

Formulaire – Sous-épreuve U4.1

Physique nucléaire et radioprotection

(Certaines notions, considérées comme connues, sont volontairement omises)

■ Constantes

$$N_A = 6,022\,137 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$c = 2,997\,925 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$e = 1,602\,177 \times 10^{-19} \text{ C}$$

■ Masses et énergies

	Masse en kg	uma en MeV
u	$1,660\,540 \times 10^{-27}$	931,494
Électron	$9,109\,390 \times 10^{-31}$	0,511
Proton	$1,672\,623 \times 10^{-27}$	938,272
Neutron	$1,674\,929 \times 10^{-27}$	939,566

$$M_{\text{}^4_2\text{He}} = 4,002\,603 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$E = m \cdot c^2 \quad \text{énergie de masse}$$

■ Section efficace

$$1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$$

■ Activité

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{T} \quad \text{constante radioactive en s}^{-1}$$

$$A = N \cdot \lambda \quad \text{avec } A \text{ en Bq}$$

N = nombre d'atomes

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$$n = A \cdot \frac{I}{100} \quad \text{taux d'émission où } I = \text{intensité d'émission}$$

■ Pour les α

$$P = 0,32 \cdot \frac{\rho_{\text{air}}}{\rho_{\text{milieu}}} \cdot E^{3/2} \quad \text{avec } P = \text{parcours en cm}$$

E = énergie des α en MeV

ρ = masse volumique

■ Pour les électrons

Modèles de Katz et Penfold

$$\text{de 10 keV à 3 MeV} \quad P = 0,412 \cdot \frac{E^n}{\rho} \quad \text{et} \quad n = 1,265 - 0,0954 \cdot \ln(E)$$

$$\text{de 3 MeV à 20 MeV} \quad P = \frac{(0,530 \cdot E - 0,106)}{\rho}$$

Modèle de Feather

$$\text{Pour } E > 800 \text{ keV} \quad P = \frac{(0,540 \cdot E - 0,160)}{\rho}$$

Pour les 3 modèles avec P = portée en cm
 E = énergie maximale des électrons en MeV
 ρ = masse volumique du milieu en $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$

$$\dot{D} = 9 \times 10^{-7} \cdot A \cdot \frac{I}{100} \quad \text{avec } \dot{D} \text{ en mGy}\cdot\text{h}^{-1} \text{ à } 10 \text{ cm}$$

A en Bq
 I en %

■ Pour les γ

$$\dot{D} = 1,3 \times 10^{-10} \cdot A \cdot E \cdot \frac{I}{100} \quad \text{avec } \dot{D} \text{ en mGy}\cdot\text{h}^{-1} \text{ à } 1 \text{ m}$$

A en Bq
 E en MeV
 I en %

■ Transfert linéique d'énergie

$$\text{TLE} = \frac{E}{x}$$

■ Écrans

$$\dot{D} = \dot{D}_0 \cdot e^{-\mu \cdot x} \quad \text{avec } \mu = \text{coefficient d'atténuation linéique}$$

x = épaisseur de l'écran

$$\dot{D} = \dot{D}_0 \cdot B \cdot e^{-\mu \cdot x} \quad \text{avec } B = \text{facteur de Build-Up}$$

■ **Dose efficace engagée**

$E = h(g) \cdot A_{inh} + e(g) \cdot A_{ing}$ avec $h(g)$ ou $h(g)_{inh} = \text{DPUI inhalée en Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$
 $e(g)$ ou $h(g)_{ing} = \text{DPUI ingérée en Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$
 A_{inh} et A_{ing} en Bq = activité incorporée
 E en Sv

$A_{inh} = A_V \cdot Q \cdot t$ avec $Q = \text{quotient respiratoire} = 1,1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (travail léger)

$1 \cdot \text{RCA} = \frac{25 \times 10^{-6}}{Q \cdot h(g)_{inh}}$ avec $\text{RCA en Bq} \cdot \text{m}^{-3}$. Correspond à 25 μSv de dose efficace engagée par inhalation en 1 h
 $h(g)$ ou $h(g)_{inh} = \text{DPUI inhalée en Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$
 $Q = \text{quotient respiratoire} = 1,1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

■ **Période effective**

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

■ **Facteurs de pondérations radiologique et tissulaire**

	W_R	
$\gamma, X, \beta, \text{ muons}$	1	
$\alpha, \text{ fragments de fission, ions lourds}$	20	
n	$E < 1 \text{ MeV}$	$2,5 + 18,2e^{-(\ln(E))^{2/6}}$
	$1 \text{ MeV} \leq E \leq 50 \text{ MeV}$	$5,0 + 17,0e^{-(\ln(2E))^{2/6}}$
	$E > 50 \text{ MeV}$	$2,5 + 3,25e^{-(\ln(0,04E))^{2/6}}$
(E en MeV pour les 3 relations citées)		
p, pions chargés	2	

	W_T
Moelle osseuse rouge	0,12
Colon	0,12
Poumon	0,12
Estomac	0,12
Sein	0,12
Gonades	0,08
Vessie	0,04
Foie	0,04
Œsophage	0,04
Thyroïde	0,04
Surface osseuse	0,01
Cerveau	0,01
Glandes salivaires	0,01
Peau	0,01
Tissus restants	0,12
Organisme entier (Total)	1

■ Dosimétrie

Catégorie		Limites sur 12 mois glissants en mSv		
		Public	B	A
Organisme entier	$E = H_{(10)}$	1	6	20
Peau (1cm ²)	$H_{(0,07)}$	50	150	500
Extrémités	$H_{(0,07)}$	-	150	500
Cristallin	$H_{(3)}$	15	45	20 ⁽¹⁾

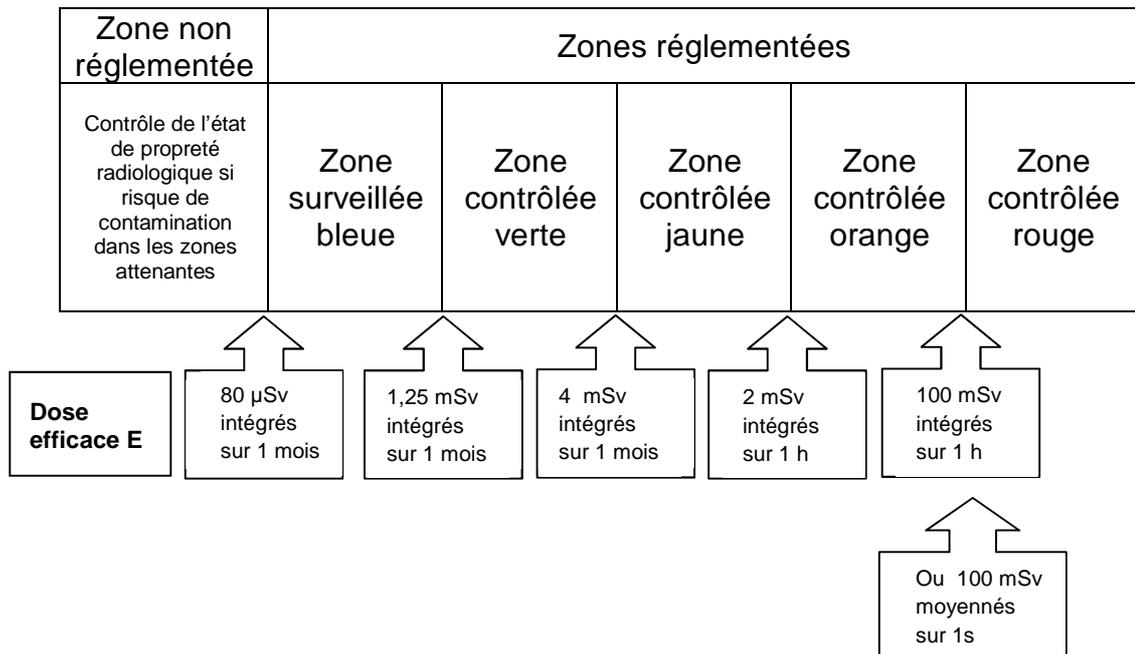
⁽¹⁾Du 1^{er} juillet 2018 au 30 juin 2023, la valeur limite cumulée pour le cristallin est fixée à 100 mSv, pour autant que la dose reçue au cours d'une année ne dépasse pas 50 mSv.

■ Zonage

Identification des zones où les travailleurs sont susceptibles d'être exposés à des niveaux de rayonnements ionisants dépassant :

- pour l'organisme entier, évalués à partir de la dose efficace, 80 µSv par mois ;
- pour les extrémités ou la peau, évalués à partir de la dose équivalente, 4 mSv par mois (zone d'extrémités) ;
- pour la concentration d'activité du radon dans l'air, évaluée en dose efficace, 6 mSv par an (zone radon).

L'évaluation des niveaux d'exposition retenus pour identifier ces zones est réalisée en le lieu de travail occupé de manière permanente.



■ Radon

Niveau de référence 300 Bq·m⁻³

Dose Conversion Coefficient pour un facteur d'équilibre F = 0,4

DCC = $7,50 \times 10^{-6}$ (mSv·h⁻¹)·(m³·Bq⁻¹) dans les bâtiments

ou

12 mSv/WLM coefficient par défaut

WLM = working level month = 170 h exposé à 3 700 Bq·m⁻³ avec F = 1

■ Contamination surfacique

A_s = activité surfacique en $\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$

A = activité en Bq

n = taux de comptage brut obtenu en impulsions/s ou c/s

n_{BDF} = nombre de chocs dus au bruit de fond.

ε_i = rendement de l'appareil

ε_s = rendement source
 0,5 pour β si $E_{\beta\text{max}} \geq 0,4 \text{ MeV}$
 0,25 pour β si $E_{\beta\text{max}} < 0,4 \text{ MeV}$ et pour α

R_f = rendement frottis $\approx 10 \%$

S = surface frottée en cm^2

$$A_s = \frac{n - n_{\text{BDF}}}{\varepsilon_i \cdot S_{\text{contaminée}} \cdot \varepsilon_s} \quad \text{si} \quad S_{\text{contaminée}} < S_{\text{détecteur}}$$

$$A_s = \frac{n - n_{\text{BDF}}}{\varepsilon_i \cdot S_{\text{détecteur}} \cdot \varepsilon_s} \quad \text{si} \quad S_{\text{détecteur}} < S_{\text{contaminée}}$$

$$A_s = \frac{n - n_{\text{BDF}}}{R_f \cdot S \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_s} \quad \text{si} \quad S_{\text{frottis}} < S_{\text{détecteur}}$$

$$A_s = \frac{n - n_{\text{BDF}}}{R_f \cdot S \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_s} \cdot \frac{S_{\text{frottis}}}{S_{\text{détecteur}}} \quad \text{si} \quad S_{\text{détecteur}} < S_{\text{frottis}}$$

■ Contamination volumique

$$A_v = \frac{A}{V}$$

$A_v = A_{v0} \cdot e^{-R \cdot t}$ pour une émission A_{v0} de courte durée dans un local ventilé

avec A_v et A_{v0} = activité volumique en $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$
 R = taux de renouvellement de l'air en h^{-1}

$$R = \frac{Q}{V} \quad \text{avec} \quad Q = \text{débit de ventilation en } \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

V = volume du local en m^3

t = durée en h

$$A_v = \frac{A_h}{Q} \cdot (1 - e^{-R \cdot t}) \quad \text{pour une production continue } A_h \text{ en } \text{Bq}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$A_v = \frac{A_s \cdot S \cdot \tau}{V} \quad \text{contamination volumique engendrée par une remise en suspension de la contamination surfacique de la surface } S \text{ avec } \tau = \text{taux de remise en suspension}$$

Classification périodique des éléments

Période	Groupes								Groupes											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	III	IV	V	VI	VII	VIII						
1 couche K	1 1 H hydrogène 1,0		<p>A : nombre de masse de l'isotope le plus abondant</p> <p>Z : numéro atomique</p> <p>M : masse molaire atomique (g.mol⁻¹) du mélange isotopique naturel</p> <div style="text-align: center;"> $\begin{array}{c} A \\ Z \\ X \\ M \end{array}$ </div>												4 2 He hélium 4,0					
2 couche L	7 3 Li lithium 6,9	9 4 Be béryllium 9,0	Éléments de transition												11 5 B bore 10,8	12 6 C carbone 12,0	14 7 N azote 14,0	16 8 O oxygène 16,0	19 9 F fluor 19,0	20 10 Ne néon 20,2
3 couche M	23 11 Na sodium 23,0	24 12 Mg magnésium 24,3	Éléments de transition												27 13 Al aluminium 27,0	28 14 Si silicium 28,1	31 15 P phosphore 31,0	32 16 S soufre 32,1	35 17 Cl chlore 35,5	40 18 Ar argon 39,9
4 couche N	39 19 K potassium 39,1	40 20 Ca calcium 40,1	45 21 Sc scandium 45,0	48 22 Ti titane 47,9	51 23 V vanadium 50,9	52 24 Cr chrome 52,0	55 25 Mn manganèse 54,9	56 26 Fe fer 55,8	59 27 Co cobalt 58,9	58 28 Ni nickel 58,7	63 29 Cu cuivre 63,5	64 30 Zn zinc 65,4	69 31 Ga gallium 69,7	74 32 Ge germanium 72,6	75 33 As arsenic 74,9	80 34 Se sélénium 79,0	79 35 Br brome 79,9	84 36 Kr krypton 83,8		
5 couche O	85 37 Rb rubidium 85,5	88 38 Sr strontium 87,6	89 39 Y yttrium 88,9	90 40 Zr zirconium 91,2	93 41 Nb niobium 92,9	98 42 Mo molybdène 95,9	98 43 Tc technétium 99,0	102 44 Ru ruthénium 101,1	103 45 Rh rhodium 102,9	106 46 Pd palladium 106,4	107 47 Ag argent 107,9	114 48 Cd cadmium 112,4	115 49 In indium 114,8	120 50 Sn étain 118,7	121 51 Sb antimoine 121,8	128 52 Te tellure 127,6	127 53 I iode 126,9	129 54 Xe xénon 131,3		
6 couche P	133 55 Cs césium 132,9	138 56 Ba baryum 137,3	57 à 71 lanthanides	180 72 Hf hafnium 178,5	181 73 Ta tantale 180,9	184 74 W tungstène 183,9	185 75 Re rhénium 186,2	192 76 Os osmium 190,2	193 77 Ir iridium 192,2	195 78 Pt platine 195,1	197 79 Au or 197,0	202 80 Hg mercure 200,6	205 81 Tl thallium 204,4	208 82 Pb plomb 207,2	209 83 Bi bismuth 209,0	210 84 Po polonium 210	218 85 At astate 210	222 86 Rn radon 222		
7 couche Q	223 87 Fr francium 223	226 88 Ra radium 226,1	89 à 103 actinides	104 Ku kurtchatovium 260	105 Ha hahnium 260															

Lanthanides	139 57 La lanthane 138,9	140 58 Ce cérium 140,1	141 59 Pr praséodyme 140,9	144 60 Nd néodyme 144,2	143 61 Pm prométhium 145	152 62 Sm samarium 150,4	153 63 Eu europium 152,0	158 64 Gd gadolinium 157,3	159 65 Tb terbium 158,9	162 66 Dy dysprosium 162,5	165 67 Ho holmium 164,9	166 68 Er erbium 167,3	169 69 Tm thulium 168,9	174 70 Yb ytterbium 173,0	175 71 Lu lutétium 175,0
Actinides	227 89 Ac actinium 227	232 90 Th thorium 232,0	231 91 Pa protactinium 231	238 92 U uranium 238,0	237 93 Np neptunium 237	239 94 Pu plutonium 242	95 Am américium 243	96 Cm curium 247	97 Bk berkélium 249	98 Cf californium 249	99 Es einsteinium 254	100 Fm fermium 255	101 Md mendélévium 256	102 No nobélium 253	103 Lw lawrencium 257