Evaluation - Dosimétrie

1. Questions de cours

1.1. Décrire en quelques lignes les différences entre dose absorbée, dose équivalente, dose efficace.

1.2. Quelle est la différence entre KERMA et dose absorbée ? Définir l'équilibre électronique. Par quelle relation sont liés le KERMA et la dose absorbée à l'équilibre électronique ?

1.3. Expliquer les notions de dosimètre absolu, relatif, passif et actif. Donner un exemple de chaque.

2. Etude d'un irradiateur gamma

On considère une source scellée de césium-137 de 10 TBq, émetteur β-γ dont les caractéristiques sont les suivantes :

- β^- : E_{moy}=174.3 keV, E_{max}=514 keV, 94.7 %
- β^- : E_{moy}=416.3 keV, E_{max}=1176 keV, 5.3 %
- γ : 661.7 keV, 85 %

2.1. Que signifie le terme « source scellée » ? A quel type d'exposition est alors soumis le travailleur manipulant la source ? Quels sont les trois paramètres essentiels sur lesquels on peut jouer pour limiter les risques ?

2.2. Dans la suite de l'exercice, la source sera considérée comme ponctuelle et isotrope. Que signifient ces termes ?

2.3. Estimation du débit de dose (on fera l'approximation que la dose dans les tissus humains est équivalente à la dose dans l'air).

2.3.1. Donner une estimation du débit de dose β à 10 cm de la source de césium en utilisant la relation empirique correspondante.

2.3.2. Donner une estimation du débit de dose γ à 10 cm de la source de césium en utilisant la relation empirique correspondante.

2.3.3. Comparer les deux valeurs obtenues.

2.3.4. Calculer le débit de dose équivalente à 10 cm de la source de césium.

2.4. Calcul complet du débit de dose.

2.4.1. Composante β. Pour chacune des questions suivantes, on traitera les deux spectres β de façon indépendante

2.4.1.1. Quelle est la portée des électrons émis par la source dans l'air ?

2.4.1.2. En tenant compte de l'atténuation des spectres β, calculer le débit de dose dans l'air à 10 cm pour chacune des émissions β. Commenter la validité des valeurs obtenues.

2.4.1.3. Calculer le débit de dose équivalent β à 1m dans l'air.

2.4.2. Composante γ.

2.4.2.1. Calculer le débit de dose γ à 1m dans l'air en négligeant l'atténuation des γ dans l'air.

2.4.2.2. Quelle valeur obtient-on en prenant en compte l'atténuation ? Conclure.

2.4.3. Quel est le débit de dose équivalente dans l'air à 1 m de la source de césium ?

2.5. Cette source de césium est installée dans une salle d'un laboratoire dans le but de réaliser des expériences d'irradiation. Quel zonage faudrait-il mettre en place dans la salle ?

2.6. Hors condition d'irradiation, il est nécessaire de limiter au maximum le débit de dose ambiant dans la salle pour permettre au personnel d'y intervenir. C'est pourquoi la source est munie d'un dispositif lui permettant d'être rangée derrière un écran avant intervention du personnel. On choisit de placer deux écrans successifs derrière la source : un premier écran en aluminium et un second en plomb.

2.6.1. Justifier le choix des matériaux.

2.6.2. Premier écran :

2.6.2.1. Quelle épaisseur d'aluminium faut-il pour arrêter tout le rayonnement β.

2.6.2.2. Quel est le débit de dose γ résiduel à 1m dans l'air après avoir placé cet écran d'aluminium ?

2.6.3. Second écran :

2.6.3.1. Sans tenir compte du build-up, quelle épaisseur x de plomb faut-il alors ajouter pour atténuer le rayonnement γ de telle sorte que la salle nécessite un classement en zone surveillée ?

2.6.3.2. Expliquer le phénomène de build-up.

2.6.3.3. Calculer le débit de dose à 1 m de la source dans l'air après avoir placé les deux écrans, en prenant en compte le build-up pour l'écran de plomb uniquement.

2.6.4. Calculer le débit de dose en profondeur dans les tissus humains à 1m de la source derrière les deux écrans.

3. Le fluor 18

Le fluor 18 se désintègre selon deux voies pour former l'oxygène 18 :

- A 97 % en émettant un positon dont le spectre a les caractéristiques suivantes : E_{max}=633.5 keV, E_{moy}=249.8 keV.
- A 3 % en émettant un électron Auger de 0.52 keV.

La période radioactive de ^{18}F est 110 min.

3.1. Expliquer le phénomène de l'émission Auger.

3.2. Quel autre rayonnement faut-il prendre en compte lors de l'émission β^+ ? Donner ses caractéristiques (type, énergie, intensité).

3.3. Le fluor 18 est un radio-isotope de choix pour l'imagerie médicale. Des molécules de glucose marquées au ^{18}F peuvent être injectées à un patient. Ainsi, ce traceur s'accumule préférentiellement dans les cellules cancéreuses, grandes consommatrices de sucres. Un lot de fluor 18 destiné à l'injection d'un patient est préparé dans un centre de production. Sur le conditionnement du lot, il est indiqué que la solution de ^{18}F est utilisable dans les 6h après fabrication.

3.3.1. Quelle activité minimale A_{min} est nécessaire lors de la production pour injecter 260 MBq au patient ?

3.3.2. Calculer la dose efficace engagée au patient suite à cette injection. On fera l'hypothèse qu'une injection induit une dose engagée équivalente à une inhalation dans le cas le plus restrictif. Commenter la valeur obtenue.

3.4. Deux techniques permettent de produire du fluor 18. La première est le bombardement d'une cible constituée d'eau enrichie en oxygène 18 par des protons d'énergie > 16 MeV : ${}^{18}_{8}O + {}^{1}_{1}p \rightarrow {}^{18}_{9}F + {}^{1}_{0}n$. Elle produit de l'ion fluorure en solution dans l'eau. La deuxième technique est le bombardement d'une cible constituée de néon 20 par des deutons d'énergie > 8 MeV : ${}^{20}_{10}Ne + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{18}_{9}F + {}^{4}_{2}He$. Cette méthode produit quant à elle du fluor diatomique gazeux.

3.4.1. Calculer les limites annuelles d'incorporation dans le cas le plus restrictif.

3.4.2. Donner une estimation prévisionnelle de la dose engagée reçue en 1h par un travailleur préparant une activité A_{min} de composé radio-marqué en boîte à gants dans une pièce de 100 m^3 pour les deux modes de production.

3.5. On souhaite effectuer un contrôle de la contamination du poste de travail.

3.5.1. Quel type de détecteur doit-on utiliser ?

3.5.2. Quels sont les quatre principaux risques associés à une contamination surfacique.

3.5.3. On relève une contamination de 500 Bq sur une surface de 20 cm^2. Quelle est la procédure à suivre ?

3.5.4. Quels examens sont à préconiser pour effectuer une surveillance optimale de l'exposition interne du personnel ?

Formulaire

1. Interaction rayonnement-matière

- Relation de Loevinger :

$$k(cm^2 \cdot g^{-1}) = \frac{\alpha_1}{\left(E_{\beta_{max}}(MeV) - 0.036\right)^{\alpha_2}}$$

Avec :

$$\alpha_1 = \begin{cases} 16 \text{ dans l'air} \\ 18.6 \text{ dans l'eau et les matériaux légers} \end{cases}$$

$$\alpha_2 = \begin{cases} 1.4 \text{ dans l'air} \\ 1.37 \text{ dans l'eau et les matériaux légers} \end{cases}$$

- Relation de Katz-Penfold

$$P(g \cdot cm^2) = \begin{cases} 0.412 \cdot E^{1.265 - 0.0954 \cdot \ln E} \text{ pour } 0.1\ MeV < E < 3\ MeV \\ 0.53 \cdot E - 0.106 \text{ pour } E > 3\ MeV \end{cases}$$

2. Exposition externe

- Constantes pour les formules empiriques d'estimation du débit de dose en mGy.h^{-1}
  - Source β : 9×10^{-7}
  - Source γ : 1.3×10^{-10}

3. Exposition interne

- Activités limites pour le calcul de la LDCS :
  - $A_{S_{atm}} = \frac{LPCA}{T_{atm}}$
  - $A_{S_{ingestion}} = \frac{AI_{20,ingestion}}{T_{ing} \cdot 2000}$
  - $A_{S_{peau}} = \frac{500}{T_{peau} \cdot 2000 \cdot D_P}$
  - $A_{S_{surf}} = \frac{20}{2000 \cdot D_{sol}}$

Données

1. Constantes

- Nombre d'Avogadro : $N_A=6.022\times10^{23}$ mol^{-1}
- Charge de l'électron : $e=1.6\times10^{-19}$ C
- Quotient respiratoire humain moyen : 1.2 $m^3.h^{-1}$

2. Masses volumiques

Milieu	Air	Aluminium	Plomb	Tissus
$g.L^{-1}$	1.293	2800	11400	1070

3. Pouvoirs d'arrêt des électrons

AIR,

Kinetic Energy MeV	Collision Stp. Pow. MeV.cm2/g	Radiative Stp. Pow. MeV.cm2/g	Total Stp. Pow. MeV.cm2/g	Radiation Yield	Kinetic Energy MeV	Collision Stp. Pow. MeV.cm2/g	Radiative Stp. Pow. MeV.cm2/g	Total Stp. Pow. MeV.cm2/g	Radiation Yield
0.0100	19.75	0.0039	19.76	0.0001	0.3000	2.08	0.0055	2.09	0.0015
0.0125	16.63	0.0039	16.63	0.0001	0.3500	1.98	0.0059	1.98	0.0017
0.0150	14.44	0.0039	14.45	0.0002	0.4000	1.90	0.0063	1.91	0.0019
0.0175	12.82	0.0039	12.83	0.0002	0.4500	1.85	0.0068	1.85	0.0020
0.0200	11.57	0.0040	11.58	0.0002	0.5000	1.80	0.0072	1.81	0.0022
0.0250	9.75	0.0040	9.76	0.0002	0.5500	1.77	0.0077	1.78	0.0024
0.0300	8.49	0.0040	8.50	0.0003	0.6000	1.74	0.0082	1.75	0.0026
0.0350	7.56	0.0040	7.57	0.0003	0.7000	1.71	0.0093	1.72	0.0029
0.0400	6.85	0.0040	6.85	0.0003	0.8000	1.68	0.0104	1.69	0.0033
0.0450	6.28	0.0040	6.28	0.0004	0.9000	1.67	0.0115	1.68	0.0036
0.0500	5.82	0.0040	5.82	0.0004	1.0000	1.66	0.0127	1.67	0.0040
0.0550	5.43	0.0040	5.44	0.0004	1.2500	1.66	0.0159	1.67	0.0049
0.0600	5.11	0.0041	5.11	0.0004	1.5000	1.66	0.0193	1.68	0.0058
0.0700	4.59	0.0041	4.60	0.0005	1.7500	1.67	0.0228	1.69	0.0068
0.0800	4.20	0.0041	4.20	0.0006	2.0000	1.68	0.0266	1.71	0.0077
0.0900	3.89	0.0042	3.89	0.0006	2.5000	1.71	0.0344	1.75	0.0097
0.1000	3.63	0.0042	3.64	0.0007	3.0000	1.74	0.0426	1.78	0.0117
0.1250	3.17	0.0043	3.18	0.0008	3.5000	1.77	0.0512	1.82	0.0138
0.1500	2.86	0.0045	2.87	0.0009	4.0000	1.79	0.0600	1.85	0.0158
0.1750	2.64	0.0046	2.64	0.0010	4.5000	1.81	0.0691	1.88	0.0179
0.2000	2.47	0.0048	2.47	0.0011	5.0000	1.83	0.0784	1.91	0.0200
0.2500	2.24	0.0051	2.24	0.0013					

TISSUE,									
Kinetic Energy MeV	Collision Stp. Pow. MeV.cm2/g	Radiative Stp. Pow. MeV.cm2/g	Total Stp. Pow. MeV.cm2/g	Radiation Yield	Kinetic Energy MeV	Collision Stp. Pow. MeV.cm2/g	Radiative Stp. Pow. MeV.cm2/g	Total Stp. Pow. MeV.cm2/g	Radiation Yield
0.0100	22.35	0.0038	22.35	0.0001	0.3000	2.33	0.0054	2.34	0.0013
0.0125	18.79	0.0038	18.80	0.0001	0.3500	2.21	0.0058	2.22	0.0015
0.0150	16.31	0.0038	16.32	0.0001	0.4000	2.13	0.0062	2.13	0.0016
0.0175	14.47	0.0038	14.48	0.0001	0.4500	2.06	0.0066	2.07	0.0018
0.0200	13.05	0.0039	13.05	0.0002	0.5000	2.02	0.0071	2.02	0.0019
0.0250	10.99	0.0039	10.99	0.0002	0.5500	1.98	0.0076	1.98	0.0021
0.0300	9.56	0.0039	9.57	0.0002	0.6000	1.94	0.0081	1.95	0.0023
0.0350	8.51	0.0039	8.52	0.0003	0.7000	1.90	0.0091	1.91	0.0026
0.0400	7.70	0.0039	7.71	0.0003	0.8000	1.87	0.0102	1.88	0.0029
0.0450	7.06	0.0039	7.07	0.0003	0.9000	1.85	0.0113	1.86	0.0032
0.0500	6.54	0.0039	6.55	0.0003	1.0000	1.83	0.0125	1.84	0.0035
0.0550	6.11	0.0039	6.11	0.0004	1.2500	1.81	0.0156	1.83	0.0044
0.0600	5.74	0.0040	5.75	0.0004	1.5000	1.80	0.0190	1.82	0.0052
0.0700	5.16	0.0040	5.16	0.0004	1.7500	1.80	0.0225	1.83	0.0061
0.0800	4.71	0.0040	4.72	0.0005	2.0000	1.81	0.0262	1.83	0.0070
0.0900	4.36	0.0041	4.37	0.0005	2.5000	1.82	0.0339	1.85	0.0088
0.1000	4.08	0.0041	4.08	0.0006	3.0000	1.83	0.0420	1.87	0.0108
0.1250	3.56	0.0042	3.56	0.0007	3.5000	1.84	0.0505	1.89	0.0127
0.1500	3.21	0.0044	3.21	0.0008	4.0000	1.85	0.0592	1.91	0.0148
0.1750	2.96	0.0045	2.96	0.0009	4.5000	1.86	0.0682	1.93	0.0168
0.2000	2.77	0.0047	2.77	0.0010	5.0000	1.88	0.0774	1.95	0.0189
0.2500	2.50	0.0050	2.51	0.0011					

4. Coefficients d'atténuation des photons

Air, Dry (Near Sea Level)
ASCII format

Energy (MeV)	μ/ρ (cm^2/g)	μ_{en}/ρ (cm^2/g)
1.00000E-03	3.606E+03	3.599E+03
1.50000E-03	1.191E+03	1.188E+03
2.00000E-03	5.279E+02	5.262E+02
3.00000E-03	1.625E+02	1.614E+02
3.20290E-03	1.340E+02	1.330E+02
3.20290E-03	1.485E+02	1.460E+02
4.00000E-03	7.788E+01	7.636E+01
5.00000E-03	4.027E+01	3.931E+01
6.00000E-03	2.341E+01	2.270E+01
8.00000E-03	9.921E+00	9.446E+00
1.00000E-02	5.120E+00	4.742E+00
1.50000E-02	1.614E+00	1.334E+00
2.00000E-02	7.779E-01	5.389E-01
3.00000E-02	3.538E-01	1.537E-01
4.00000E-02	2.485E-01	6.833E-02
5.00000E-02	2.080E-01	4.098E-02
6.00000E-02	1.875E-01	3.041E-02
8.00000E-02	1.662E-01	2.407E-02
1.00000E-01	1.541E-01	2.325E-02
1.50000E-01	1.356E-01	2.496E-02
2.00000E-01	1.233E-01	2.672E-02
3.00000E-01	1.067E-01	2.872E-02
4.00000E-01	9.549E-02	2.949E-02
5.00000E-01	8.712E-02	2.966E-02
6.00000E-01	8.055E-02	2.953E-02
8.00000E-01	7.074E-02	2.882E-02
1.00000E+00	6.358E-02	2.789E-02
1.25000E+00	5.687E-02	2.666E-02
1.50000E+00	5.175E-02	2.547E-02
2.00000E+00	4.447E-02	2.345E-02
3.00000E+00	3.581E-02	2.057E-02
4.00000E+00	3.079E-02	1.870E-02
5.00000E+00	2.751E-02	1.740E-02
6.00000E+00	2.522E-02	1.647E-02
8.00000E+00	2.225E-02	1.525E-02
1.00000E+01	2.045E-02	1.450E-02
1.50000E+01	1.810E-02	1.353E-02
2.00000E+01	1.705E-02	1.311E-02

Tissue, Soft (ICRU Four-Component)
ASCII format

Energy (MeV)	μ/ρ (cm^2/g)	μ_{en}/ρ (cm^2/g)
1.00000E-03	3.829E+03	3.818E+03
1.50000E-03	1.286E+03	1.283E+03
2.00000E-03	5.755E+02	5.736E+02
3.00000E-03	1.792E+02	1.781E+02
4.00000E-03	7.681E+01	7.598E+01
5.00000E-03	3.947E+01	3.880E+01
6.00000E-03	2.283E+01	2.226E+01
8.00000E-03	9.604E+00	9.163E+00
1.00000E-02	4.937E+00	4.564E+00
1.50000E-02	1.558E+00	1.266E+00
2.00000E-02	7.616E-01	5.070E-01
3.00000E-02	3.604E-01	1.438E-01
4.00000E-02	2.609E-01	6.474E-02
5.00000E-02	2.223E-01	3.987E-02
6.00000E-02	2.025E-01	3.051E-02
8.00000E-02	1.813E-01	2.530E-02
1.00000E-01	1.688E-01	2.501E-02
1.50000E-01	1.490E-01	2.732E-02
2.00000E-01	1.356E-01	2.936E-02
3.00000E-01	1.175E-01	3.161E-02
4.00000E-01	1.051E-01	3.247E-02
5.00000E-01	9.593E-02	3.267E-02
6.00000E-01	8.870E-02	3.252E-02
8.00000E-01	7.789E-02	3.175E-02
1.00000E+00	7.003E-02	3.073E-02
1.25000E+00	6.262E-02	2.937E-02
1.50000E+00	5.699E-02	2.806E-02
2.00000E+00	4.893E-02	2.582E-02
3.00000E+00	3.929E-02	2.258E-02
4.00000E+00	3.367E-02	2.044E-02
5.00000E+00	2.998E-02	1.894E-02
6.00000E+00	2.739E-02	1.785E-02
8.00000E+00	2.400E-02	1.638E-02
1.00000E+01	2.191E-02	1.546E-02
1.50000E+01	1.913E-02	1.420E-02
2.00000E+01	1.785E-02	1.360E-02

Aluminum
$Z = 13$

ASCII format

Energy (MeV)	μ/ρ (cm^2/g)	μ_{en}/ρ (cm^2/g)
1.00000E-03	1.185E+03	1.183E+03
1.50000E-03	4.022E+02	4.001E+02
1.55960E-03	3.621E+02	3.600E+02
1.55960E-03	3.957E+03	3.829E+03
2.00000E-03	2.263E+03	2.204E+03
3.00000E-03	7.880E+02	7.732E+02
4.00000E-03	3.605E+02	3.545E+02
5.00000E-03	1.934E+02	1.902E+02
6.00000E-03	1.153E+02	1.133E+02
8.00000E-03	5.033E+01	4.918E+01
1.00000E-02	2.623E+01	2.543E+01
1.50000E-02	7.955E+00	7.487E+00
2.00000E-02	3.441E+00	3.094E+00
3.00000E-02	1.128E+00	8.778E-01
4.00000E-02	5.685E-01	3.601E-01
5.00000E-02	3.681E-01	1.840E-01
6.00000E-02	2.778E-01	1.099E-01
8.00000E-02	2.018E-01	5.511E-02
1.00000E-01	1.704E-01	3.794E-02
1.50000E-01	1.378E-01	2.827E-02
2.00000E-01	1.223E-01	2.745E-02
3.00000E-01	1.042E-01	2.816E-02
4.00000E-01	9.276E-02	2.862E-02
5.00000E-01	8.445E-02	2.868E-02
6.00000E-01	7.802E-02	2.851E-02
8.00000E-01	6.841E-02	2.778E-02
1.00000E+00	6.146E-02	2.686E-02
1.25000E+00	5.496E-02	2.565E-02
1.50000E+00	5.006E-02	2.451E-02
2.00000E+00	4.324E-02	2.266E-02
3.00000E+00	3.541E-02	2.024E-02
4.00000E+00	3.106E-02	1.882E-02
5.00000E+00	2.836E-02	1.795E-02
6.00000E+00	2.655E-02	1.739E-02
8.00000E+00	2.437E-02	1.678E-02
1.00000E+01	2.318E-02	1.650E-02
1.50000E+01	2.195E-02	1.631E-02
2.00000E+01	2.168E-02	1.633E-02

Lead
$Z = 82$

ASCII format

Energy (MeV)	μ/ρ (cm^2/g)	μ_{en}/ρ (cm^2/g)
1.00000E-03	5.210E+03	5.197E+03
1.50000E-03	2.356E+03	2.344E+03
2.00000E-03	1.285E+03	1.274E+03
2.48400E-03	8.006E+02	7.895E+02
2.48400E-03	1.397E+03	1.366E+03
2.53429E-03	1.726E+03	1.682E+03
2.58560E-03	1.944E+03	1.895E+03
2.58560E-03	2.458E+03	2.390E+03
3.00000E-03	1.965E+03	1.913E+03
3.06640E-03	1.857E+03	1.808E+03
3.06640E-03	2.146E+03	2.090E+03
3.30130E-03	1.796E+03	1.748E+03
3.55420E-03	1.496E+03	1.459E+03
3.55420E-03	1.585E+03	1.546E+03
3.69948E-03	1.442E+03	1.405E+03
3.85070E-03	1.311E+03	1.279E+03
3.85070E-03	1.368E+03	1.335E+03
4.00000E-03	1.251E+03	1.221E+03
5.00000E-03	7.304E+02	7.124E+02
6.00000E-03	4.672E+02	4.546E+02
8.00000E-03	2.287E+02	2.207E+02
1.00000E-02	1.306E+02	1.247E+02
1.30352E-02	6.701E+01	6.270E+01
1.30352E-02	1.621E+02	1.291E+02
1.50000E-02	1.116E+02	9.100E+01
1.52000E-02	1.078E+02	8.807E+01
1.52000E-02	1.485E+02	1.131E+02
1.55269E-02	1.416E+02	1.083E+02
1.58608E-02	1.344E+02	1.032E+02
1.58608E-02	1.548E+02	1.180E+02
2.00000E-02	8.636E+01	6.899E+01
3.00000E-02	3.032E+01	2.536E+01
4.00000E-02	1.436E+01	1.211E+01
5.00000E-02	8.041E+00	6.740E+00
6.00000E-02	5.021E+00	4.149E+00
8.00000E-02	2.419E+00	1.916E+00
8.80045E-02	1.910E+00	1.482E+00
8.80045E-02	7.683E+00	2.160E+00
1.00000E-01	5.549E+00	1.976E+00
1.50000E-01	2.014E+00	1.056E+00
2.00000E-01	9.985E-01	5.870E-01
3.00000E-01	4.031E-01	2.455E-01
4.00000E-01	2.323E-01	1.370E-01
5.00000E-01	1.614E-01	9.128E-02
6.00000E-01	1.248E-01	6.819E-02
8.00000E-01	8.870E-02	4.644E-02
1.00000E+00	7.102E-02	3.654E-02
1.25000E+00	5.876E-02	2.988E-02
1.50000E+00	5.222E-02	2.640E-02
2.00000E+00	4.606E-02	2.360E-02
3.00000E+00	4.234E-02	2.322E-02
4.00000E+00	4.197E-02	2.449E-02
5.00000E+00	4.272E-02	2.600E-02
6.00000E+00	4.391E-02	2.744E-02
8.00000E+00	4.675E-02	2.989E-02
1.00000E+01	4.972E-02	3.181E-02

5. Build-up factor

Valeurs du Build-up factor en milieu semi-infini pour le plomb

	Énergies (MeV)									
μx	**0,5**	**0,6**	**0,8**	**1,0**	**1,25**	**1,5**	**1,75**	**2,0**	**2,5**	**3,0**
1	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,45	1,45	1,45	1,40	1,35
2	1,45	1,45	1,60	1,70	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,70
3	1,60	1,65	1,85	2,00	2,05	2,10	2,15	2,15	2,10	2,05
4	1,70	1,85	2,10	2,25	2,35	2,40	2,50	2,55	2,55	2,50
5	1,80	2,00	2,35	2,50	2,60	2,70	2,80	2,90	2,95	2,95
6	1,90	2,15	2,55	2,80	3,00	3,10	3,20	3,30	3,35	3,35
7	2,00	2,30	2,75	3,05	3,30	3,40	3,55	3,70	3,75	3,80
8	2,10	2,45	2,95	3,30	3,60	3,80	3,95	4,10	4,25	4,40
9	2,20	2,60	3,15	3,55	3,90	4,10	4,30	4,45	4,70	4,80
10	2,30	2,70	3,30	3,80	4,20	4,40	4,60	4,80	5,10	5,40
11	2,35	2,85	3,50	4,00	4,40	4,70	5,00	5,20	5,60	5,90
12	2,45	3,00	3,70	4,20	4,60	5,00	5,30	5,60	6,10	6,50
13	2,50	3,10	3,85	4,50	4,90	5,30	5,70	6,00	6,60	7,20
14	2,60	3,20	4,00	4,70	5,20	5,60	6,00	6,40	7,10	7,80
15	2,65	3,30	4,15	4,90	5,50	6,00	6,40	6,90	7,70	8,40

6. Données concernant le fluor 18

- Volatilité :
  - En solution : k=0.01
  - En vapeur : k=1
- DPUI :
  - h(g)inhalation = 9.3×10^{-11} Sv.Bq^{-1} en solution
  - h(g)inhalation = 5.4×10^{-11} Sv.Bq^{-1} en vapeur
  - h(g)ingestion = 4.9×10^{-11} Sv.Bq^{-1}
- LPCA : 8.8×10^{4} Bq.m^{-3}
- LPC_L : 50 Bq.cm^{-2}
- LPC_F : 90 Bq.cm^{-2}

Dispositif de protection collective	Facteur de sécurité
Travail sur paillasse	1
Travaille sous sorbonne	10
Travail en boîte à gants	1000

7. Zonage

	Zone surveillée Accès réglementé	Zone contrôlée Accès réglementé	Zone contrôlée Accès réglementé	Zone contrôlée Accès réglementé	Zone contrôlée Accès interdit
Zone	Zone surveillée	Zone contrôlée verte	Zone jaune	Zone orange	Zone rouge
Dose efficace pour l'organisme entier	< 7,5 µSv sur une heure d'exposition	< 25 µSv sur une heure d'exposition	< 2 mSv sur une heure d'exposition max 2mSv/h	< 100 mSv sur une heure d'exposition max 100 mSv/h	> 100 mSv sur une heure d'exposition > 100 mSv/h
Dose équivalente pour les extrémités ou doses	< 0,2 mSv sur une heure d'exposition	< 0,65 mSv sur une heure d'exposition	< 50 mSv sur une heure d'exposition	< 2500 mSv sur une heure d'exposition	> 2500 mSv sur une heure d'exposition
				Interdit CDD intérim	Interdit CDD intérim

8. Coefficients de pondération

Type de rayonnements	Energie (E)	W_R
Photons, électrons	Quelle que soit l'énergie	1
Neutrons	E , 10 KeV	1
	10 KeV , E , 100 KeV	5
	100 KeV , E , 2 MeV	20
	2 MeV , E , 20 MeV	10
	E . 20 MeV	5
Protons	E . 2 MeV	5
Alpha, fragments de fissions, noyaux lourds	Quelle que soit l'énergie	20

Tissu ou Organe	W_T
Gonades	0,20
Moelle rouge	0,12
Côlon	0,12
Poumon	0,12
Estomac	0,12
Vessie	0,05
Seins	0,05
Foie	0,05
Œsophage	0,05
Thyroïde	0,05
Peau	0,01
Surface des os	0,01
Autres tissus	0,05