

PRÉSIDENCE DU CONSEIL

COMMISSARIAT A L'ÉNERGIE ATOMIQUE

RECUEIL DE DONNEES NUMERIQUES ET DE DEFINITIONS

TOME II

Protection - Dosimétrie

Jean COMBRISON

Rapport C.E.A. n° 455

1955

Centre d'Études nucléaires de Saclay

Service de Documentation

Boîte postale n° 2 Gif sur Yvette (S et O)

- Rapport C.E.A. n° 455 -

Service de Biologie

RECUEIL DE DONNEES NUMERIQUES ET DE DEFINITIONS

Tome II

PROTECTION - DOSIMETRIE

par

Jean COMBRISON

- 1955 -

I - DEFINITIONS

1 curie = $3,7 \cdot 10^{10}$ désintégrations/s = $2,22 \cdot 10^{12}$ désintégrations/mn

1 Rutherford = 10^6 désintégrations/s = $6 \cdot 10^7$ désintégrations/mn

1 millicurie = 37 Rutherfords

Unités de dose ([2] p.409 et suivantes)

a) Roentgen : quantité de radiation X ou γ telle que l'émission corpusculaire par cm^3 (0,001293 g) d'air sec (0° , 76 cm Hg) corresponde à une unité de charge électrostatique de l'un ou l'autre signe.

Donc 1 roentgen est équivalent à :

- 1 unité cgs es de paires d'ions par cm^3 d'air ;
- $2,083 \cdot 10^9$ paires d'ions dans 1 cm^3 d'air ;
- $1,61 \cdot 10^{12}$ paires d'ions par gramme d'air ;
- $6,77 \cdot 10^4$ MeV absorbés par cm^3 d'air ;
- $5,2 \cdot 10^7$ MeV absorbés par gramme d'air ;
- 83 ergs absorbés par gramme d'air.

N.B. - La relation entre l'énergie absorbée dans l'air exposé à un roentgen et l'énergie de rayonnement est complexe.

- Dans des substances de poids atomiques autres que celui de l'air et de densité autre, l'énergie dégagée par une même quantité de radiation sera différente (93 ergs/g/roentgen dans les tissus mous). Mais, par définition, la dose exprimée en roentgen est totalement indépendante du milieu absorbant qui se trouve être exposé, ainsi que de la quantité d'énergie que ce milieu absorbe.

- Le roentgen est donc l'intégrale dans le temps de l'énergie absorbée si le milieu était remplacé par de l'air. Il est indépendant du temps

b) Roentgen équivalent physique (rep) : dose de radiation ionisante qui produit une absorption d'énergie de 83 ergs par gramme de tissu.

Cette autre unité de dose s'applique au rayonnement corpusculaire.

N.B. - Le rep n'est pas, en général, équivalent à l'énergie absorbée par 1 g de tissu exposé à 1 r. Le rep est indépendant de la composition du tissu, de sa densité, du type et de l'énergie de la radiation. Par exemple, pour un tissu mou, à 1 r correspond l'absorption de 93 ergs/g, ce qui équivaut donc à une dose de 1,1 rep pour une radiation corpusculaire.

- Si E_1 ergs sont absorbés par gramme de tissu, la dose délivrée est $\frac{E_1}{93}$ rep.

- Si E_2 MeV d'énergie sont absorbés par gramme de tissu, la dose délivrée est $\frac{E_2}{5,2 \cdot 10^7}$ rep.

c) Gramme roentgen : quantité d'énergie de rayonnement γ qui, convertie en énergie cinétique des électrons secondaires, est égale à l'énergie absorbée par 1 g d'air exposé à 1 roentgen.

N.B. - 1 g.r = 83 ergs en admettant que l'énergie nécessaire pour former une paire d'ions dans l'air est 32,5 eV.

1 rep = 1 g.r par gramme de tissu.

d) Unité d'énergie : dose délivrée à un tissu par un rayonnement ionisant telle que l'énergie absorbée par gramme de tissu est égale à l'énergie absorbée par gramme d'eau exposé à 1 r de rayonnement γ .

1 u.e \neq 1,1 rep \neq 1,1 g.r/g pour les tissus mous.

e) Unité J : une unité J a été reçue en un point d'un milieu quand l'ionisation que l'on aurait observée dans une cavité infiniment petite contenant ce point serait : $1,58 \cdot 10^{12}$ paires d'ions par gramme d'air dans la cavité.

1 J correspond à 93 ergs/g d'air.

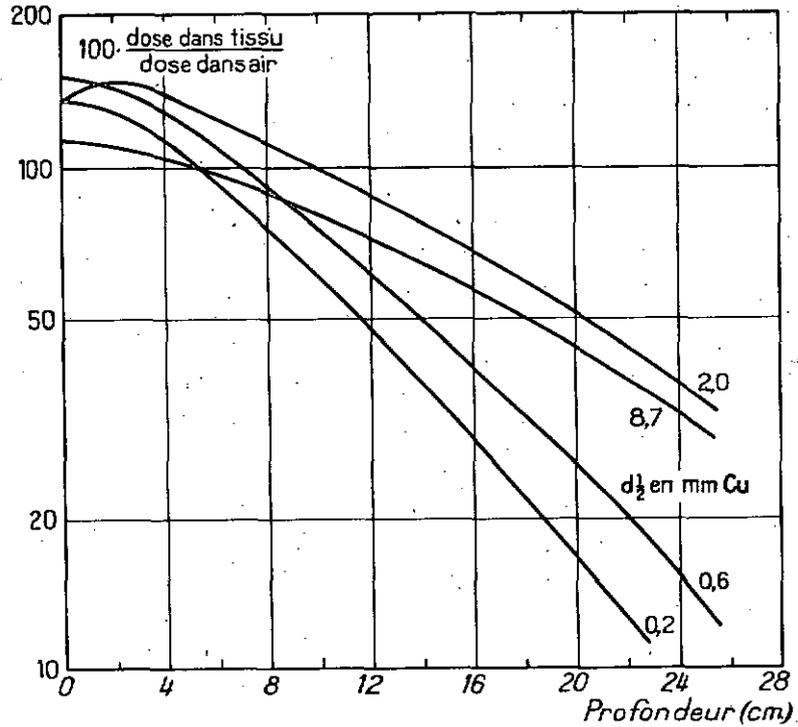
f) Roentgen équivalent man (rem) : dose qui, délivrée à un homme, produit le même effet biologique que 1 r de rayons X ou γ .

g) Unité n : dose délivrée aux tissus par les neutrons rapides quand l'ionisation produite dans la chambre Victoreen 100 r est égale à celle qui serait produite par 1 r de rayonnement γ .

II - DISTRIBUTION EN PROFONDEUR D'UN RAYONNEMENT (X < 200 kv) DANS LE CORPS

- Cas d'un faisceau perpendiculaire à l'axe du corps.

N.B. - L'énergie du faisceau X est donnée par l'épaisseur de cuivre qui affaiblit l'intensité du faisceau par un facteur 2.



- Fig. 1 -

National Committee on Radiation Protection
Subcommittee on Permissible Dose
from External Sources (1953)

III - REGLES A APPLIQUER POUR LA PROTECTION DU PERSONNEL

1.- Irradiations de longue durée.

11.- Rayonnements ionisants de n'importe quel type.

Dose de tolérance : 300 millirems par semaine pour la moelle, la rate, les gonades, le cristallin,
600 millirems par semaine pour la peau,
300 millirems par semaine dans le cas particulier où cette dose est atteinte pour des organes profonds sans l'être pour la moelle ou la rate (cas de particules très ionisantes de très forte énergie).

12.- Photons (X, γ) d'énergie inférieure à 3 MeV.

Dose de tolérance : 300 mr par semaine mesurés dans l'air au point le plus irradié occupé par l'individu, à condition que les gonades ne reçoivent pas plus de 300 millireps par semaine.

Dans ces conditions, la dose pour la peau se trouve être toujours inférieure à 600 mr par semaine.

Pour des énergies supérieures à 3 MeV, il risquerait d'y avoir une dose en reps bien supérieure à 300 pour la moelle des os.

13.- Rayonnements très peu pénétrants (absorbés de moitié par moins d'un millimètre d'eau).

Dose de tolérance : 1 500 millirems pour la peau,
300 millirems pour le cristallin

14.- Irradiation locale : mains, avant-bras, pieds, chevilles.

141.- Rayonnement ionisant quelconque.

Dose de tolérance : 1 500 millirems par semaine pour la peau, à condition que les tissus internes ne reçoivent pas une dose supérieure à celle qui résulterait d'une exposition de 1 500 mr par semaine de rayons X (pour la peau). (Cas des rayonnements très ionisants et pénétrants).

142.- Photons (X,γ)

Dose de tolérance : 1 500 mr par semaine pour la peau.

15.- Irradiation locale : tête, cou.

151.- Rayonnement ionisant quelconque.

Dose de tolérance : 1 500 millirems par semaine pour la peau, 300 millirems par semaine pour le cristallin (protéger éventuellement les yeux par des lunettes).

152.- Photons (X,γ)

Dose de tolérance : 1 500 mr par semaine pour la peau, 300 mr par semaine pour le cristallin.

2.- Irradiations accidentelles.

21.- Rayonnement X ou γ d'énergie inférieure à 3 MeV.

A condition que cette irradiation n'ait lieu qu'une seule fois dans la vie d'un individu, on peut considérer que la résistance au rayonnement γ n'est pas altérée pour :

25 r pour tout le corps,

100 r pour mains, avant-bras, pieds, chevilles.

Si l'on est obligé de s'exposer une fois à une forte irradiation, on adopte la moitié des chiffres ci-dessus.

22.- Rayonnements ionisants.

25 et 100 rems respectivement.

Remarques.

- 1.- Si le rayonnement est complexe, il faut ajouter les actions de chaque rayonnement corrigées d'un coefficient convenable (R B E).
- 2.- Pour les personnes âgées de plus de 45 ans, on admet des doses de tolérance doubles dans les cas 11 et 12.
- 3.- Dans des cas exceptionnels, on peut admettre une irradiation de 90 millirems pour une semaine (ou deux) à condition que l'on ne dépasse pas 3 rems pour 13 semaines.

Valeurs recommandées de l'efficacité biologique relative.

(Relative biological effectiveness - R.B.E.) pour tous les organes critiques en fonction de la valeur de l'ionisation spécifique moyenne dans l'organe critique où elle se trouve être la plus forte.

R.B.E. est utilisée pour préciser les doses permises en rems (dues à des sources externes) par la relation

$$\text{dose permise en rems} = \frac{1}{\text{R B E}} \text{ dose permise en rems.}$$

L'ionisation spécifique est exprimée en paires d'ions par μ d'eau.

R B E = 1 pour des rayons X ordinaires : ionisation spécifique moyenne :
100 paires d'ions par μ d'eau.

X, β , γ de n'importe quelle ionisation spécifique		R B E = 1
Particules lourdes ionisantes		
Ionisation spécifique moyenne p. ions par μ d'eau	R B E	
≤ 100	1	
100 - 200	1 - 2	
200 - 650	2 - 5	neutrons lents : 5
650 - 1 500	5 - 10	neutrons rapides : 10
1 500 - 5 000	10 - 20	α : 20

IV - DOSES DE TOLERANCE

Recommandations de la conférence de Chalk River

(Nucleonics, 1950, 6, 2, fév., 83)

Radiation	Valeur par semaine
X,γ	0,3 r
β	0,3 rep
α	0,015 rep
neutrons rapides	0,03 rep
neutrons thermiques	0,06 rep

Elément	Quantités maxima permises			
	dans le corps en µcuries	dans l'air en µcurie/cm ³	dans l'eau	
			en µcurie/cm ³	en mg/l
¹⁴ C	30	10 ⁻⁶		1,9.10 ⁻⁷
²⁴ Na	15	10 ⁻⁶	5.10 ⁻³	5,5.10 ⁻¹⁰
³² P	10	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	6,8.10 ⁻¹⁰
³⁵ S	200	10 ⁻⁶	10 ⁻²	2,3.10 ⁻⁷
¹³¹ I	0,1	10 ⁻⁹	10 ⁻⁵	7,8.10 ⁻¹¹
²²⁶ Ra	0,1	2.10 ⁻¹²	4.10 ⁻⁸	4.10 ⁻⁸
⁹⁰ Sr, ⁹⁰ Y		10 ⁻¹⁰	2.10 ⁻⁶	1,5.10 ⁻⁸

V - DOSES INTERNES MAXIMA PERMISES

- Report of the Subcommittee on Permissible Dose for Internal Radiation of the International Commission on Radiological Protection (Juin 1953).

Définitions de termes utilisés dans les tableaux de données numériques et les formules.

- f_1 : fraction (de la quantité d'un élément) qui passe du tube digestif dans le sang.
- f_2 : fraction qui passe du sang dans un organe critique (organe qui acquiert le premier une dose non permise).
- f_2 : rapport entre la quantité d'élément contenue dans l'organe critique et celle contenue dans tout le corps.
- Rapport entre la quantité d'élément qui se loge dans l'organe critique et celle introduite dans le corps :
 - f_a : cas d'une inhalation dans l'air,
 - f_w : cas d'une ingestion dans l'eau.

Pour l'inhalation d'une poussière soluble : $f_a = (0,25 + 0,5f_1)f_2$
(si f_2 est inconnu, on prendra f_2).

Pour l'inhalation d'une poussière insoluble : $f_a = 0,10$

Pour l'ingestion de composés solubles : $f_w = f_1 \cdot f_2$ (si f_2 est inconnu, on prendra f_2).

- N : facteur tenant compte d'une distribution non uniforme du radioisotope dans l'organe critique.
 - N = 5 pour les émetteurs α (N = 1 pour Ra).
 - N = 5 pour les émetteurs β se localisant dans les os.
- I : quantité moyenne introduite dans le corps (en g par jour).
- C : concentration moyenne de l'élément dans l'organe critique (g/g)
- g : (composition chimique moyenne du corps). Poids de l'élément dans le corps.

On a $f_2 = \frac{m \cdot C}{g}$ m : poids de l'organe critique

Période réelle : $T' = \frac{T_b \cdot T_r}{T_b + T_r}$ T_b : période biologique
 T_r : période radioactive

Quand on ne possède pas directement la valeur de T_b , on peut l'estimer en supposant qu'il s'établit un équilibre : le poids déposé chaque jour dans l'organe critique égale le poids éliminé chaque jour :

$$T_b = \frac{0,693 \cdot m \cdot C}{I \cdot f_w} \quad (1)$$

Produit : "Energie effective R.B.E."

R.B.E. : "Relative biological effectiveness" est prise par rapport aux rayons X (200 kV).

On a :

$$E.(RBE) = \sum_{i,j,k} \left[f_{Yi} E_{Yi} (1 - e^{-\sigma_i X}) + 0,33 f_{\beta_j} E_{\beta_j} \left(1 - \frac{Z^{\frac{1}{2}}}{43}\right) \left(1 + \frac{E_{\beta_j}^{\frac{1}{2}}}{4}\right) + 10 f_{\alpha_k} E_{\alpha_k} \right] \quad (2)$$

où E : énergie effective (en MeV)

RBE : 10 pour un émetteur α , 1 pour β et γ

f_{Yi} : fraction des désintégrations du i^e type qui produisent un photon E_{Yi}

f_{β_j} : " " " " " " " β : $(E_{\beta_j})_{\max}$

f_{α_k} : " " " " " " " β E_{α_k}

σ_i : coefficient d'absorption (moins le coefficient Compton de diffusion) en cm^{-1} des tissus pour des photons d'énergie E_i .

X : rayon (en cm) de l'organe critique.

Z : numéro atomique du radioisotope (émetteur β).

Unités de dose : on utilise le : erg/g

A 1 r correspond 84 ergs/g dans l'air - 93 ergs/g dans un tissu mou (1MeV)

Cette dernière valeur dépend de :

W : énergie nécessaire pour produire une paire d'ions,

P : pouvoir d'arrêt du tissu par rapport à l'air, qui lui-même dépend de l'énergie de la radiation.

On prendra : 1 rep = 100 ergs/g

N.B.- Cette valeur a été définie récemment comme étant : 1 rad).

Par définition : $1 \text{ rem} = \frac{1 \text{ rep}}{\text{RBE}} = \frac{100}{\text{RBE}} \text{ ergs/g}$

Quantité maximum permise dans le corps.

Pour un émetteur α qui se loge dans les os, on compare aux doses de tolérance pour Ra, en utilisant un facteur $N = 5$

$$q = \frac{0,1}{5} \cdot \frac{14,5}{\sum f_{\alpha_k} E_{\alpha_k}} = \frac{0,3}{\sum f_{\alpha_k} E_{\alpha_k}} \text{ \mucurie} \quad (3)$$

où 0,1 μ curie : dose de tolérance pour Ra

5 : N

14,5 MeV : énergie par désintégration de ^{226}Ra plus la moitié de sa descendance.

Dans les autres cas, on base le calcul sur une dose limite de 6,3 rem par semaine pour l'organe critique, ce qui conduit à :

$$q = \frac{100 \cdot m \cdot W}{3,7 \cdot 10^4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-6} \cdot 6,05 \cdot 10^5 \cdot N \cdot f_2 \cdot E(\text{RBE})}$$

$$q = \frac{8,4 \cdot 10^{-4} \cdot m}{N \cdot f_2 \cdot \sum E(\text{RBE})} \text{ \mucurie} \quad (4)$$

où :

$3,7 \cdot 10^4$: nombre de désintégrations par seconde de 1 μ curie

$1,6 \cdot 10^{-4}$: nombre d'ergs dans un MeV

$6,05 \cdot 10^5$: nombre de secondes dans une semaine
100 : nombre d'ergs/g dans 1 rep
W : 0,3 (rem par semaine)
m : masse de l'organe critique
RBE : 10 pour un émetteur α , 1 pour β et γ
E : énergie par désintégration (MeV)
 $r_{2,N}$: définis ci-dessus.

CONCENTRATION MAXIMUM PERMISE (MPC) DANS L'AIR ET DANS L'EAU

$$(MPC)_a, (MPC)_w.$$

On a à intégrer :

$$\frac{d(qf_2)}{dt} + \lambda q f_2 = P$$

où qf_2 : quantité de radioisotope dans l'organe critique (μ curie)

λ : $0,693/T$ constante de décroissance réelle

P : apport de l'élément à l'organe critique (μ curie par jour)

$$P = (MPC) R$$

où R : produit de la quantité totale d'eau (ou d'air) introduite dans l'organisme chaque jour par le rapport entre la quantité qui se loge dans l'organe critique et la quantité totale.

$$\text{Pour l'eau : } R = 2 \cdot 200 \frac{f_w}{f_a}$$

$$\text{Pour l'air : } R = 2 \cdot 10^7 \frac{f_a}{f_w}$$

On trouve :

$$(MPC)_a = \frac{3,5 \cdot 10^{-8} \cdot q \cdot f_2}{T \cdot f_a \left(1 - e^{-\frac{0,693t}{T}}\right)} \quad (5)$$

$$(MPC)_w = \frac{3,1 \cdot 10^{-4} \cdot q \cdot f_2}{T \cdot f_w \left(1 + e^{-\frac{0,693t}{T}}\right)} \quad (6)$$

où t est la durée d'exposition (en jours).

q, f_2, T, f_a, f_w ont été définis ci-dessus.

Dans le cas particulier d'un gaz eau, on suppose l'individu entouré d'un nuage infini (angle solide 2π) et alors :

$$(MPC)_a = \frac{qf_2}{m} \cdot \rho \cdot \frac{P_a}{P_t}$$

$$= \frac{2,8 \cdot 10^{-3} \cdot W}{E \text{ (RBE)}} \cdot \rho \cdot \frac{P_a}{P_t}$$

$$= \frac{8 \cdot 10^{-7}}{E}$$

où $\frac{qf_2}{m}$: μ curie/g de tissu (équation 4)

ρ : densité de l'air : 0,0012 g/cm³

P_a/P_t : pouvoirs d'arrêt de l'air et du tissu : $\frac{1}{1,13}$ pour les β et les électrons secondaires produits par les γ

RBE : 1, puisqu'il s'agit de β et γ .

Radioisotopes non identifiés.

Se reporter au tableau qui souffre les exceptions suivantes :

- 10^{-7} μ curie/cm³ d'eau pour un mélange β, γ , α sauf ²²⁶Ra
- 10^{-9} μ curie/cm³ d'air pour un mélange β, γ sauf ⁹⁰Sr
- $5 \cdot 10^{-12}$ μ curie/cm³ d'air pour un mélange α excepté pour ²³⁹Pu et le mélange naturel : ²³²Th + ²²⁸Th.

Mélange connu de radioisotopes.

N'importe quel mélange est permis, qui ne produit pas une dose dans un organe (ou le corps) supérieur à 0,3 rem par semaine.

Par exemple :

$$\frac{1}{3} \left[\text{(MPC)}_w \text{ pour } ^{24}\text{Na} \right]_{\text{corps}} + \frac{2}{3} \left[\text{(MPC)}_w \text{ pour } ^{35}\text{S} \right]_{\text{peau}} + \frac{2}{3} \left[\text{(MPC)}_w \text{ pour } ^{45}\text{Ca} \right]_{\text{os}}$$

ou :

$$\left[0,15 \text{ rem par sem. ray.ext} \right]_{\text{corps}} + \frac{1}{4} \left[\text{(MPC)}_w \text{ pour } ^3\text{H} \right]_{\text{peau}} + \frac{1}{4} \left[\text{(MPC)}_w \text{ pour } ^{59}\text{Ni} \right]_{\text{foie}}$$

Familles radioactives. On suppose que la descendance d'un radioélément reste dans le même organe après sa naissance. Pour ^{222}Rn , on s'arrête à ^{210}Pb qui a une vie longue. Pour ^{226}Ra , on ne considère que la moitié de la descendance (jusqu'à Ra D) car le reste est éliminé des os.

Les valeurs données dans la table pour les doses de tolérance :

- quantité totale dans le corps,
- concentration dans l'eau,
- concentration dans l'air,

sont valables pour une exposition régulière et continue de travailleurs.

- Pour une population : diviser les chiffres par 10 pour tenir compte du risque génétique.

- Pour un travail normal : 8 h par jour, 5 j par semaine, 50 sem par an, on peut les multiplier par 3 si l'individu n'est pas exposé du tout en dehors de son travail.

- Dans le cas d'une exposition accidentelle, on peut tolérer une multiplication par 10 à condition qu'un tel accident ne se reproduise pas dans l'année.

Z	El.	I	corps total				Organe critique n°1				Organe critique n°2								
			g/jour	fw	fa	Tb	C	Nom	f2	fw	fa	Tb	C	Nom	f2	fw	fa	Tb	C
1	H	250	1,0	0,75	19	0,1	Corps	1,0	1,0	0,75	19	0,1							
2	He																		
3	Li		1,0		4		Corps		1,0		4								
4	Be		0,01	0,255	123		Os	0,9	$4 \cdot 10^3$	0,09	400		Rate	0,006	$2 \cdot 10^5$				
5	B																		
6	C	300	0,95	0,725	230	0,18	Graiss	0,6	0,5	0,36	35	0,75	Os	0,07	$5 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^2$	180	0,13	
7	N					0,03													
8	O					0,65													
9	F	$5 \cdot 10^3$	1,0	6,75	1,08		Os	0,95	0,1	$8 \cdot 10^2$	140	10^{-4}	Dents	0,1	0,1	$8 \cdot 10^2$	140	$2 \cdot 10^4$	
10	Ne																		
11	Na	4	0,95	0,725	8	0,0015	Corps	1,0	0,95	0,73	29	$2 \cdot 10^3$							
12	Hg					0,0005													
13	Al																		
14	Si																		
15	P	1,4	0,7	0,60	13	0,01	Os	0,92	0,2	0,2	1200	0,069							
16	S	1,3	0,56	0,53		0,0015	Peau	0,19	0,08	0,074	22	0,009							

1 P

2 Q

17	Cl	6,7	0,95	0,725		0,0025	Corps	1,0	0,95	0,73	29	2.10 ³				
18	A						Corps	1,0								
19	K	2,8	0,9	0,70		0,0035	Muecle	0,75	0,7	0,53	33	0,003				
20	Ca	0,8	0,9	0,70	18000	0,015	0a	0,99	0,25	0,41	18000	0,15				
21	Sc		0,0005	0,2525	28		Rate	0,04	2.10 ⁵	8.10 ³	15			Foie	0,6	2.10 ⁴ 0,12 15
22	Tl															
23	V		0,005	0,2525	42		0a	0,5	5.10 ⁴	0,025	50					
24	Cr	trace	0,05	0,275	16		Reins	0,06	7.10 ⁴	0,004	110	3.10 ⁵				
25	Mn	4.10 ³	0,1	0,3	2,6	3.10 ⁶	Reins	0,09	0,004	2.10 ²	2,5	6.10 ⁷		Foie	0,16	0,01 0,09 5 2.10 ⁶
26	Fe	0,012	0,8	0,65		4.10 ⁵	Sang	0,64	0,8	0,65	65	5.10 ⁴				
27	Co	trace	0,2	0,35	21		Foie	0,68	0,004	0,007	8,4	2.10 ⁷		Rate	0,14	5.10 ⁵ 8.10 ⁵ 9 5.10 ⁷
28	Ni	trace	0,2	0,35			Foie	0,68	0,004	0,007	8	trace				
29	Ca	0,002	0,28	0,39		2.10 ⁶	Foie	0,08	0,09	0,13	39	6.10 ⁶		Yeux	5.10 ²	10 ⁻³ 0,002 21 3.10 ⁶
30	Zn	0,017	0,1	0,35			0a	0,15	2.10 ²	5.10 ²	23	10 ⁴				
31	Ga		0,001	0,2525	5		0a	0,82	4.10 ⁴	0,1	3.10 ³	10 ⁻⁶				
32	Ce		0,01	0,255	2		Reins	0,35	2.10 ⁴	5.10 ³	6					

33	As		0,03	0,265	286		Reins	0,02	$3 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^3$	37		Os	0,04	$9 \cdot 10^4$		123
34	Se				23		Reins	0,07			3						
35	Br																
36	Kr																
37	Rb		1,0	0,75	13		Muscle	0,54	0,42	0,33	13						
38	Sr	$3 \cdot 10^{-4}$	0,6	0,55	192		Os	0,7	0,25	0,22	$4 \cdot 10^3$						
39	Y		0,0005	0,2525	555		Os	0,65	$3 \cdot 10^4$	0,14	500			Poumons	0,004	$2 \cdot 10^6$	34
40	Zr		0,0005		5006		Os	0,62			180						
41	Nb		0,45	0,475	73		Os	0,4	0,13	0,12	50						
42	Mo	trace	0,7	0,6			Os	0,5	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^4$	150						
43	Tc		0,5	0,5	0,8		Reins	0,14	$3 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$	4						
44	Ra		0,0005	0,2525	66		Reins	0,04	$2 \cdot 10^5$	0,01	20						
45	Rh		0,2	0,35	18		Reins	0,08	0,01	$2 \cdot 10^2$	28						
46	Pd		0,2	0,35	5		Reins	0,5	0,02	$4 \cdot 10^2$	6						
47	Ag		0,02	0,26	2		Pois	0,1	10^{-4}	$2 \cdot 10^3$	3						
48	Cd		0,0025	0,2513	264		Pois	0,8	$2 \cdot 10^3$	0,19	100						

Z	Isotope	Période (jours)	Organe critique	Produit Σ (bE) RBE	Période réelle (jours)
1	^3H	$4,6 \cdot 10^3$	Corps	0,006	19
4	^7Be	54,5	Os	0,009	48
6	$^{14}\text{C}(\text{CO}_2)$	$2,09 \cdot 10^6$	Graisse	0,053	35
9	^{18}F	0,078	Os	0,24	0,078
11	^{24}Na	0,62	Corps	2,7	0,61
15	^{32}P	14,3	Os	0,68	14
16	^{35}S	87,1	Peau	0,055	18
17	^{36}Cl	$1,6 \cdot 10^8$	Corps	0,26	29
18	^{41}A	0,074	Corps	1,78	
19	^{42}K	0,52	Muscle	1,59	0,51
20	^{45}Ca	152	Os	0,085	151
21	^{46}Sc	85	Rate	0,5	13
21	^{46}Sc	85	Foie	0,5	13
21	^{47}Sc	3,43	Rate	0,21	2,8
21	^{47}Sc	3,43	Foie	0,21	2,8
21	^{48}Sc	1,83	Rate	0,65	1,6
21	^{48}Sc	1,83	Foie	0,80	1,6
23	^{48}V	16	Os	0,54	12
24	^{51}Cr	26,5	Reins	0,01	22
25	^{56}Mn	0,108	Reins	1,1	0,104
25	^{56}Mn	0,108	Foie	1,1	0,106
26	^{55}Fe	$1,06 \cdot 10^3$	Sang	0,006	61
26	^{59}Fe	46,3	Sang	0,54	27
27	^{60}Co	$1,9 \cdot 10^3$	Foie	0,92	8,4
28	^{59}Ni	$9,1 \cdot 10^7$	Foie	0,05	8
29	^{64}Cu	0,54	Foie	0,11	0,53

Z	Isotope	Période (jours)	Organe critique	Produit Σ (bE) RBE	Période réelle (jours)
30	^{65}Zn	250	Os	0,085	21
31	^{72}Ga	0,59	Os	0,8	0,59
32	^{71}Ge	11,4	Reins	0,01	3,9
33	^{76}As	1,12	Reins	1,1	1,09
37	^{86}Rb	19,5	Muscle	0,73	7,8
38	^{89}Sr	53	Os	0,55	52
38	$^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$	$9,1 \cdot 10^3$	Os	1,0	$2,7 \cdot 10^3$
39	^{91}Y	57	Os	0,57	51
41	^{95}Nb	35	Os	0,154	21
42	^{99}Mo	2,85	Os	0,22	2,8
43	^{96}Tc	4,3	Reins	0,49	2,1
44	$^{106}\text{Ra} + ^{106}\text{Rb}$	365	Reins	1,4	19
45	^{105}Rh	1,52	Reins	0,33	1,4
45	^{105}Rh	1,52	Reins	0,33	1,5
46	$^{103}\text{Pd} + ^{103}\text{Rh}$	17	Reins	0,074	4,4
47	^{105}Ag	45	Foie	0,74	2,8
47	^{111}Ag	7,5	Foie	0,37	2,1
48	$^{109}\text{Cd} + ^{109}\text{Ag}$	330	Foie	0,04	77
50	^{113}Sn	112	Os	0,087	44
52	^{127}Te	90,4	Reins	0,28	13
52	^{129}Te	32	Reins	0,89	10
53	^{131}I	8	Thyroïde	0,22	7,7
54	^{133}Xe	5,27	Corps	0,183	
54	^{135}Xe	0,38	Corps	0,562	
55	$^{137}\text{Cs} + ^{137}\text{Ba}$	$1,2 \cdot 10^4$	Muscle	0,57	17
56	$^{140}\text{Ba} + ^{140}\text{La}$	12,8	Os	1,06	12

Z	Isotope	Période (jours)	Organe critique	Produit $\Sigma(\text{dE})$ RBE	Période réelle (jours)
57	$^{140}_{\text{La}}$	1,67	Os	0,76	1,6
58	$^{144}_{\text{Ce}} + ^{144}_{\text{Pr}}$	275	Os	1,29	180
59	$^{143}_{\text{Pr}}$	13,8	Os	0,31	11
61	$^{147}_{\text{Pm}}$	$1,46 \cdot 10^3$	Os	0,067	140
62	$^{151}_{\text{Sm}}$	$3,7 \cdot 10^5$	Os	0,02	$3,9 \cdot 10^4$
63	$^{154}_{\text{Eu}}$	$1,97 \cdot 10^3$	Os	0,366	$8,2 \cdot 10^2$
67	$^{166}_{\text{Ho}}$	1,14	Os	0,65	1,1
69	$^{170}_{\text{Tm}}$	129	Os	0,32	59
71	$^{177}_{\text{Lu}}$	6,7	Os	0,14	3,2
73	$^{182}_{\text{Ta}}$	111	Foie	0,44	60
73	$^{182}_{\text{Ta}}$	111	Poumons	0,81	9,2
74	$^{181}_{\text{W}}$	140	Os	0,26	4,8
75	$^{183}_{\text{Re}}$	240	Thyroïde	0,09	0,5
75	$^{183}_{\text{Re}}$	240	Peau	0,003	5
77	$^{190}_{\text{Ir}}$	10,7	Reins	0,07	7,3
77	$^{190}_{\text{Ir}}$	10,7	Rate	0,07	10
77	$^{192}_{\text{Ir}}$	70	Reins	0,46	17
77	$^{192}_{\text{Ir}}$	70	Rate	0,46	45
78	$^{191}_{\text{Pt}}$	3	Reins	0,39	2,9
78	$^{193}_{\text{Pt}}$	4,3	Reins	0,35	4,0
79	$^{196}_{\text{Au}}$	5,55	Foie	0,17	5
79	$^{196}_{\text{Au}}$	5,55	Reins	0,13	5
79	$^{196}_{\text{Au}}$	2,69	Foie	0,43	2,6
79	$^{198}_{\text{Au}}$	2,69	Reins	0,40	2,6
79	$^{199}_{\text{Au}}$	3,3	Foie	0,16	3,1
79	$^{199}_{\text{Au}}$	3,3	Reins	0,14	3,1

Z	Isotope	Période (jours)	Organe critique	Produit Σ (bE) RBE	Période réelle (jours)
81	^{200}Tl	1,13	Muscle	1,24	1,06
81	^{201}Tl	3	Muscle	0,16	2,6
81	^{202}Tl	11,5	Muscle	0,21	6,9
81	^{204}Tl	$9,9 \cdot 10^2$	Muscle	0,25	16,7
82	^{203}Pb	2,17	Os	0,12	2,16
82	$^{210}\text{Pb}^+$	$9,1 \cdot 10^3$	Os	53	$6,76 \cdot 10^2$
84	^{210}Po	138,3	Rate	53	40
84	^{210}Po	138,3	Poumons	53	31
85	^{211}At	0,31	Thyroïde	68	0,31
86	$^{220}\text{Rn}^+$	$6,3 \cdot 10^{-4}$	Poumons	210	
86	^{222}Rn	3,83	Corps	195 int. 36 ext.	
86	$^{222}\text{Rn}^-$	3,83	Poumons	195 int. 36 ext.	
88	$^{226}\text{Ra} + \frac{1}{2}$	$5,9 \cdot 10^5$	Os	145	$1,6 \cdot 10^4$
89	$^{227}\text{Ac}^+$	$8 \cdot 10^3$	Os	325	10^3
90	Th nat.	$5 \cdot 10^{-12}$	Os	140	$4,3 \cdot 10^4$
90	^{234}Th	24,1	Os	0,87	24,1
92	U nat(sol)	$1,64 \cdot 10^{12}$	Reins	45	30
92	U nat(insol)	$1,64 \cdot 10^{12}$	Poumons	45	120
92	^{233}U (sol)	$5,9 \cdot 10^7$	Os	49	300
92	^{233}U (insol)	$5,9 \cdot 10^7$	Poumons	49	120
94	^{239}Pu (sol)	$8,8 \cdot 10^6$	Os	51,7	$4,3 \cdot 10^4$
94	^{239}Pu (insol)	$8,8 \cdot 10^6$	Poumons	51,7	360
95	^{241}Am	$1,79 \cdot 10^5$	Os	54,5	890
96	^{242}Cm	150	Os	60,8	120

VI - DOSES DE TOLERANCE POUR : CONCENTRATION D'UN RADIOISOTOPE DANS LE CORPS.

CONCENTRATION DANS L'AIR ET L'EAU (pour une exposition continue).

Z	Radioisotope	Organe critique g	Poids dans corps (μc)	Concentration ($\mu\text{c}/\text{cm}^3$) dans l'eau dans l'air	
1	^3H β^-	Corps $7 \cdot 10^4$	10^4	0,2	$2 \cdot 10^{-5}$
4	^7Be K, α	Oe $7 \cdot 10^3$	725	1	$5 \cdot 10^{-6}$
6	^{14}C β^-	Graisse 10^4	260	$3 \cdot 10^{-3}$	10^{-5}
9	^{18}P β^+	Oe $7 \cdot 10^3$	5	0,2	$3 \cdot 10^{-5}$
11	^{24}Na β^-, α	Corps $7 \cdot 10^4$	15	$8 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-6}$
15	^{32}P β^-	Oe $7 \cdot 10^3$	10	$2 \cdot 10^{-4}$	10^{-7}
16	^{35}S β^-	Peau $2 \cdot 10^3$	100	$5 \cdot 10^{-3}$	10^{-6}
17	^{36}Cl β^-	Corps $7 \cdot 10^4$	230	$3 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-7}$
18	^{41}A β^-	Corps $7 \cdot 10^4$	33	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-7}$
19	^{42}K β^-, α	Muscle $3 \cdot 10^4$	21	10^{-2}	$2 \cdot 10^{-6}$
20	^{45}Ca β^-	Oe $7 \cdot 10^3$	14	10^{-4}	$8 \cdot 10^{-9}$
21	^{46}Sc β^-, α	Rate 150	6	0,4	$7 \cdot 10^{-8}$
21	^{46}Sc β^-, α	Foie $1,7 \cdot 10^3$	5	0,3	$5 \cdot 10^{-8}$
21	^{47}Sc β^-	Rate $1,5 \cdot 10^2$	15	4	$9 \cdot 10^{-7}$
21	^{47}Sc β^-	Foie $1,7 \cdot 10^3$	11	3	$6 \cdot 10^{-7}$
21	^{48}Sc β^-, α	Rate $1,5 \cdot 10^2$	5	3	$6 \cdot 10^{-7}$
21	^{48}Sc β^-, α	Foie $1,7 \cdot 10^3$	3	1	$3 \cdot 10^{-7}$
23	^{48}V $\text{K}, \beta^+, \alpha$	Oe $7 \cdot 10^3$	4	0,1	$2 \cdot 10^{-7}$

Z	Radioisotope	Organe critique g	Poids dans corps (μc)	Concentration ($\mu\text{c}/\text{cm}^3$)	
				dans l'eau	dans l'air
24	^{51}Cr K, γ	Reins 300	420	0,5	$9 \cdot 10^{-6}$
25	^{56}Mn β^- , γ	Reins 300	2	0,75	$3 \cdot 10^{-6}$
26	^{55}Fe K	Sang $5 \cdot 10^3$	10^3	$4 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-7}$
26	^{59}Fe β^- , γ	Sang $5 \cdot 10^3$	12	10^{-4}	$2 \cdot 10^{-8}$
27	^{60}Co β^- , γ	Foie $1,7 \cdot 10^3$	3	$2 \cdot 10^{-2}$	10^{-6}
28	^{59}Ni K	Foie $1,7 \cdot 10^3$	42	0,3	$2 \cdot 10^{-5}$
29	^{64}Cu β^- , β^+ , γ , K	Foie $1,7 \cdot 10^3$	160	$9 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-6}$
30	^{65}Zn K, β^+ , γ	Os $7 \cdot 10^3$	92	10^{-2}	$4 \cdot 10^{-7}$
31	^{72}Ga β^- , γ	Os $7 \cdot 10^3$	1,8	2	$7 \cdot 10^{-7}$
32	^{71}Ge K	Reins $3 \cdot 10^2$	72	10	$4 \cdot 10^{-5}$
33	^{76}As β^- , γ	Reins $3 \cdot 10^2$	11	0,2	$2 \cdot 10^{-6}$
37	^{86}Rb β^- , γ	Muscles $3 \cdot 10^4$	64	$3 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-7}$
38	^{89}Sr β^-	Os $7 \cdot 10^3$	2	$7 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-8}$
	$^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ β^-	Os $7 \cdot 10^3$	1	$8 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-10}$
39	^{91}Y β^-	Os $7 \cdot 10^3$	3	$4 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-9}$
41	^{95}Nb β^- , γ	Os $7 \cdot 10^3$	19	$8 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-8}$
42	^{99}Mo β^- , γ	Os $7 \cdot 10^3$	10	3	$4 \cdot 10^{-4}$
43	^{96}Tc K, γ	Reins 300	5	$3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-6}$
44	$^{106}\text{Ru} + ^{106}\text{Rh}$ β^- , γ	Reins 300	4	0,1	$3 \cdot 10^{-8}$
45	^{105}Rh β^- , γ	Reins 300	9	$2 \cdot 10^{-2}$	10^{-6}
46	$^{103}\text{Pd} + ^{103}\text{Rh}$ -K, β^-	Reins 300	7	10^{-2}	$8 \cdot 10^{-7}$

Z	Radioisotope	Organe critique g	Poids dans corps (µc)	Concentration dans l'eau	(µc/cm ³) dans l'air
47	¹⁰⁵ Ag K, γ	Foie 1,7.10 ³	19	2	10 ⁻⁵
47	¹¹¹ Ag β ⁻	Foie 1,7.10 ³	39	5	3.10 ⁻⁵
48	¹⁰⁹ Cd+ ¹⁰⁹ Ag K, γ	Foie 1,7.10 ³	45	7.10 ⁻²	7.10 ⁻⁸
50	¹¹³ Sn K, γ	Os 7.10 ³	83	0,2	6.10 ⁻⁷
52	¹²⁷ Te β ⁻ , γ	Reins 3.10 ²	4	3.10 ⁻²	10 ⁻⁷
52	¹²⁹ Te β ⁻ , γ	Reins 3.10 ²	1,4	10 ⁻²	4.10 ⁻⁸
53	¹³¹ I β ⁻ , γ	Thyroïde 20	0,6	6.10 ⁻⁵	6.10 ⁻⁹
54	¹³³ Xe β ⁻ , γ	Corps 7.10 ⁴	320	4.10 ⁻³	4.10 ⁻⁶
54	¹³⁵ Xe β ⁻ , γ	Corps 7.10 ⁴	100	10 ⁻³	2.10 ⁻⁶
55	¹³⁷ Cs+ ¹³⁷ Ba β ⁻ , γ	Muscle 3.10 ⁴	98	2.10 ⁻³	2.10 ⁻⁷
56	¹⁴⁰ Ba+ ¹⁴⁰ La β ⁻ , γ	Os 7.10 ³	1	4.10 ⁻⁴	10 ⁻⁸
57	¹⁴⁰ La β ⁻ , γ	Os 7.10 ³	5	0,2	3.10 ⁻⁷
58	¹⁴⁴ Ce+ ¹⁴⁴ Pr β ⁻ , γ	Os 7.10 ³	1	8.10 ⁻³	2.10 ⁻⁹
59	¹⁴³ Pr β ⁻	Os 7.10 ³	6	8.10 ⁻²	2.10 ⁻⁷
61	¹⁴⁷ Pm β ⁻	Os 7.10 ³	25	0,2	4.10 ⁻⁸
62	¹⁵¹ Sm β ⁻	Os 7.10 ³	90	5.10 ⁻²	3.10 ⁻⁹
63	¹⁵⁴ Eu β ⁻ , γ	Os 7.10 ³	5	7.10 ⁻³	10 ⁻⁹
67	¹⁶⁶ Ho β ⁻ , γ	Os 7.10 ³	3	5	7.10 ⁻⁷
69	¹⁷⁰ Tm β ⁻ , γ	Os 7.10 ³	4	5.10 ⁻²	10 ⁻⁸
71	¹⁷⁷ Lu β ⁻ , γ	Os 7.10 ³	17	5	10 ⁻⁶
73	¹⁸² Ta β ⁻ , γ	Foie 1,7.10 ³	6	10 ⁻¹	2.10 ⁻⁸

Z	Radioisotope	Organe critique g	Poids dans corps(µc)	Concentration (µc/cm ³)	
				dans l'eau	dans l'air
73	¹⁸² Ta β ⁻ , γ	Poumons 10 ³	1		4.10 ⁻⁸
74	¹⁸¹ W K, γ, β ⁻	Os 7.10 ³	7	3.10 ⁻²	10 ⁻⁶
75	¹⁸³ Re K, γ	Thyroïde 20	37	9.10 ⁻²	9.10 ⁻⁶
75	¹⁸³ Re K, γ	Peau 2.10 ³	650	0,3	3.10 ⁻⁵
77	¹⁹⁰ Ir β ⁻ , γ	Reins 3.10 ²	23	10 ⁻²	8.10 ⁻⁷
77	¹⁹⁰ Ir β ⁻ , γ	Rate 1,5.10 ²	21	2.10 ⁻¹	10 ⁻⁶
77	¹⁹² Ir β ⁻ , γ	Reins 3.10 ²	3	9.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁸
77	¹⁹² Ir β ⁻ , γ	Rate 1,5.10 ²	3	6.10 ⁻³	3.10 ⁻⁸
78	¹⁹¹ Pt K, γ	Reins 300	2	6.10 ⁻³	2.10 ⁻⁷
78	¹⁹³ Pt K, γ, β ⁻	Reins 300	3	5.10 ⁻³	2.10 ⁻⁷
79	¹⁹⁶ Au K, β ⁻ , γ	Foie 1,7.10 ³	8	5.10 ⁻²	2.10 ⁻⁷
79	¹⁹⁶ Au K, β ⁻ , γ	Reins 3.10 ²	32	5.10 ⁻³	2.10 ⁻⁷
79	¹⁹⁸ Au β ⁻ , γ	Foie 1,7.10 ³	3	4.10 ⁻²	2.10 ⁻⁷
79	¹⁹⁸ Au β ⁻ , γ	Reins 300	10	3.10 ⁻³	10 ⁻⁷
79	¹⁹⁹ Au β ⁻ , γ	Foie 1,7.10 ³	9	9.10 ⁻²	4.10 ⁻⁷
79	¹⁹⁹ Au β ⁻ , γ	Reins 300	30	8.10 ⁻³	3.10 ⁻⁷
81	²⁰⁰ Tl K, γ, β ⁻	Muscle 3.10 ⁴	40	2.10 ⁻²	2.10 ⁻⁶
81	²⁰¹ Tl K, γ	Muscle 3.10 ⁴	310	8.10 ⁻²	7.10 ⁻⁶
81	²⁰² Tl K, γ, β ⁻	Muscle 3.10 ⁴	230	2.10 ⁻²	2.10 ⁻⁶
81	²⁰⁴ Tl β ⁻	Muscle 3.10 ⁴	200	8.10 ⁻³	8.10 ⁻⁷
82	²⁰³ Pb K, γ	Os 7.10 ³	61	0,1	7.10 ⁻⁶

Z	Radioisotope	Organe critique	Poids dans corps (μc)	Concentration ($\mu\text{c}/\text{cm}^3$)	
				dans l'eau	dans l'air
82	^{210}Pb α, β^-, γ	Os 7.10 ³	6.10 ⁻²	5.10 ⁻⁷	3.10 ⁻¹¹
84	^{210}Po (sol) α, γ	Rate 150	0,04	6.10 ⁻⁵	4.10 ⁻¹⁰
84	^{210}Po (insol) α, γ	Poumons 10 ³	10 ⁻²		2.10 ⁻¹⁰
85	^{211}At α, γ	Thyroïde 20	10 ⁻³	4.10 ⁻⁶	5.10 ⁻¹⁰
86	^{220}Rn α, β^-, γ	Poumons 10 ³			10 ⁻⁷
86	^{222}Rn α, β^-, γ	Corps 7.10 ⁴	10 ⁻²	4.10 ⁻⁶	
86	^{222}Rn α, β, γ	Poumons 10 ³			10 ⁻⁷
88	^{226}Ra α, β, γ	Os 7.10 ³	0,1	4.10 ⁻⁸	8.10 ⁻¹²
89	^{227}Au α, β^-, γ	Os 7.10 ³	0,01	3.10 ⁻⁶	4.10 ⁻¹²
90	Th nat α, β, γ	Os 7.10 ³	0,02	10 ⁻⁵	2.10 ⁻¹³
90	^{234}Th β^-, γ	Os 7.10 ³	26	0,7	10 ⁻⁷
92	U nat (sol) α, β^-, γ	Reins 300	0,04	10 ⁻⁴	3.10 ⁻¹¹
92	U nat (insol) α, β^-, γ	Poumons 10 ³	0,02		3.10 ⁻¹¹
92	^{233}U (sol) α, γ	Os 7.10 ³	0,04	1,5.10 ⁻⁴	10 ⁻¹⁰
92	^{233}U (insol) α, γ	Poumons 10 ³	0,008		1,6.10 ⁻¹¹
94	^{239}Pu (sol) α, γ	Os 7.10 ³	0,04	6.10 ⁻⁶	2.10 ⁻¹²
94	^{239}Pu (insol) α, γ	Poumons 10 ³	0,02		2.10 ⁻¹²

Z	Radioisotope	Organe critique g	Poids dans corps (µc)	Concentration (µc/cm ³)	
				dans l'eau	dans l'air
95	²⁴¹ Am α, γ	Os 7.10 ³	0,05	10 ⁻⁴	3.10 ⁻¹¹
96	²⁴² Cm α	Os 7.10 ³	0,05	9.10 ⁻⁴	10 ⁻⁹
Produits de fission β, γ				10 ⁻⁷	10 ⁻⁹
Mélange d'émetteurs α				10 ⁻⁷	5.10 ⁻¹²

N.B. Un curie d'uranium naturel consiste en 48,9 pour cent de ²³⁸U, 2,26 pour cent de ²³⁵U, 48,9 pour cent de ²³⁴U. Un curie de thorium naturel consiste en 50 pour cent de ²³²Th et 50 pour cent de ²²⁸Th.

	os (moelle)				Thyroïde X	Tube dig. Produits insolubles par jour	Poumons Produits insolubles par jour		
	Ba		89 Sr					90 Sr	
	32p								
A : dose unique pour : 1) 500 r en 10 j (mcurie) 2) 3600 r en 1 an (mcurie) 3) 0,1 r en 1 j (mcurie)	15	14	20	12	1,0	2	2,6		
	45	43	19	3,2	4,4	0,4	2,2		
	25	22	38	25	1,4	4	5		
B : dose journalière d'une source constante pour : 1) 50 r par jour après le 10 ^e jour (mcurie) 2) 10 r par jour après 1 an (mcurie) 3) 0,1 r par jour au maximum (mcurie)	176	1,4	2,0	1,2	0,1		0,26		
	125	120	50	9	12		7		
	1,25	1,2	0,5	0,04	0,12		0,07		
C : dose journalière d'une source en décroissance pour : 1) 50 r par jour après le 10 ^e jour (mcurie) 2) 0,1 r par jour au maximum (mcurie) 3) 0,1 r par jour après 1 an (mcurie)	2,1	1,9	2,1	1,2	0,17		0,28		
	3,6	3,2	1,4	0,04	2,0		0,16		
	20	18	76	2200	11,3		76		

VII - DOSE A DELIVRER A UN ORGANISME (en dose unique ou régulièrement) POUR OBTENIR UNE IRRADIATION

DONNEE (Nucleonics, 1948, 3, 1,juil., 26)

VIII - COMPOSITION CHIMIQUE DU CORPS HUMAIN ADULTE

Elément		pour cent du poids	Quantité (kg) pour un homme de 70 kg
Oxygène	O	65,0	45,5
Carbone	C	18,0	12,6
Hydrogène	H	10,0	7,0
Azote	N	3,0	2,1
Calcium	Ca	1,5	1,05
Phosphore	P	1,0	0,7
Soufre	S	0,25	0,175
Potassium	K	0,2	0,140
Sodium	Na	0,15	0,105
Chlore	Cl	0,15	0,105
Magnésium	Mg	0,05	0,035
Fer	Fe	0,004	0,003
Manganèse	Mn	0,0003	$2 \cdot 10^{-4}$
Cuivre	Cu	0,0002	10^{-4}
Iode	I	0,00004	$3 \cdot 10^{-5}$

IX - MASSE ET RAYON DES ORGANES DU CORPS HUMAIN ADULTE

Organe	Masse (g)	pour cent	rayons (cm)
Corps total	70 000	100	30
Muscle	30 000	43	30
Peau et tissu sous-cutané	8 500	12	0,1
Graisse	7 000	10	
Squelette : sans la moelle	7 000	10	5
moelle rouge	1 500	2,1	
moelle jaune	1 500	2,1	
Sang	5 400	7,7	
Tube digestif	2 000	2,9	30
Contenu du tube digestif	500	0,71	
Foie	1 700	2,4	10
Cerveau	1 500	2,1	
Poumons	1 000	1,4	
Tissus lymphatiques	700	1,0	
Reins	300	0,43	7
Coeur	300	0,43	
Rate	150	0,21	7
Vessie	150	0,21	
Pancréas	70	0,10	
Glandes salivaires	50	0,071	
Testicules	40	0,057	
Moelle épinière	30	0,043	
Tyroïde	20	0,029	
Dents	20	0,029	
Surrénales	20	0,029	
Yeux	30	0,043	
Thymus	10	0,014	
Divers (vaisseaux sanguins, cartilages, nerfs,...)	490	0,70	

X - CARACTERISTIQUES DE L'HOMME "STANDARD"

Ingestion d'eau dans les aliments	cm ³ par jour 700
Ingestion d'eau dans les boissons	1 500
Eau d'oxydation	300
	<u>2 500</u>
Excrétion d'eau par la sueur	500
Excrétion d'eau par les poumons	400
Excrétion d'eau par les selles	100
Excrétion d'eau par les urines	1 500
	<u>2 500</u>
Inhalation d'air pendant 8 h de travail	10 ⁷
Inhalation d'air pendant 16 h sans travail	10 ⁷
	<u>2.10⁷</u>
Quantité de CO ₂ dans l'air alvéolaire :	5,5 pour cent
Surface d'échange des poumons :	50 m ²
Surface des bronches, de la trachée :	20 m ²
Surface totale du système respiratoire :	70 m ²
Quantité d'eau dans le corps :	50 kg
Vie moyenne :	70 ans
Durée de travail :	8 h par jour, 40 h par semaine, 50 sem par an
Epaisseur minimum de l'épiderme :	0,07 mm
Profondeur des organes hematopoietiques :	5 cm

XI - DETERMINATION DE LA DOSE DUE A DES RADIOISOTOPES

(Nucleonics, 1948, 2, 4, avril)

1°) Cas d'un émetteur β

Energie absorbée par gramme de tissu :

$$D_{\beta} = n \cdot \overline{E}_{\beta} \cdot 10^6 \text{ (eV)} \quad (1)$$

où : \overline{E}_{β} : énergie moyenne des β par désintégration (MeV)

$$n = \frac{C}{\lambda} : \text{nombre d'atomes radioactifs par gramme}$$

$$= 3,7 \cdot 10^4 \frac{C}{\lambda} \text{ si } C \text{ est la concentration en } \mu\text{curie/g}$$

et λ la constante de désintégration (en s^{-1})

Energie absorbée par gramme d'air exposé à 1 r :

$$E_r = N_a \cdot W = 1,62 \cdot 10^{12} \cdot 32,2 = 5,22 \cdot 10^{13} \text{ eV} \quad (2)$$

où $N_a = 1,62 \cdot 10^{12}$: nombre de paires d'ions formées dans 1 g d'air par roentgen.

$W = 32,2 \text{ eV}$: énergie nécessaire pour produire une paire d'ions dans l'air.

On aura donc :

$$D_{\beta} = \frac{3,7 \cdot 10^{10} \cdot C \cdot \overline{E}_{\beta}}{5,22 \cdot 10^{13} \cdot \lambda} \quad (\text{rep}) \quad (3)$$

ou, si la période est exprimée en jours : $T = \frac{0,693}{\lambda \cdot 8,64 \cdot 10^4}$

$$D_{\beta} = 88 \cdot \overline{E}_{\beta} \cdot T \cdot C = K_{\beta} \cdot C \quad (\text{rep}) \quad (4)$$

où $K_{\beta} = 88 \cdot \overline{E}_{\beta} \cdot T$ rep/ μ curie détruit

N.B. - Pour un intervalle de temps t :

$$d_{\beta} = D_{\beta} \left(1 - e^{-\frac{0,693 t}{T}} \right) \quad \text{rep} \quad (5)$$

Pour T > 5 jours $d_{\beta} = 61 \cdot \overline{E_{\beta}} \cdot C \quad \text{rep par jour}$

Pour T > 5 heures $d_{\beta} = 2,54 \cdot \overline{E_{\beta}} \cdot C \quad \text{rep par heure}$

L'équation (5) permet de calculer la concentration nécessaire pour délivrer la dose de tolérance de 0,1 r par jour. Si S_{β} est la concentration en microcuries par kilogramme de tissu nécessaire pour délivrer la dose de tolérance le premier jour

$$S_{\beta} = \frac{0,1 \cdot 10^3}{K_{\beta} \cdot f_d} \quad \mu\text{curie/kg de tissu} \quad (6)$$

où $f_d = \left(1 - e^{-\frac{0,693}{T}} \right)$

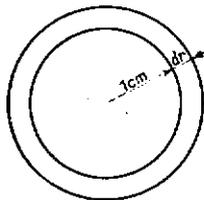
2°- Cas d'un émetteur γ .

Calcul de I_{γ} : dose en roentgens à une distance de 1 cm due à une source ponctuelle émettant pendant un temps unité.

Soit une coquille sphérique : rayon 1 cm, épaisseur dr, avec à son centre une source ponctuelle de 1 curie émettant le γ d'énergie E_j avec la probabilité P_j

$$P_j = 1 \text{ si le } \gamma \text{ d'énergie } E_j \text{ est seul,}$$

$$P_j = 0,5 \text{ si 2 } \gamma \text{ sont émis au même rythme).}$$



L'énergie reçue par seconde sera :

$$\dot{e} \cdot F_j = 3,7 \cdot 10^7 \cdot P_j \cdot N \cdot E_j \cdot \mu_j \cdot dr \quad (\text{eV/s})$$

où $N = 3,9 \cdot 10^{20}$ électrons/cm³ d'air

$$E_j \mu_j = E_j (\sigma_a + \tau)_j + (E_j - 2m \cdot c^2) (\sigma_p)_j$$

σ_a = coefficient de dispersion
 τ = coefficient d'absorption photoélectrique
 σ_p = coefficient dû aux productions de paires

Par cm^3 d'air : $\delta F_j = \frac{3,7 \cdot 10^7}{4\pi} \cdot P_j \cdot N \cdot E_j \cdot \mu_j$ (eV/cm³/s)

Cette absorption se traduira par une ionisation :

$$(i_Y)_j = \frac{\delta F_j}{n_1 W} = \frac{3,7 \cdot 10^7 \cdot N}{4\pi n_1 W} \cdot P_j \cdot E_j \cdot \mu_j$$

où n_1 : $2,08 \cdot 10^9$ nombre paires d'ions par cgses du courant
 W : 32,2 eV énergie nécessaire pour faire une paire d'ions dans l'air

Si on exprime E_j en MeV et t en heures :

$$(i_Y)_j = 6,14 \cdot 10^{25} \cdot P_j \cdot E_j \cdot \mu_j \quad (\text{r/mcurie h à 1 cm})$$

Si l'isotope a un spectre γ complexe de différentes énergies E_j émises chacune avec la probabilité P_j :

$$I = \sum_j (i_Y)_j = 6,14 \cdot 10^{25} \cdot \sum_j P_j \cdot E_j \cdot \mu_j$$

(r/mcurie h à 1 cm)

Quand le radioélément est réparti uniformément et de façon stable dans un volume V à la concentration de c mcurie/g, la dose en n'importe quel point du tissu est :

$$d_Y = \sum_j c \cdot i_Y \cdot \rho \int_V \frac{e^{-\mu s}}{s^2} dV$$

ρ = densité du tissu, μ = coefficient d'absorption

On pose $g_j = \int_V \frac{e^{-\mu s}}{s^2} dV$ $\mu_j \neq 0,03$ $d_Y = I_Y \cdot c \cdot g$

Finalement, la dose par μ curie détruite pour une concentration uniforme et stable de c μ curie/g de tissu est :

$$D_Y = 1,44.t.I_Y.10^{-3} \text{ .c.g} \\ = K_Y.c.g \quad \text{r/c } \mu\text{curie détruit/g de tissu}$$

où t est la période en heures et où :

$$K_Y = 1,44.t.I_Y.10^{-3} \quad \text{r/}\mu\text{curie détruit à 1 cm}$$

Calcul de g

1er exemple : cylindre , rayon R , hauteur $2 Z$

$$g_j = 4 \pi \int_0^Z \int_0^R \frac{r \, dr \, dz}{r^2 + z^2} \cdot e^{-\mu \sqrt{r^2 + z^2}}$$

$$g_j = 2 \pi \left[Z \text{Log} \left(1 + \frac{R^2}{Z^2} \right) + 2 R \text{Arctg} \frac{Z}{R} - \mu_j \left[Z \sqrt{R^2 + Z^2} - Z^2 + R^2 \right. \right. \\ \left. \left. \left\{ \text{Log} (Z + \sqrt{R^2 + Z^2}) - \text{Log} R \right\} \right] \right]$$

Exemple : $Z = 30$ cm, $R = 20$ cm

$$g_j = 314 - 4140 \mu_j$$

2ème exemple : sphère de rayon R

- au centre :

$$g_j = \int_0^R \frac{4\pi s^2 \, ds}{s^2} \cdot e^{-\mu s} \\ = \frac{4\pi}{\mu} (1 - e^{-\mu R})$$

N.B.- Pour $R = 10$ cm : $g_j \neq 4 \pi R$

- en un point quelconque :

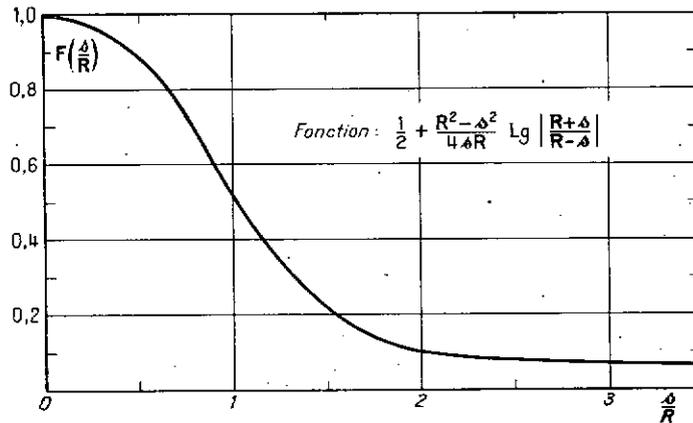
$$g_1 = 2\pi R \left[\left[1 + \frac{R^2 - s^2}{2sR} \text{Log} \left| \frac{R+s}{R-s} \right| \right] - \mu R \right]$$

où $g_1 = 4 \pi R F \left(\frac{s}{R} \right) - \frac{R}{2} \mu$

Exemple : $E = 0,511 \text{ MeV}$ $\mu = 0,033 \text{ cm}^{-1}$ $R = 2 \text{ cm}$

$s = 1 \text{ cm}$ $F\left(\frac{s}{R}\right) = 0,91$

$g_j = 22,1$: d'où la possibilité de calculer la dose par
microcurie de tissu détruit.



- Fig. 2 -

Pour certains isotopes, on peut avoir la dose directement (fig.3)
au centre d'une sphère de rayon R.

Données numériques nécessaires au calcul de la dose due à des β et γ mous.

Les valeurs de K_β et S_β sont données pour des concentrations
uniformes et stables de radioéléments répartis dans des tissus de dimen-
sions grandes devant le parcours des β .

\overline{E}_β : énergie moyenne par désintégration.

$K_\beta = 88 \overline{E}_\beta T$ dose en rep due aux rayons β émis lors de la

désintégration complète de 1 μ curie de radioélément par gramme de tissu.

$$f_d = \left(1 - e^{-\frac{0,693}{T}}\right) : \text{fraction de la quantité totale d'isotope qui se désintègre en 24 h.}$$

$$S_\beta = \frac{0,1 \cdot 10^3}{K_\beta \cdot f_d} : \text{concentration du radioisotope en } \mu\text{curie/kg qui donnera une dose de } 0,1 \text{ rep au tissu pendant les premières 24 h.}$$

Elément	Z	A	Rayon	T jours	\overline{E}_β MeV	K_β rep/ μ cu- rie par g	f_d	S_β μ cu- rie/kg	Poids par μ curie 10^{-2} g	Parcours dans l'eau
C	6	11	β^+	0,014	0,380	0,47	1,0	213	0,0012	4,2
N	7	13	β^+	0,007	0,475	0,29	1,0	345	0,0007	5,6
Na	11	22	β^+, γ	1100	0,225	22 000	$6,3 \cdot 10^{-4}$	7,3	197	2,1
		24	β^-, γ	0,61	0,540	29	0,68	5,1	0,113	6,4
P	15	32	β^-	14,5	0,695	885	0,047	2,4	3,6	8,0
Cl	17	38	β^-, γ	0,026	1,390	3,2	1,0	31	0,0076	27
K	19	42	β^-, γ	0,515	1,395	63	0,74	2,1	0,167	19
Sc	21	46	β^-, γ	85	0,117	870	0,008	14,3	30	1,0
V	23	48	β^+, K, γ	16	0,175	245	0,042	9,7	5,9	2,8
Mn	25	52	β^+, K, γ	6,5	0,085	48	0,101	20,6	2,6	2,2
Mn	25	56	β^-, γ	0,108	0,890	8,5	0,998	11,8	0,046	14
Fe	26	59	β^-, γ	47	0,120	496	0,015	13,4	21,3	1,5
Co	27	56	β^+, γ	85	0,655	4900	0,008	2,6	36,6	7,0
		60	β^-, γ	1940	0,099	17000	$3,6 \cdot 10^{-4}$	16,5	895	0,8
Cu	29	61	β^+, K	0,142	0,433	5,4	0,992	18,7	0,067	5,5
		64	β^+, β^-, K	0,53	0,120	5,6	0,73	24,4	0,26	2,6
Zn	30	63	β^+, K, γ	0,027	0,965	2,3	1,0	43,5	0,013	12
As	33	76	β^-, γ	1,12	1,170	115	0,46	1,9	0,655	15,7

Elément	Z	A	Rayon	T jours	\overline{E}_β MeV	K_β rep/ μ cu- rie par g	f_d	S_β μ cu- rie/kg	Poids par μ curie 10^{-2} g	Parcours dans l'eau
Br	35	82	β^-, γ	1,5	0,150	20	0,37	13,5	0,95	1,6
In	49	114	β^-	50	0,940	4150	0,014	1,7	44	9,4
I	53	130	β^-, γ	0,525	0,270	12,4	0,73	11,0	0,53	4,5
		131	β^-, γ	8,0	0,205	144	0,083	8,3	8,1	2,2
RaE	83	210	β^-	4,85	0,330	141	0,133	5,3	7,85	5,2
C	6	14	β^-	$1,8 \cdot 10^6$	0,05	$8 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^{-7}$	32	$18 \cdot 10^4$	0,24
S	16	35	β^-	88	0,055	420	0,0079	30	24	0,2
Ca	20	45	β^-	180	0,085	1350	0,0039	19	62	0,6
Si	38	89	β^-	55	0,57	2760	0,013	3	38	7
		90	β^-	9000	0,22	$17 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^{-5}$	8	6200	2,2
Y	39	90	β^-	2,6	0,90	200	0,24	2	18	11
Sb	51	124	β^-, γ	60	0,66	3480	0,012	2	57	12,3
I	53	128	β^-, γ	0,017	0,77	1,2	1,0	87	0,017	9,8
Au	79	198	β^-, γ	2,7	0,32	76	0,23	5,7	4,1	3,8
Mn	25	54	K, γ	310	0,0054	147	0,0022	340	128	
Fe	26	55	K, γ	1500	0,0059	780	$4,6 \cdot 10^{-4}$	280	633	
Co	27	58	β^+, K, γ	65	0,035	20	0,012	415	29	1,5
Zn	30	65	β^+, K, γ	250	0,01	180	0,003	185	124	1,2

Données numériques nécessaires pour le calcul de la dose due aux γ .

Rayonnement d'annihilation se rapporte à la recombinaison positron-électron. γ nucléaires aux γ prenant naissance dans le noyau. Les nombres entre parenthèses indiquent le nombre de photons qui sont libérés par désintégration. Les nombres entre crochets concernant le rayonnement X dû à la capture K.

I_Y = dose en r à 1 cm dans l'air due à une source de 1 μ curie (pendant 1 h) : mr/ μ curie.h

$K_Y = 1,44.t.I_Y \cdot 10^{-3}$ nombre de roentgens à 1 cm d'une source ponctuelle par μ curie détruit.

$f_d = (1 - e^{-\frac{0,693}{T}})$ fraction de la quantité totale d'isotope qui se désintègre en 24 h (T en jours).

Elément	Z	A	Rayon	T heures	E_j (MeV) ray.anh.	E_j (MeV) γ nucl.	I_Y mr/ μ curie.h	K r/ μ curie	f_d
C	6	11	β^+	0,33	0,511(2)		6,2	0,003	1,0
N	7	13	β^+	0,17	0,511(2)		6,2	0,0015	1,0
Na	11	22	β^+, γ	26500	0,511(2)	1,3(1)	13,2	500	$6,3 \cdot 10^{-4}$
			β^-, γ	14,7	1,38(1) 2,76(1)	19,1	0,40	0,68	
Cl	17	38	β^-, γ	0,62		1,6(0,36) 2,15(0,47)	7,6	0,0066	1,0
K	19	42	β^-, γ	12,4		1,51(0,15)	1,95	0,035	0,74
Sc	21	46	β^-, γ	2040		0,90(1) 1,12(1)	11,4	33,5	0,008
V	23	48	β^+, K, γ	384	0,511(1,16)	0,98(1) 1,33(1)	16,3	9,0	0,042
Mn	25	52	β^+, K, γ	156	0,511(0,7)	0,736(1) 0,94(1) 1,40(1)	19,5	4,4	0,101
			β^-, γ	2,59	1,77(0,3) 2,06(0,2)	9,4	0,035	0,998	
Fe	26	59	β^-, γ	1128		1,1(0,5) 1,3(0,5)	6,55	10,7	0,015
Co	27	56	β^+, γ	2040	0,511(2)	0,845(1) 1,26(1)	17,95	37,2	0,008
			β^-, γ	46500	1,16(1) 1,32(1)	13,5	900	$3,6 \cdot 10^{-4}$	
Cu	29	61	β^+, K	3,4	0,511(1,56)		4,8	0,024	0,992
			β^+, β^-, K	12,8	0,511(0,38)		1,2	0,022	0,73
Zn	30	63	β^+, K, γ	0,64	0,511(1,86)	0,96(0,07) 1,90(0,01)	6,3	0,006	1,0
As	33	76	β^-, γ	26,8		0,55(0,37) 1,20(0,12) 1,78(0,01)	2,2	0,083	0,46
Br	35	82	β^-, γ	36		0,547(1) 0,787(1) 1,35(1)	15,1	0,79	0,37
Sb	51	124	β^-, γ	1440		0,6(1) 1,7(0,5)	7,9	16,4	0,012

Elément	Z	A	Rayon	T heures	E_j (MeV) ray.anh.	E_j (MeV) γ nucl.	I_γ mr/ μ curie.h	r/ μ curie	f_d
I	53	128	β^-, γ	0,42		0,428(0,07)	0,2	0,00012	1,0
			β^-, γ	12,6		0,416(0,55) 0,537(1) 0,667(1) 0,744(1)	13,05	0,237	0,73
			β^-, γ	192		0,080 (1) 0,367(1)	2,65	0,735	0,083
Au	79	198	β^-, γ	65		0,40(1)	2,4	0,22	0,23
Mn	25	54	K, γ	7450		0,835(1) 0,0054(1)	4,9+ 11	52	0,0022
Fe	26	55	K, γ	36000		0,07(2.10 ⁻⁵) 0,0059(1)	10		4,6.10 ⁻⁴
Co	27	58	β^+, K, γ	1560	0,511(0,3)	0,805(1) 0,0064(0,85)	5,7+ 7	12,6	0,012
Zn	30	65	β^+, K, γ	6000	0,511(0,03)	1,14(0,46) 0,008(0,99)	3,0+ 5	26	0,003
Y	39	86	K, γ	2530		0,908(1) 1,89(1) 0,0142(1)	14,4+ 3,1	52,5+ 10,3	0,007
In	49	111	K, γ	65		0,173(1) 0,247(1) 0,0231(1)	2,3+ 1,4	0,22+ 0,13	0,23

Groupe 1 : Eléments qui ne se désintègrent pas par capture K ou pour lesquels l'émission X suivant cette capture est si molle qu'elle peut être assimilée à un rayonnement β et donc ne contribue pas à I_γ .

Groupe 2 : Eléments pour lesquels un rayonnement X suit la capture K et pour lesquels ce rayonnement apporte à I_γ une contribution (entre crochets) non négligeable.

Y	39	86	K, γ	105	0,005	46	0,007	310	69	
In	49	111	K, γ	2,7	0,0058	1,4	0,23	310	2,3	0,01

Groupe 1 : \overline{E}_β est connu à 1 pour cent près.

Groupe 2 : \overline{E}_β est moins bien connu.

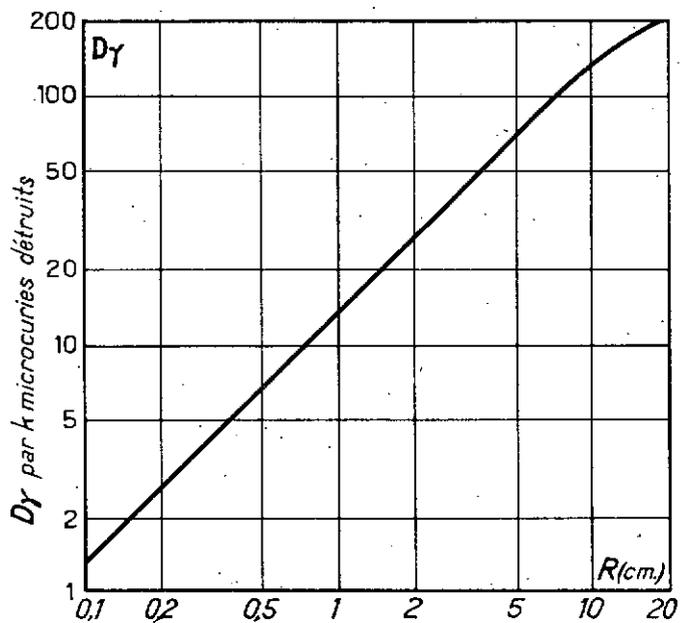
Groupe 3 : \overline{E}_β contient le rayonnement X localisé dû à la capture K.

Groupe 4 : \overline{E}_β contient une partie du rayonnement dû à la capture K

XII - DOSE D_γ AU CENTRE D'UNE SPHERE EN FONCTION DE SON RAYON R

Les valeurs de D_γ correspondent à k μ curies initiaux d'un isotope donné (cf. tableau joint).

D_γ : en roentgen par k μ curies détruits par gramme de tissu.



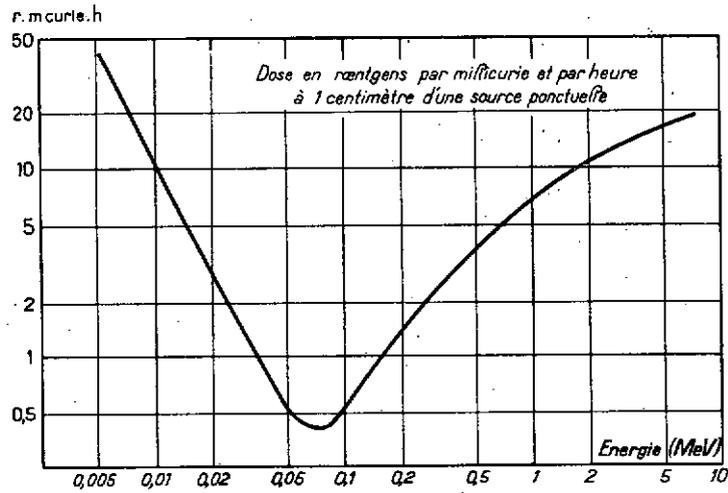
- Fig. 3 -

Isotope	A	T en jours	k
C	11	0,014	370
N	13	0,007	740
Na	24	0,61	2,8
Cl	38	0,026	163
K	42	0,515	32
V	48	16	0,12
Mn	52	6,5	0,25
Mn	56	0,108	32
Fe	59	47	0,1
Co	56	85	0,03
Cu	61	0,142	46
Cu	64	0,53	50
Zn	63	0,027	170
As	76	1,12	13
Br	82	1,5	1,4
I	130	0,525	4,7
I	131	8,0	1,5
Au	198	2,7	5
Rn	222	3,825	1,0

k : nombre de microcuries détruits par gramme de tissu (pour chaque isotope) qui donne le même nombre de roentgen au centre d'une sphère que 1 curie de radon détruit par gramme de tissu.

XIII - DOSE EN r/mcurie.h A 1 cm D'UNE SOURCE PONCTUELLE

(Réf. 2, p.427)

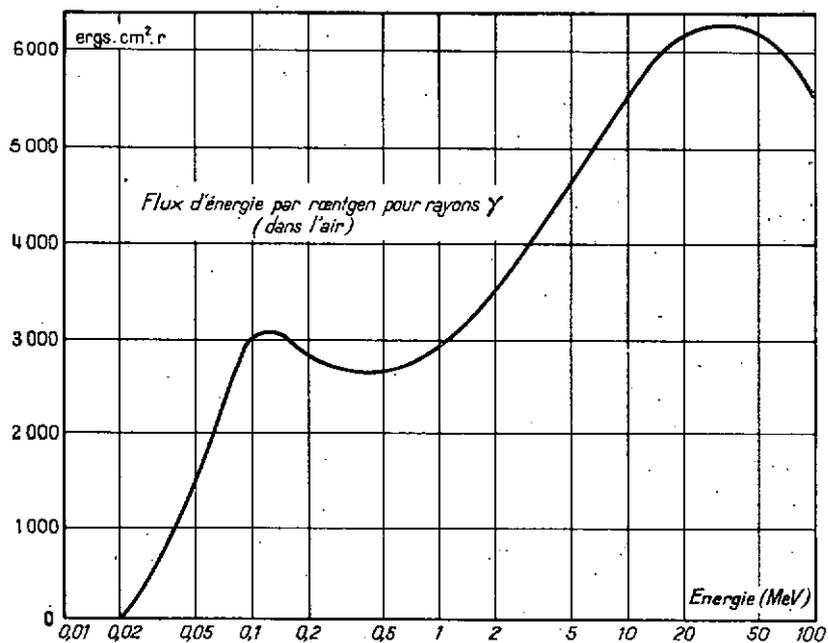


- Fig. 4 -

XIV - FLUX D'ÉNERGIE (erg/cm².r) PAR ROENTGEN

EN FONCTION DE L'ÉNERGIE E(MeV) DES RAYONS γ .

(Réf. 2, p.411)

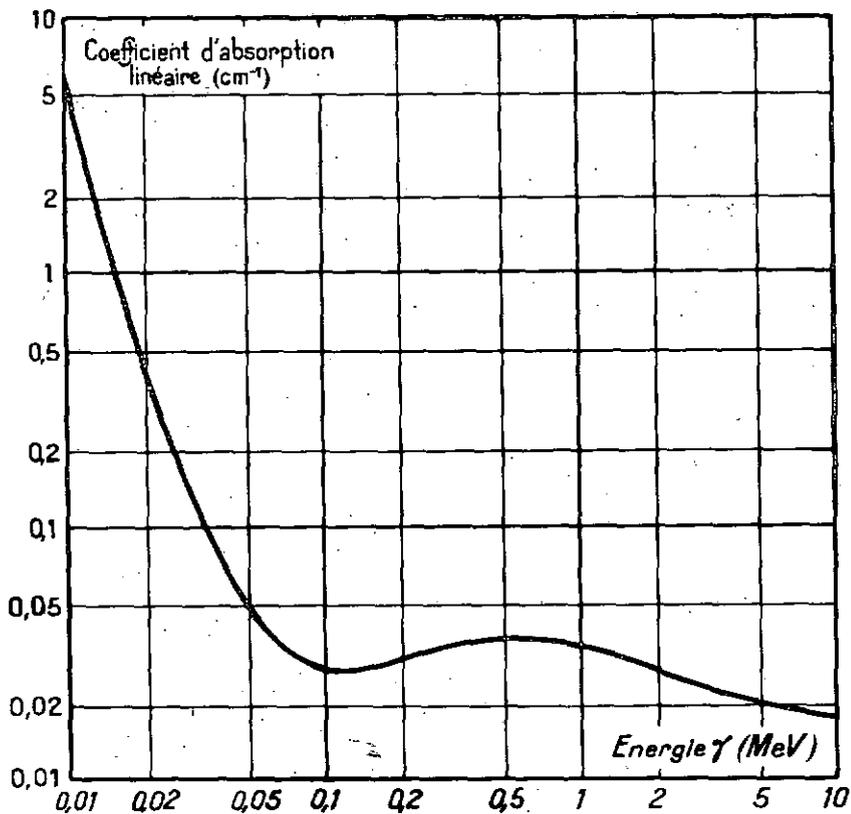


- Fig. 5 -

XV - COEFFICIENT D'ABSORPTION DE L'EAU EN FONCTION

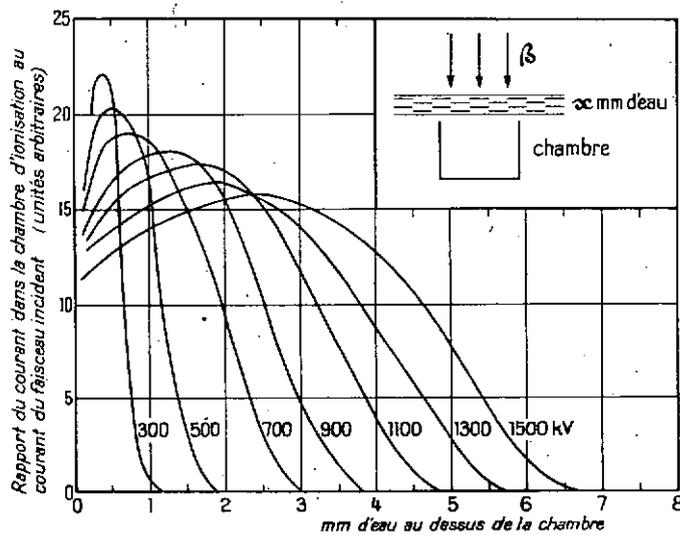
DE L'ENERGIE DU RAYONNEMENT γ

(Réf. 2, p.420).



XVI - IRRADIATION PAR UN FAISCEAU DE RAYONS β

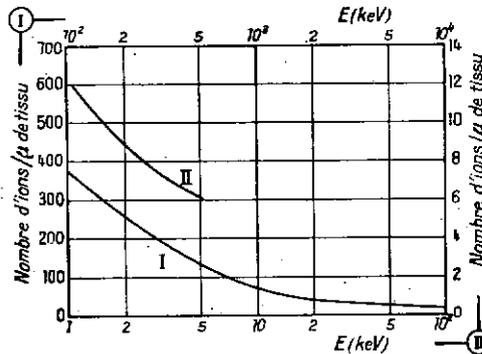
Influence d'une couche d'eau (ou de tissu) d'épaisseur donnée sur le courant de la chambre d'ionisation.



- Fig. 7 -

XVII - NOMBRE D'IONS FORMES PAR μ DE PARCOURS DES RAYONS β

DANS UN TISSU



- Fig. 8 -

Dose à la surface du tissu :

$$r = 3,88 \cdot 10^7 \left(\frac{i}{A} \right) \cdot \Delta \quad \text{en rep/s}$$

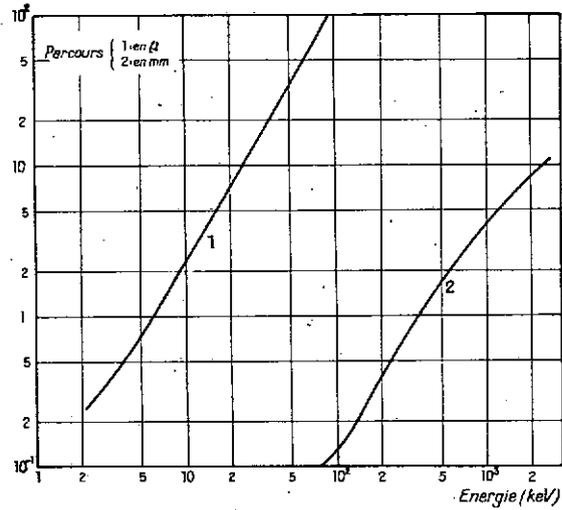
$\frac{i}{A}$ est la densité de courant (mA/cm²) du rayonnement

Δ densité d'ions par micron de tissu (cf. ci-dessus).

N.B. - Si le faisceau électronique n'est pas homogène, choisir l'énergie moyenne du faisceau.

XVIII - PARCOURS DANS LES TISSUS DES ELECTRONS (de 2 keV à 2 MeV)

(Réf. 1, p. 520)

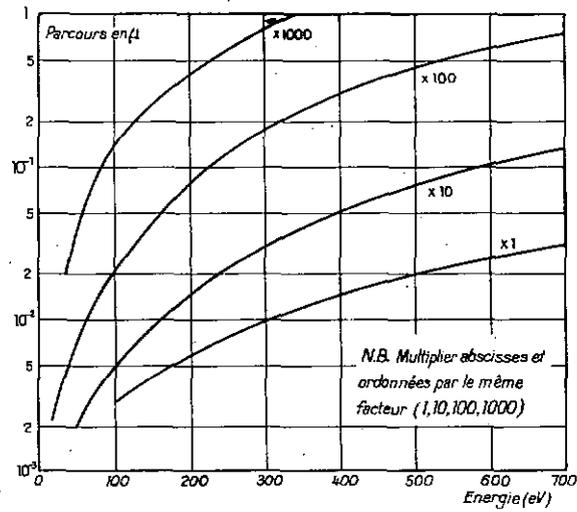


- Fig. 9 -

N.B.- Si on veut estimer la perte d'énergie des électrons, on doit prendre comme parcours effectif de ces derniers 1,4 fois le parcours ci-dessus.

XIX - PARCOURS DES PARTICULES β DANS UN TISSU DE DENSITE 1

(Réf. 2, p. 416)



- Fig. 10 -

XX - DOSE EN mr/h A 30 cm D'UNE SOURCE DE 1 curie

(Réf. 7, p.363)

Source (1 curie)	Energie γ (MeV)	Dose (mr/h)
^{24}Na	1,36 - 2,76	20,6
^{52}Mn	0,73 - 0,94 - 1,46	20,7
^{54}Mn	0,835	5,2
^{59}Fe	1,3 - 1,10	7
^{58}Co	0,805	5
^{60}Co	1,10 - 1,30	14
^{131}I	0,367 - 0,08 - 0,6	2,8
RaB + RaC		9

XII - DOSE DUE AUX RAYONS γ DE DIVERSES ENERGIES

(entre 0,5 et 2 MeV) - Formule approchée -

(Réf. 4 et 7)

$$\text{Dose} \quad \frac{r/h}{\text{mr/h}} = \frac{5500}{d^2(\text{cm})} \cdot C \left(\begin{array}{l} \text{curie} \\ \text{mcurie} \end{array} \right) \cdot E \text{ (MeV)}$$

S'il y a deux rayonnements γ en cascade, il faut ajouter D_1 et D_2 correspondant à E_1 et E_2 .

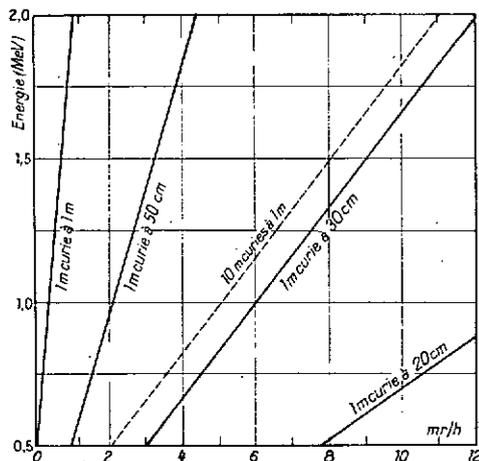
Ex. : C curies de cobalt 60 à 20 cm.

$$D = 6.C.1,1 + 6.C.1,3 = 14,5.C \text{ r/h.}$$

N.B.- Tolérance 6 mr/h

$$\text{Ecran Pb} \quad \frac{H}{S} = 0,77 \text{ pour 1 MeV}$$

$$\frac{H}{S} = 0,5 \text{ pour 2 MeV}$$

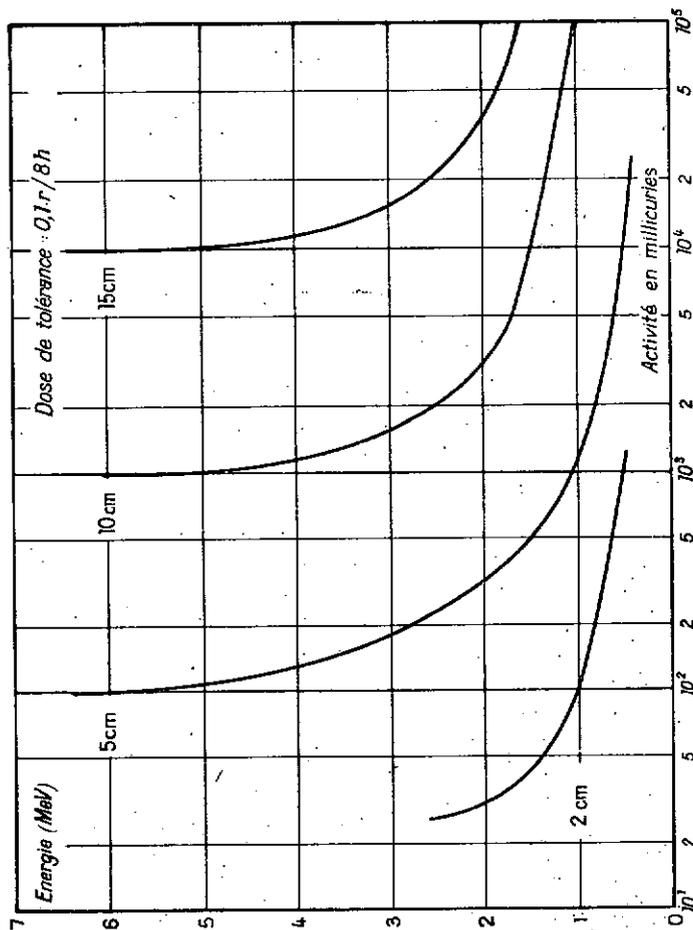


- Fig. 11 -

EPAISSEUR DE PLOMB NECESSAIRE POUR OBTENIR LA DOSE DE TOLERANCE

(0,1 r/jour) à 1 m D'UN EMETTEUR γ D'ACTIVITE

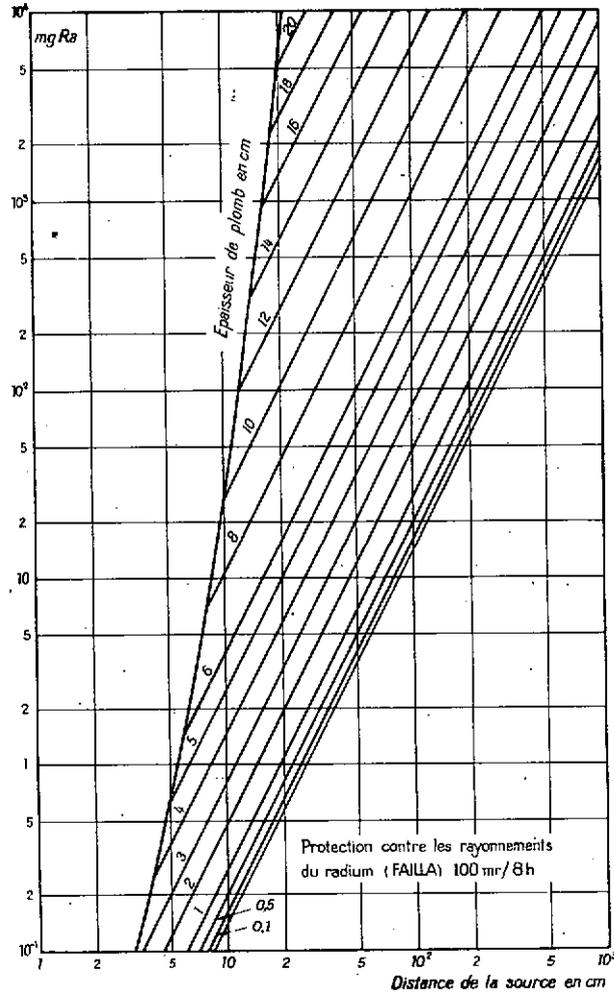
ET D'ENERGIE DONNEES



- Fig. 12 -

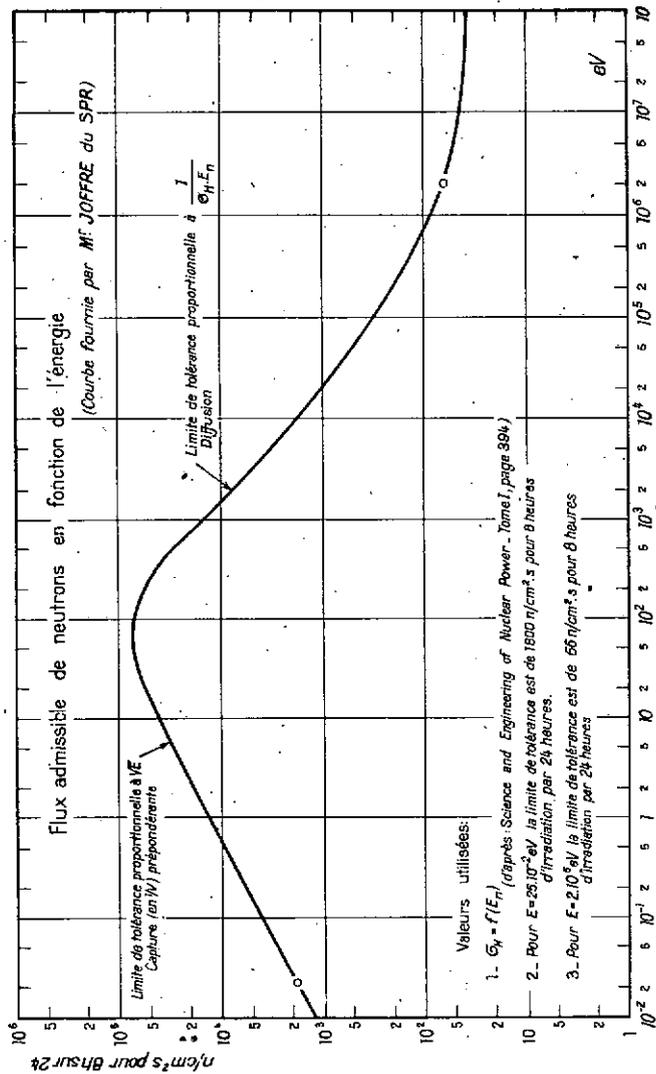
XXIII - EPAISSEUR DE PLOMB NECESSAIRE POUR SE PROTEGER

DU RAYONNEMENT DU RADIUM



- Fig. 13 -

XXIV - FLUX ADMISSIBLE DE NEUTRONS EN FONCTION DE L'ENERGIE



- Fig. 14 -

- TABLE DES MATIERES -

	Pages
I - Définitions	1
II - Distribution en profondeur d'un rayonnement ($X < 200$ kV) dans le corps	5
III - Règles à appliquer pour la protection du personnel	7
IV - Doses de tolérance	11
V - Doses internes maxima permises	13
VI - Doses de tolérance pour : concentration d'un radioisotope dans le corps. Concentration dans l'air et l'eau	31
VII - Dose à délivrer à un organisme (en dose unique ou régulière) pour obtenir une irradiation donnée	37
VIII - Composition chimique du corps adulte	39
IX - Masse et rayon des organes du corps humain adulte	41
X - Caractéristiques de l'homme "standard"	43
XI - Détermination de la dose due à des radioisotopes	45
XII - Dose D_γ au centre d'une sphère en fonction de son rayon R	55
XIII - Dose en r/mcurie.h à 1 cm d'une source ponctuelle	57
XIV - Flux d'énergie ($\text{erg/cm}^2 \cdot \text{r}$) par roentgen en fonction de l'énergie E(MeV) des rayons γ	59
XV - Coefficient d'absorption de l'eau en fonction de l'énergie du rayonnement γ	61
XVI - Irradiation par un faisceau de rayons β	63
XVII - Nombre d'ions formés par μ de parcours des rayons β dans un tissu	65
XVIII - Parcours dans les tissus des électrons (de 2 keV à 2 MeV)	67
XIX - Parcours des particules β dans un tissu de densité 1 ..	69
XX - Dose en mr/h à 30 cm d'une source de 1 mcurie	71
XXI - Dose due aux rayons γ de diverses énergies	73

XXII - Epaisseur de plomb nécessaire pour obtenir la dose de tolérance (0,1 r/jour) à 1 m d'un émetteur γ d'activité et d'énergie données	75
XXIII - Epaisseur de plomb nécessaire pour se protéger du rayonnement du radium	77
XIV - Flux admissible de neutrons en fonction de l'énergie	79

Manuscrit reçu le 23 novembre 1954

24 |
• |
6 |

4 |
- |
4 |