

CLASSIFICATION DES RADIONUCLÉIDES DU POINT DE VUE DE LEUR TOXICITÉ RELATIVE

P. GAIRON et Y. FEIGE

Soreq Nuclear Research Centre,
Yavne, Israel

Résumé—Toute classification des nucléides radio-actifs non-scellés d'après leur toxicité relative, dépend des unités employées. En plus de l'activité (exprimée en μC), le poids (en μg) et le nombre d'atomes radio-actifs (N) ont servi de critères pour évaluer la toxicité relative des isotopes radio-actifs. Certains auteurs sont arrivés à des formules permettant de calculer les concentrations maximales admissibles dans l'air (CMA_a) en se servant de l'activité spécifique ($\mu\text{C}/\mu\text{g}$) comme fonction poids afin de refléter dans une certaine mesure aussi bien les classifications suivant l'activité que celles d'après le poids.

Nous proposons afin d'établir les quantités maximales admissibles dans le corps, un tableau classant les radionucléides d'après la comparaison de ces deux classifications. Ce tableau superpose un code de hachure à une représentation graphique à deux dimensions; les deux classifications sont ainsi maintenues intactes, tout en mettant en relief les restrictions pratiques rencontrées en utilisant l'une ou l'autre exclusivement.

Toute représentation bidimensionnelle est encore incomplète et d'autres classifications peuvent être déduites selon le couple de paramètres que l'on choisit parmi les quatre ou plus qui apparaissent dans la formule de nocivité. Un avantage de notre méthode réside dans la possibilité d'en étendre l'application à d'autres composés toxiques, même non radio-actifs, et de permettre ainsi d'évaluer quantitativement les risques quand il y a danger simultané de contamination radio-active et chimique.

INTRODUCTION

Plusieurs critères ont été proposés pour classer les radionucléides du point de vue de leur toxicité relative. Aucune de ces classifications n'a été universellement acceptée.⁽¹⁾

Pour déterminer le danger relatif des sources radio-actives non-scellées et évaluer les "Quantités Maximales Admissibles" dans le corps on a le choix entre trois systèmes d'unités: l'activité (en μC), le poids (en μg) ou le nombre d'atomes radio-actifs. Les classifications qui en résultent, présentent des intérêts différents: la classification d'après l'activité est généralement préférée et c'est elle, la plupart du temps, qui est présentée dans les tableaux^(2, 3); la classification d'après le poids a son importance pratique dans les laboratoires de radiochimie et la classification d'après le nombre d'atomes radio-actifs peut avoir un certain intérêt pour les personnes travaillant aux accélérateurs et à la production d'isotopes.

Le système d'unité choisi peut avoir une influence dans la place relative des radionucléides dans la classification. Les classifications d'après le poids et le nombre d'atomes radio-actifs étant semblables, il faut comparer l'une de celles-ci avec la classification suivant l'activité pour obtenir une information plus complète sur les dangers relatifs présentés par les radionucléides.

Dans le présent travail nous avons choisi de comparer la classification d'après le poids et la classification d'après l'activité. Nous proposons un tableau qui réunit les mérites des deux classifications et en même temps, révèle les restrictions pratiques rencontrées dans l'utilisation de l'une ou l'autre exclusivement.^(4, 5) De plus, il est possible d'inclure dans ce tableau des éléments stables toxiques, permettant ainsi d'évaluer quantitativement les risques d'intoxication quand des produits radio-actifs et des poisons chimiques sont présents simultanément.

MÉTHODE DE CLASSIFICATION

Les Quantités Maximales Admissibles (QMA) pour les 225 isotopes présentés dans le rapport du deuxième Comité de l'ICRP⁽⁶⁾ ont été calculées en μC , en μg et en nombre d'atomes (tableau 1 de (4)). Ces valeurs s'étendent de $0,05 \mu\text{C}$ à $1000 \mu\text{C}$ pour l'activité, de $10^{-10} \mu\text{g}$ à $10^{13} \mu\text{g}$ pour le poids, et de 10^6 à 10^{28} atomes radio-actifs. Chacun de ces intervalles est divisé en 6 groupes de la manière suivante: pour l'activité les groupes vont en croissant par facteurs de 10 et pour le poids et le nombre d'atomes, par facteurs de 1000 (tableau 1).

2. Ceux qui se trouvent au-dessus de la diagonale et pour lesquels le numéro du groupe-poids est inférieur à celui du groupe-activité, c'est-à-dire qu'ils apparaîtront dans un groupe plus restrictif quand ils sont classés suivant le poids.

3. Ceux qui se trouvent en-dessous de la diagonale et qui apparaîtront dans un groupe plus restrictif quand ils sont classés suivant l'activité.

Un code de hachure permet la distinction entre les groupes et entre les classifications (fig. 1). Chaque rectangle de la grille a été hachuré

Tableau 1. Limites des groupes de toxicité pour les valeurs des QMA.

Numéro de groupe	Limites en μC	Limites en μg	Limites en nombre d'atomes
1	≤ 0.1	$\leq 10^{-6}$	$\leq 10^{10}$
2	0.2-1	$2 \times 10^{-6} - 10^{-3}$	$2 \times 10^{10} - 10^{13}$
3	2-10	$2 \times 10^{-3} - 1$	$2 \times 10^{13} - 10^{16}$
4	20-100	$2 - 10^3$	$2 \times 10^{16} - 10^{19}$
5	200-1000	$2 \times 10^3 - 10^6$	$2 \times 10^{19} - 10^{22}$
> 5		$> 2 \times 10^6$	$> 2 \times 10^{22}$

En représentant les QMA de chaque radionucléide par les numéros des groupes dans lesquels ils se trouvent pour chaque classification, on forme un tableau à 3 colonnes (tableau 1 de (4)) où 90% des radionucléides ont le même numéro de groupe dans les classifications suivant le poids et le nombre d'atomes, (les 10% qui restent ont des numéros de groupe voisins, près de la limite qui sépare des groupes adjacents), alors que la classification suivant l'activité, est essentiellement différente. Ceci tient à ce qu'il faut tenir compte de paramètres indépendants tels que la période, la sélectivité biologique, etc. Les radionucléides et leurs numéros de groupe suivant le poids et l'activité sont donnés dans le tableau 2.

Le tableau 3 représente une grille où les radionucléides seront placés d'après leurs numéros de groupes. Dans cette grille on peut distinguer trois catégories de radionucléides:

1. Ceux qui se trouvent sur la diagonale et pour lesquels les numéros des deux groupes sont identiques.

d'après le plus petit des deux numéros de groupe. La hachure désigne ainsi le groupe dans la classification la plus restrictive. Cette conception est préférée, en général, dans les recommandations de Physique de Santé (fig. 2).

Numéro du groupe	Classification en poids	Classification en activité
1		
2		
3		
4		
5		
>5		

Fig. 1. Code de hachure pour groupes de toxicité.

Tableau 2.

Groupes de toxicité des radionucléides pour les QMA

Nucléide	Symbole & poids atomique	Groupe de toxicité		Nucléide	Symbole & poids atomique	Groupe de toxicité			
		Classification en Poids	Activité			Classification en Poids	Activité		
Actinium	Ac	227	2	1	Cobalt	Co	57	3	5
		228	1	1			58m	2	5
Americium	Am	241	3	1			58	2	4
		243	3	1			60	3	3
Antimoine	Sb	122	2	4	Cuivre	Cu	64	2	3
		124	2	3	Curium	Cm	242	2	1
		125	3	4			243	3	1
Argent	Ag	105	2	4			244	2	1
		110m	3	3			245	3	1
		111	2	4			246	3	1
Arsenic	As	73	3	5	Dysprosium	Dy	165	1	3
		74	2	4			166	2	3
		76	2	4	Erbium	Er	169	2	4
		77	2	4			171	2	3
Astatine	At	211	1	1	Etain	Su	113	3	4
Barium	Ba	131	2	4			125	2	3
		140	2	3	Europium(h)	Eu(h)	152	2	3
Berkélium	Bk	249	2	2	(y)	(y)	152	3	4
Béryllium	Be	7	2	5			154	3	3
Bismuth	Bi	206	2	2			155	3	4
		207	3	3	Fer	Fe	55	3	5
		210	1	1			59	2	4
		212	1	1	Fluor	F	18	1	4
Brome	Br	82	2	3	Gadolinium	Gd	153	3	4
Cadmium	Cd	109	3	4			159	2	4
		115m	2	3	Gallium	Ga	72	1	3
		115	2	3	Germanium	Ge	71	2	4
Calcium	Ca	45	2	4	Hafnium	Hf	181	2	3
		47	2	3	Holmium	Ho	166	2	3
Californium	Cf	249	3	1	Hydrogène	H	3	3	5
		250	2	1	Indium	In	113m	1	4
		252	2	1			114m	2	3
Carbone	C	14	4	5			115m	2	4
Cerium	Ce	141	2	4			115	> 5	4
		143	2	3	Iode	I	126	2	2
		144	2	3			129	5	3
Césium	Cs	131	3	5			131	2	2
		134m	2	4			132	1	2
		134	3	4			133	1	2
		135	5	5			134	1	2
		136	2	4			135	1	2
		137	3	4	Iridium	Ir	190	2	4
Chlore	Cl	36	5	4			192	2	3
		38	1	3			194	2	3
Chrome	Cr	51	3	5	Lanthane	La	140	2	3

Tableau 2 (suite).

Nucléide	Symbole & poids atomique		Groupe de toxicité		Nucléide	Symbole & poids atomique		Groupe de toxicité		
			Classification en Poids	Activité				Classification en Poids	Activité	
Lutetium	Lu	177	2	4	Protactinium	Pa	230	2	1	
Manganèse	Mn	52	2	3	Radium	Ra	231	3	1	
		54	3	4			233	2	4	
		56	1	3			223	1	1	
Mercure	Hg	197 _m	2	3	224	1	1	1	1	
		197	2	4	226	3	1	1	1	
		203	2	3	228	2	1	1	1	
		203	2	3	Rhénium	Re	183	3	4	4
Molybdène	Mo	99	2	3	186	2	4	4	4	
Neodyme	Nd	144	> 5	1	187	> 5	5	5	5	
		147	2	3	188	2	3	3	3	
		149	1	3	Rhodium	Rh	103 _m	2	5	5
Neptunium	Np	237	4	1	105	2	4	4	4	
		239	2	4	Rubidium	Rb	86	2	4	4
Nickel	Ni	59	5	5	87	> 5	5	5	5	
		63	4	5	Ruthénium	Ru	97	2	4	4
		65	1	3	103	2	4	4	4	
Niobium (Columbium)	Nb	93 _m	3	5	105	1	3	3	3	
		95	2	4	106	2	3	3	3	
		97	1	3	Samarium	Sm	147	> 5	1	1
Or	Au	196	2	4	151	4	4	4	4	
		198	2	4	153	2	4	4	4	
		199	2	4	Scandium	Sc	46	2	3	3
Osmium	Os	185	2	3	47	2	4	4	4	
		191 _m	2	4	48	2	3	3	3	
		191	2	4	Sélénium	Se	75	3	4	4
		193	2	3	Silicium	Si	31	1	3	3
Palladium	Pd	103	2	4	Sodium	Na	22	2	3	3
Phosphore	P	32	2	3	24	1	3	3	3	
		109	2	3	Soufre	S	35	3	4	4
Platine	Pt	191	2	3	Strontium	Sr	85 _m	1	4	4
		193 _m	2	4	85	3	4	4	4	
		197 _m	1	3	89	2	3	3	3	
		197	2	3	90	3	3	3	3	
Plomb	Pb	203	2	4	91	1	3	3	3	
		210	3	2	92	1	3	3	3	
		212	1	1	Tantale	Ta	182	2	3	3
		238	3	1	Technétium	Tc	96 _m	1	4	4
		239	3	1	96	2	3	3	3	
		240	3	1	97 _m	2	4	4	4	
Plutonium	Pu	241	3	2	97	5	4	4	4	
		242	4	1	99 _m	2	5	5	5	
		242	4	1	99	4	3	3	3	
		242	4	1	Tellure	Te	125 _m	2	4	4
		242	4	1	127 _m	2	3	3	3	
Polonium	Po	210	2	1	127	2	4	4	4	
Potassium	K	42	1	3	129 _m	2	3	3	3	
Potassium	K	42	1	3						
Praseodyme	Pr	142	2	3						
Prométhéum	Pm	147	3	4						
Prométhéum	Pm	147	3	4						
Prométhéum	Pm	149	2	4						

Tableau 2 (suite)

Nucléide	Symbole & poids atomique	Groupe de toxicité		Nucléide	Symbole & poids atomique	Groupe de toxicité					
		Classification en Poids	Activité			Classification en Poids	Activité				
Tellure (suite)	Te	129	1	3	Uranium	U	230	1	1		
		131m	2	3			232	2	1		
		132	2	3			233	4	1		
Terbium	Tb	160	2	4			234	4	1		
		Thallium	Tl	200			2	4	235	5	1
				201			2	4	236	4	1
				202			2	4	238	5	1
	204	3	3	Nat. U			5	1			
Thorium	Th	227	1	1			Vanadium	V	48	2	3
		228	2	1			Ytterbium	Yb	175	2	4
		230	4	1	Yttrium	Y	90	2	3		
		231	2	4			91m	1	3		
		232	5	1			91	2	3		
		234	2	3			92	1	3		
			Nat. Th	5	1	Zinc	Zn	65	3	4	
Thulium	Tm	170	2	3			69m	1	2		
		171	3	4			69	1	2		
		Tungstène	W	181	3	4	Zirconium	Zr	93	5	4
185	3			4			95	2	4		
187	2			4			97	2	3		

Il peut cependant y avoir un intérêt pratique à envisager la classification qui suggère un degré de danger moindre, sans cependant perdre de vue la conception précédente. C'est ainsi que dans la figure 3 les deux classifications apparaissent simultanément; toutefois la prépondérance est donnée au groupe le moins restrictif. La figure 3 est en fait, une superposition de deux tableaux: l'un, appelé "Classification en Poids" comporte, dans les Régions I et II, les radionucléides qui étaient dans la figure 2, au-dessous de la diagonale et sur celle-ci; l'autre, appelé "Classification en Activité", comporte dans les Régions III et II, les radionucléides qui étaient dans la figure 2, au-dessus de la diagonale et sur celle-ci. La Région II, identique dans ces deux tableaux, sert d'axe à la superposition.

Les rectangles hachurés de la figure 2 sont incorporés dans la figure 3 dans la région caractérisée par le plus grand de leur deux numéros de groupe. Le code de hachures est appliqué de

manière à dévoiler instantanément les niveaux de danger dans les deux classifications: la hachure extérieure au rectangle indique les conditions les moins restrictives; la hachure à l'intérieur du rectangle rappelle les conditions les plus restrictives et la classification.

Pour comparer des radionucléides qui se trouvent dans les Régions I et III il faut les transposer dans la Région qui nous intéresse. Cela se fait en déterminant la ligne dont la hachure correspond à celle du rectangle à transposer.

La figure 3 peut être généralisée afin d'inclure des éléments stables mais toxiques chimiquement. Dans le tableau 4 les QMA de quelques éléments stables toxiques ont été calculées, à partir de leur concentrations maximales admissibles dans l'air, (7) à l'aide de la formule suivante:

$$W = \frac{(CMA)_a \times (T_{\text{biol.}}) \times (f_a)}{10^{-4} \times (f_s)}$$

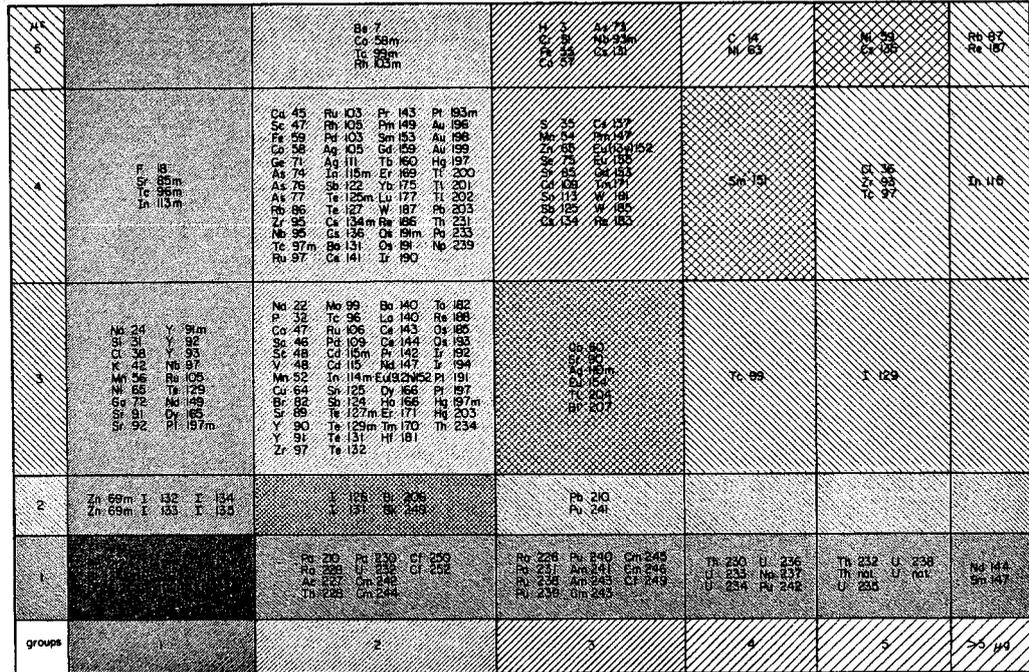


FIG. 2. Représentation à deux dimensions de la toxicité des radionucléides.

Tableau 3. Grille donnant les numéros des groupes de toxicité

μC	(1,5)	(2,5)	(3,5)	(4,5)	(5,5)	(> 5,5)
5						
4	(1,4)	(2,4)	(3,4)	(4,4)	(5,4)	(> 5,4)
3	(1,3)	(2,3)	(3,3)	(4,3)	(5,3)	(> 5,3)
2	(1,2)	(2,2)	(3,2)	(4,2)	(5,2)	(> 5,2)
1	(1,1)	(2,1)	(3,1)	(4,1)	(5,1)	(> 5,1)
groupes	1	2	3	4	5	> 5 μg

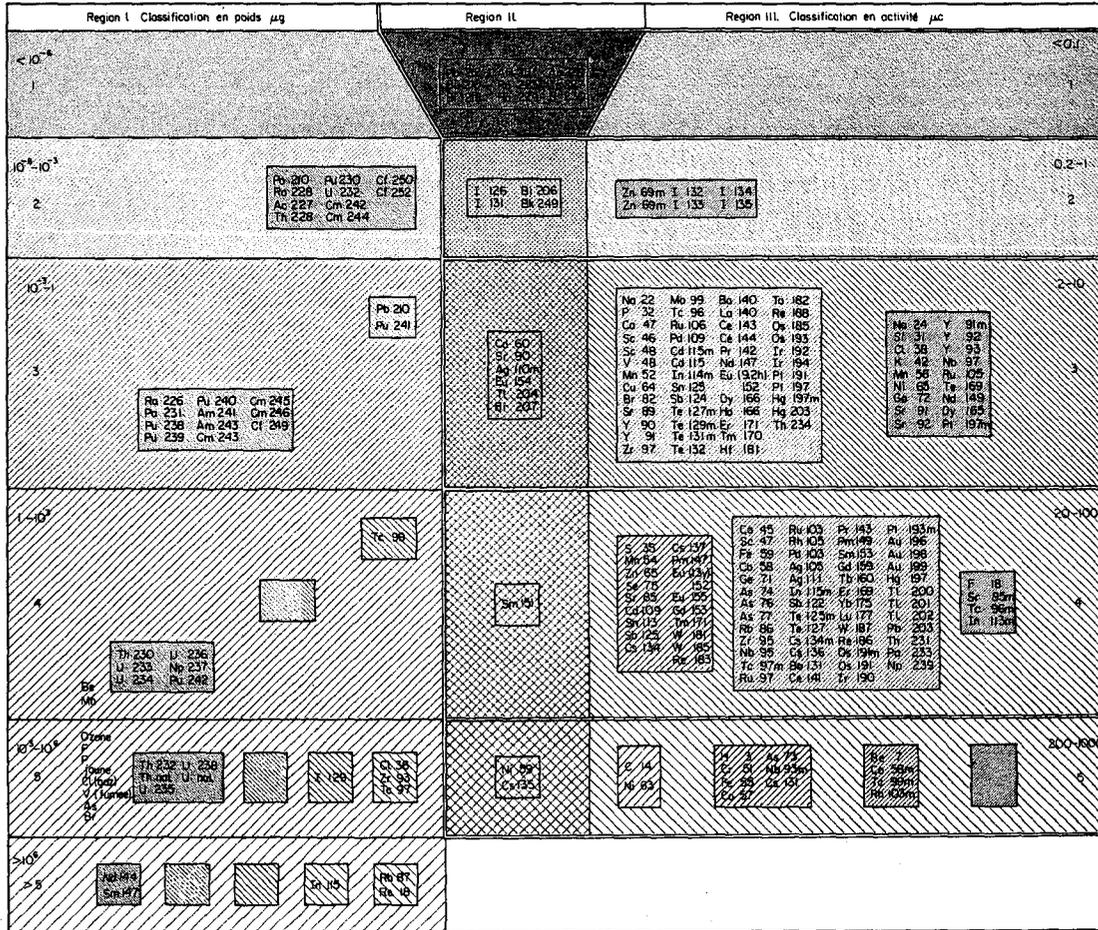


Fig. 3. Tableau composé pour toxicité relative des radionucléides.

où W est la QMA exprimée en μg , T_{biol} la période biologique en jours, $(CMA)_a$ la concentration maximale admissible dans l'air en mg/m^3 , f_a la fraction de radionucléide dans l'organe critique par rapport à la quantité absorbée dans les poumons, et f_2 la fraction de radionucléide dans l'organe critique par rapport à la quantité présente dans tout le corps. Ces éléments ont été incorporés dans la figure 3 sur les lignes correspondant à leur QMA dans la Région I (Classification en Poids).

DISCUSSION

La figure 3 a été composée pour classer et comparer les radionucléides, en même temps que pour permettre une évaluation grossière

du danger qu'ils représentent. Les niveaux de danger ont été établis en fonction des quantités maximales admissibles dans le corps plutôt qu'en fonction des concentrations maximales admissibles dans l'air, vu que ces dernières sont susceptibles de changer avec le progrès de nos connaissances et avec les conditions de travail. Les facteurs secondaires, comme la grosseur des particules, le temps de travail, et l'habileté personnelle des employés, sont à prendre en considération et peuvent faire varier dans de grandes proportions les quantités que l'on peut manipuler.

Les radionucléides pour lesquels les QMA dépassent $1000 \mu\text{C}$ ne sont soumis à aucune limitation. Dans la figure 3, la ligne du groupe

Tableau 4. Numéros de groupes de toxicité en poids de quelques éléments toxiques stables à partir de leur $(CMA)_a$

Élément	CMA_a^*	$\frac{T_b \times f_a}{f_2}$	W (mg)	Numéro du groupe de toxicité dans la classification en poids
Be	0.002	45	0.9	4
Ozone	0.2	10.5	21	5
F	0.2	606	1212	5
P jaune	0.1	162	162	5
Cl (gaz)	3	21	630	5
V (fumée)	0.1	11	11	5
Mn	0.002	5.1	0.1	4
As	0.5	75.5	380	5
Br	7	6	420	5
Cd	0.1	50	50	5
Sb	0.5	10.3	51.5	5
Te	0.1	5.7	5.7	5
I (gaz)	1	104	1040	5
Hg	0.1	6.3	6.3	5
Pb	0.1	423	423	5

* Valeurs tirées de Moeschlin⁽⁷⁾.

> 5 est vide. On peut en conséquence, renoncer à limiter les radionucléides du groupe > 5 de la "Classification en Poids", bien que certains d'entre eux auraient appartenu à des groupes plus élevés dans la classification en activité. Des habitudes correctes de travail suffiront à éviter la pénétration dans le sang de 1g de radionucléide. Ceci concerne les radionucléides suivants: ^{144}Nd , ^{147}Sm , ^{115}In , ^{87}Rb , et ^{187}Re . D'un autre point de vue, il est convenu de ne pas limiter l'utilisation des radionucléides dont l'activité spécifique est inférieure à $0,002 \mu\text{C/g}$ (le double de l'activité spécifique du Potassium naturel). En ce qui concerne la contamination interne, le seuil peut être élevé à $0,1 \mu\text{C/g}$, ce qui supprime les limitations sur les radionucléides suivants: ^{87}Rb , ^{115}In , ^{129}I , ^{144}Nd , ^{147}Sm , ^{187}Re , ^{232}Th , Th nat., ^{238}U , U nat., c'est-à-dire, tous les radionucléides du groupe > 5 dont il a été question plus haut, ainsi que quelques émetteurs- α à longue période du groupe 5 de la "Classification en Poids".

Certains auteurs préfèrent déterminer le danger de sources radio-actives non-scellées sous forme de concentrations maximales admissibles dans l'air ou dans l'eau. Des tables de CMA_a

ont été établies par Duhamel et Lavie⁽⁸⁾ et ont été présentées sous forme graphique. Leur fonction de danger

$$H = \frac{1}{\sqrt{(CMA)_g \times (CMA)_c}}$$

peut être mise sous la forme

$$H = \frac{\sqrt{(C/g)}}{(CMA)_c}$$

C/g étant l'activité spécifique, ce qui fait apparaître l'activité spécifique comme facteur de correction dans la formule de danger classique

$H = \frac{1}{(CMA)_c}$. Cette correction a pour effet d'accroître l'influence de l'activité spécifique, paramètre qui n'est représenté dans la formule classique que par l'intermédiaire de la période effective dans l'expression de la (CMA) d'après le développement suivant:

$$(CMA)_a = \frac{10^{-7} q f_2}{T f_a} \text{ en } \mu\text{C/cm}^3$$

la période effective:

$$T = \frac{T_b \times T_r}{T_b \div T_r} = \frac{T_b}{1 \div T_b/T_r}$$

En conclusion, il n'est pas surprenant qu'une représentation à deux dimensions d'une relation qui contient au moins quatre paramètres indépendants, soit incomplète, et que les résultats dépendent des deux paramètres choisis parmi les quatre. Malgré les intérêts pratiques de chacune de ces représentations, aucune ne peut être considérée comme idéale et définitive. Une classification plane ne peut être tout au plus qu'une projection dans un sous-espace à deux dimensions d'une fonction qui serait univalente dans un espace à cinq dimensions. Notre représentation est une tentative pour obtenir une dimension supplémentaire à l'aide du partage du tableau en deux régions et de la superposition des hachures.

RÉFÉRENCES

1. H. JAMMET et G. VACCA. *Proc. 2nd U.N. International Conference on Peaceful Uses of Atomic Energy*. Geneva, 1958, Vol. 23, p. 346.
2. *Safe Handling of Radioisotopes*. IAEA Vienne Safety Series No. 1, 1958.
3. *NBS Handbooks*. U.S. Department of Commerce No. 69, 1959.
4. Y. FEIGE et P. GAIRON. Classifications of radio-nuclides according to maximum permissible body burdens. Israel AEC Report IA-821 (1963).
5. Y. FEIGE et P. GAIRON. Relative toxicity of radio-nuclides. Israel AEC Report IA-989 (1965).
6. Report of ICRP Committee II on Permissible Dose for Internal Radiation. *Health Physics*, 3 (1960).
7. S. MOESCHLIN. *Klinik und Therapie der Vergiftungen*. G. Thieme, Stuttgart, 1959, pp. 19-24.
8. F. DUHAMEL et J. M. LAVIE. La Limitation des Quantités de Substances Radio-actives Manipulées ou Transportées. *Health Physics*, 10, No. 7, 453 (1964).
9. K. Z. MORGAN, W. S. SNYDER et M. R. FORD. Relative hazard of the various radioactive materials. *Health Physics*, 10, No. 3, 151 (1964).
10. K. Z. MORGAN. Recommendations of Publication 6 of the ICRP Nuclear Safety, 6, 20 (1964).

la période radio-active:

$$T_r = \frac{1.308 \times 10^8}{A \times (C/g)}$$

d'où

$$(CMA)_a = \frac{10^{-7} \times q \times f_2}{f_a \times T_b} \times \left[1 \div \frac{A \times T_b \times (C/g)}{1.308 \times 10^8} \right] \text{ en } \mu C/cm^3$$

La formule de Duhamel et Lavie donne une évaluation plus basse du degré de danger des radionucléides à longue période (ce qui est en accord avec l'expérience); par contre, l'évaluation du degré de danger des radionucléides à courte période croît systématiquement avec l'activité spécifique.

Morgan *et al.*⁽⁹⁾ ont introduit des facteurs limitants comme la concentration de poussière dans l'air, la grosseur des particules, des facteurs de dilutions, etc. . . . Leur fonction de danger comporte une fonction poids à borne supérieure égale à 10 fois la limite du Radium 226 pris comme unité de danger.

$$H = \frac{2,92 \times 10^{-11} \Phi (C/g)}{(CMA)_c}$$

où Φ est défini comme suit:

$$\Phi (C/g) = \begin{cases} C/g, & \text{quand } (C/g) \leq 10 \\ 10, & \text{quand } (C/g) > 10 \end{cases}$$

(On pourrait l'exprimer sous une forme continue à un ordre de grandeur près de la manière suivante: $\Phi (C/g) = \frac{10}{1 \div 10(g/C)}$.)

Morgan obtient ainsi une évaluation encore plus basse du degré de danger des radionucléides à période longue sans cependant élever l'évaluation du degré de danger des radionucléides à période courte.

Morgan *et al.*⁽¹⁰⁾ et Duhamel et Lavie ont obtenu des résultats semblables pour les radionucléides à activité spécifique comprise entre 10^{-2} et $10^4 C/g$. A l'extérieur de cet intervalle, les radionucléides à longue période ($C/g < 10^{-2}$) et à courte période ($C/g > 10^4$) sont classés moins dangereux dans la classification de Morgan, ce

qui, dans la plupart des cas, est en accord avec l'expérience.

Notre classification conduit à des résultats comparables. Nous obtenons un abaissement dans l'évaluation du degré de danger à l'aide du réarrangement de ceux des radionucléides pour lesquels la classification en poids conduit à un degré de toxicité plus bas que la classification en activité. Ceci concerne en premier lieu les radionucléides à période longue et à activité spécifique inférieure à $10^{-2} C/g$ dont il a été question plus haut à propos de la classification de Morgan.

Cette méthode conserve sans altération, les classifications d'après le poids et l'activité, sans nécessiter un réarrangement mathématique.

Il est intéressant de rappeler que les quantités maximales admissibles pour les différents radionucléides sont, par définition, les valeurs qui, d'après nos connaissances actuelles équivalent à un danger d'égale contamination. Ces valeurs sont sensées représenter la toxicité relative des isotopes. En se servant de ces valeurs pour évaluer le danger de contamination on est fait en train de remonter à la formule dont elles ont été dérivées. La quantité maximale admissible est donnée par

$$q = \frac{2,8 \times 10^{-3} m R}{f_2 [\Sigma EF(RBE)_n]} \text{ en } \mu C,$$

ou par $W = \frac{q \times A \times T_r}{1.308 \times 10^8} \text{ en } \mu g, \text{ d'où}$

$$W = \frac{2,8 \times 10^{-3} m R A T_r}{f_2 [\Sigma EF(RBE)_n] 1.308 \times 10^8}$$

Pour déterminer le danger relatif d'après l'activité $\frac{1}{q}$ la connaissance de plusieurs paramètres indépendants est nécessaire:

R = la dose admissible dans les tissus (100 mrem pour tout le corps ou 300 à 600 mrem suivant la sensibilité radio-active de l'organe critique),

m/f_2 = la concentration dans l'organe critique,

$[\Sigma EF(RBE)_n]$ = l'énergie effective.

Le danger relatif d'après le poids introduit, en plus, le poids atomique de l'élément ainsi que sa période radio-active.