text{ cm}^3$  soumis à une exposition de  $12 \text{ R}$ .

On donne  $1 \text{ R} = 1.6 \cdot 10^{12}$  paire d'ions créées =  $2.56 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$  et  $\rho_{\text{air}} = 1.3 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3 = 1.3 \cdot 10^{-6} \text{ kg/cm}^3$

## Question

[solution n°8 p.14]

1. Combien de paires d'ions sont créées dans ce volume ?
2. A quelle dose cela correspond-t-il ?
3. Dans un volume contenant  $30 \text{ g}$  d'un matériau  $M$  tel que  $(\mu / \rho)_M = 3 \cdot (\mu / \rho)_{\text{air}}$  et  $\omega_M = 20 \text{ eV}$ , combien de paires d'ion sont créées pour une même exposition ?

# Exercice : Exposition

IX

Une source de rayon X émet un rayonnement monochromatique de 250 keV dont la CDA pour le cuivre est de 3 mm. En l'absence d'un écran interposé, un dosimètre situé à 1 m de la source mesure un débit d'exposition  $J_e$  de 90 R/min.

## Question

*[solution n°9 p.14]*

1. A quelle exposition est soumis un organisme placé pendant 10 min, sans écran à une distance de 3 m ?
2. Même question avec un écran de cuivre de 6mm pendant 2 min à une distance de 2 m ?

# Exercice : Dose absorbée



X

On souhaite déterminer l'épaisseur de Plomb nécessaire pour protéger un expérimentateur travaillant à 2 m d'une source radioactive (supposée ponctuelle) d'activité 12.1 Ci émettant des rayons  $\gamma$  de 0.7 MeV. Dans cet exercice, on néglige toute diffusion des photons  $\gamma$  par les parois ou objets se trouvant dans la pièce et l'atténuation des photons  $\gamma$  par l'air, et on suppose que la période  $T$  du radioélément de la source est très supérieure à 1 an, que l'émission des photons  $\gamma$  est isotrope (toutes directions) et que chaque désintégration génère l'émission d'un seul photon  $\gamma$

## Question

[solution n°10 p.14]

1. Calculer le flux énergétique rayonné par la source.
2. Calculer le débit de fluence énergétique au niveau de l'expérimentateur.
3. Quelle devrait être la dose absorbée  $D$  par l'expérimentateur pendant 1 an s'il travaillait 5h par semaine, 40 semaines par an à 2 m de cette source. On suppose que les doses sont cumulatives et que l'équilibre électronique est réalisé. On donne le coefficient de transfert d'énergie de l'expérimentateur pour les photons considérés ( $\mu / \rho$ ) = 0.08 cm<sup>2</sup>/g.
4. Quelle épaisseur minimum  $x$  d'écran doit-on disposer devant la source pour que la dose  $D'$  absorbée par l'expérimentateur travaillant dans les mêmes conditions soit inférieure ou égale à 20 mGy par an ? le matériau servant à la fabrication de l'écran possède une CDA de 1 mm pour les photons considérés.

# Solutions des exercices

## > Solution n°1

Exercice p. 3

1. On sait que :  $CDA = \ln 2 / \mu = \ln 2 / 4.6 = 1.5 \text{ mm}$
2. On a :  $\Phi_{\text{transmis}} = \Phi_0 - \Phi_{\text{absorbé}} = \Phi_0 * \exp(-\mu * x) = 2 * 10^3 * \exp(-4.6 * 1) = 20 \text{ photon/cm}^2 \cdot \text{s}^1$
3. A l'inverse, on a :  $\Phi_{\text{absorbé}} = \Phi_0 - \Phi_{\text{transmis}} = 2000 - 20 = 1980 \text{ photon/cm}^2 \cdot \text{s}^1$

## > Solution n°2

Exercice p. 4

1.  $D_{\text{os}} = X * 8.75 * 10^{-3} * (\mu/\rho)_{\text{air}} / (\mu/\rho)_{\text{os}} = 150 * 10^{-3} * 8.75 * 10^{-3} * (5.89 / 1.29) = 6 \text{ mGy}$ .
2.  $D_{\text{muscle}} = X * 8.75 * 10^{-3} * (\mu/\rho)_{\text{air}} / (\mu/\rho)_{\text{muscle}} = 150 * 10^{-3} * 8.75 * 10^{-3} * (1.34 / 1.29) = 1.36 \text{ mGy}$ .

## > Solution n°3

Exercice p. 5

$$1/T_e = 1/T + 1/T_B \rightarrow T_B = (T * T_e) / (T - T_e) = (8 * 3) / (8 - 3) = 4.8 \text{ jours}$$

## > Solution n°4

Exercice p. 6

1.  $X = X_0 * (d_0 / d)^2 * (1/2^{n'})$   
On veut que  $X = X_0$  donc il faut que  $2^{n'} = (d_0 / d)^2 = (2 / 1)^2 = 4 \rightarrow n' = 2$   
soit  $(5 * n) = 10 \text{ ans}$
2.  $X = X_0 * (d_0 / d)^2 * (1 / 2^{n'}) = 10 * (2 / 2)^2 * (1 / 2^2) = 2,5 \text{ R/min}$

## > Solution n°5

Exercice p. 7

1.  $CDA = \ln 2 / \mu$ ,  $CDA_{\text{air}} = \ln 2 / 2 * 10^{-4} = 34.6 \text{ m}$  et  $CDA_{\text{eau}} = \ln 2 / 0.171 = 4 \text{ cm}$
2. On détermine d'abord la fluence du faisceau  $F_R = \Psi * t = 10^{-6} * 600 = 6 * 10^{-4} \text{ J/m}^2$   
La dose absorbée par une cible d'air est donc :  $D_{\text{air}} = K_{\text{air}} = F_R * (\mu_{\text{tr}} / \rho)_{\text{air}}$  soit, en n'oubliant pas de mettre le coefficient massique de transfert  $\text{m}^2/\text{kg}$  :  
 $D_{\text{air}} = 6 * 10^{-4} * 0.0233 * 10^{-1} = 1.4 * 10^{-6} \text{ Gy} = 1.4 \mu\text{Gy}$ .  
Même raisonnement dans l'eau :  
 $D_{\text{eau}} = 6 * 10^{-4} * 0.0255 * 10^{-1} = 0.35 * 10^{-5} \text{ Gy} = 1.35 \mu\text{Gy}$

> **Solution n°6**

Exercice p. 8

- $E_R = N * E = 3.68 * 10^{12} * 4 * 10^6 * 1.602 * 10^{-19} = 2.36 \text{ J}$   
Soit, pour un organe de 370 g, une dose absorbée de :  $D = 2.36 / 0.37 = 6.38 \text{ J/kg} = 6.38 \text{ Gy}$
- la dose équivalente étant le produit de la dose par le facteur de pondération biologique  $W_R$ , avec  $W_R = 20$  pour les particule  $\alpha$ , on a :  
 $H = 20 * 6.38 = 127.6 \text{ Sv}$

> **Solution n°7**

Exercice p. 9

- $J_e = J_{e0} * \exp(-\mu * x) = 124 * \exp(-0.35 * 6) = 15.2 \text{ R/min}$
- Pour obtenir à la sortie un débit d'exposition de 12.4 R/min, il faut un épaisseur de :  $x = -\ln(J_e / J_{e0}) / \mu$   
 $= -\ln(12.4 / 124) / 0.35 = 6.58 \text{ cm}$
- On sait que, pour l'air,  $1 \text{ R} = 8.75 * 10^{-3} \text{ Gy}$ , et pour une exposition reçue dans le cas étudié est de :  $X = 3 * 12.4 = 37.2 \text{ R}$   
soit  $K = 37.2 * 8.75 * 10^{-3} = 0.325 \text{ Gy}$

> **Solution n°8**

Exercice p. 10

- Par définition, 1 R correspond à la création de  $1.6 * 10^{12}$  paire d'ions créées dans un volume de  $1 \text{ cm}^3$ , donc une exposition de 12 R dans  $3 \text{ cm}^3 = 12 * 3 * 1.6 * 10^{12} = 5.76 * 10^{13}$  paire d'ions créées.
- L'énergie nécessaire à la création de ces paires d'ions est égale à :  $E = \omega_{\text{air}} * I_t = 5.76 * 10^{13} * 34 * 1.602 * 10^{-19} = 0.314 \text{ mJ}$   
Dans  $3 \text{ cm}^3$  d'air soit une masse de  $m = 3 * 1.3 * 10^{-6} = 3.9 * 10^{-6} \text{ kg}$  la dose reçu est alors de :  $D_{\text{air}} = 0.314 * 10^{-3} / 3.9 * 10^{-6} = 80.05 \text{ Gy}$
- La dose absorbée dans un matériau soumis à la même irradiation est :  $D_M = D_{\text{air}} * (\mu/\rho)_M / (\mu/\rho)_{\text{air}} = 3 * D_{\text{air}} = 240.15 \text{ Gy}$ .  
pour 30 g de ce matériau une énergie :  $E = D_M * m = 240.15 * 0.03 = 7.24 \text{ J}$  ou  $4.52 * 10^{19} \text{ eV}$ .  
Sachant que la création de paire d'ion nécessite 20 eV dans ce matériau, le nombre de paires d'ions créées est alors :  $I_t = E / \omega_M = 4.52 * 10^{19} / 20 = 2.26 * 10^{18}$  ions.

> **Solution n°9**

Exercice p. 11

- $X_{3m, 10\text{min}, \text{sé}} = (J_e * t) * (d_0^2 / d^2) = (90 * 3) * (1 / 3^2) = 100 \text{ R}$
- $X_{2m, 2\text{min}, 6\text{mm}} = (J_e * t) * (d_0^2 / d^2) * (1 / 2^n) = (90 * 2) * (1 / 2^2) * (1 / 2^2) = 11.25 \text{ R}$

> **Solution n°10**

Exercice p. 12

1. La puissance moyenne rayonnée est égale au produit du nombre de photons émis chaque seconde  $A_0$  par l'énergie individuelle de ces photons  $E$ , soit :  $\varphi_R = A_0 * E = 12.1 * 3.7 * 10^{10} * 0.7 * 10^6 * 1.602 * 10^{-19} = 0.05 \text{ J/s} = 50 \text{ mW}$
2. Le débit de fluence énergétique est égal à la fluence énergétique par unité de surface, soit :  $\Psi = \varphi_R / S = 0.05 / (4 * \pi * d^2) = 0.05 / (4 * \pi * 200^2) = 1 * 10^{-7} \text{ W/cm}^2$
3. La dose absorbée dépend de la fluence du rayonnement. On calcule donc la fluence  $F_R$  à partir du débit de fluence :  $F_R = \Psi * t = 10^{-7} * 40 * 5 * 60 * 60 = 0.072 \text{ J/cm}^2$   
soit  $D = F_R * (\mu/\rho) = 0.072 * 0.08 = 5.76 * 10^{-3} \text{ J/g} = 5.76 \text{ Gy}$
4. On sait que :  $D' = D_0 / 2^n$  avec  $D=D_0$   
 $n = \log (D / D') / \log 2 = \log (5.75 / 0.02) / \log 2 = 8.2$   
soit un épaisseur minimale de  $x = 8.2 * 1 = 8.2 \text{ mm}$