
CEA 2282 - JOFFRE H.

**DETERMINATION DES IRRADIATIONS PAR CONTAMINATION INTERNE
DE L'ORGANISME (1963)**

Sommaire. - Après avoir rappelé d'une manière simplifiée les risques de contamination interne de l'organisme par absorption continue d'activité présente à niveau constant dans l'air ou dans l'eau (risques établis par la Commission Internationale de Protection Radiologique), l'auteur établit des relations simples permettant de déterminer très rapidement le risque d'irradiation interne de l'organisme à la suite d'une absorption accidentelle.

CEA 2282 - JOFFRE H.

**DETERMINATION OF THE EXPOSURE DUE TO INTERNAL
CONTAMINATION OF ORGANISM (1963)**

Summary. - After having recalled, on a very simplified form, the hazards of organism internal contamination, associated with the continuous uptake of activity from air and water radioactivity continuous levels (hazards established by the International Commission on Radiological Protection), the author develops simple relations allowing to determine rapidly the hazards of the organism internal exposure received during an accidental radioactivity uptake.

**PREMIER MINISTRE
COMMISSARIAT A
L'ÉNERGIE ATOMIQUE**

**DETERMINATION DES IRRADIATIONS
PAR CONTAMINATION INTERNE
DE L'ORGANISME**

par

H. JOFFRE

Rapport C.E.A. n° 2282

1963

**CENTRE D'ETUDES
NUCLÉAIRES DE SACLAY**

Service de Protection contre les Radiations

**DETERMINATION DES IRRADIATIONS
PAR CONTAMINATION INTERNE DE L'ORGANISME**

par

H. JOFFRE

PLAN SOMMAIRE

INTRODUCTION

Chapitre I - CONNAISSANCE DES FACTEURS BIOLOGIQUES

- 1.1. Voies de répartition de la contamination absorbée par l'organisme
 - 1.11. Absorption par inhalation
 - 1.12. Absorption par ingestion
- 1.2. Décroissance effective de la contamination radioactive d'un organe
- 1.3. Validité des facteurs biologiques

Chapitre II - IRRADIATIONS MAXIMALES ADMISSIBLES ANNUELLES (I_M) PAR CONTAMINATION INTERNE DE L'ORGANISME

Chapitre III - IRRADIATION PAR EXPOSITION CONTINUE A UNE CONTAMINATION CONSTANTE DE L'AIR OU DE L'EAU

- 3.1. Activité maximale admissible présente dans un organe (q_M)
- 3.2. Activité maximale admissible absorbable annuellement par l'organisme (A_M)
 - 3.21. Calcul en fonction des contaminations maximales de l'air ou de l'eau
 - 3.22. Calcul en fonction de l'activité maximale admissible présente dans un organe
- 3.3. Expression de la contamination maximale admissible de l'air et de l'eau
- 3.4. Intensité d'irradiation dans un organe en fonction du temps
- 3.5. Dose d'irradiation dans un organe en fonction du temps

Chapitre IV - IRRADIATION SUBIE PAR SUITE D'UNE EXPOSITION ACCIDENTELLE A UNE CONTAMINATION DE L'AIR OU DE L'EAU

- 4.1. Intensité d'irradiation en fonction du temps
- 4.2. Dose d'irradiation en fonction du temps

Chapitre V - IRRADIATION PAR EXPOSITION CONTINUE A UNE CONTAMINATION CONSTANTE DE L'AIR OU DE L'EAU DANS LE CAS PARTICULIER DU TUBE DIGESTIF

- 5.1. Activité maximale admissible présente dans un segment du tube digestif
- 5.2. Activité maximale admissible absorbable annuellement par l'organisme
 - 5.21. Calcul en fonction des contaminations maximales admissibles de l'air ou de l'eau
 - 5.22. Calcul en fonction de l'activité maximale admissible présente dans un segment du tube digestif
- 5.3. Expression de la contamination maximale admissible de l'air ou de l'eau

Chapitre VI - IRRADIATION SUBIE PAR SUITE D'UNE EXPOSITION ACCIDENTELLE A UNE CONTAMINATION DE L'AIR OU DE L'EAU DANS LE CAS PARTICULIER DU TUBE DIGESTIF

Chapitre VII - IRRADIATION EXTERNE DE L'ORGANISME PAR SUITE DE LA CONTAMINATION RADIOACTIVE DE L'ATMOSPHERE

INTRODUCTION

Les textes actuels de la Commission Internationale de Protection Radiologique (C.I.P.R.) relatifs aux problèmes de contamination interne de l'organisme sont très approfondis et aussi très complexes. Il en résulte que les notions de contamination interne paraissent, le plus souvent, abstraites aux utilisateurs. Les connaissances de base dans ce domaine étant fondamentales pour la bonne application des normes de contamination, il est indispensable d'en fournir aux utilisateurs une présentation simple.

Il est à remarquer également que la C.I.P.R. traite le problème des limites maximales admissibles de contamination pour une exposition constante et continue des travailleurs ou des populations. Les moyens de déterminer les risques radioactifs d'une exposition accidentelle importante sont également indispensables.

Le texte ci-après a pour objet de répondre aux besoins des utilisateurs ainsi définis.

Chapitre I

CONNAISSANCE DES FACTEURS BIOLOGIQUES

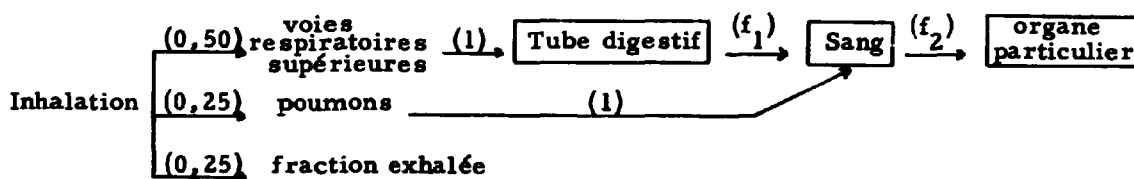
Les facteurs biologiques à connaître pour la détermination des irradiations internes de l'organisme par suite de l'absorption de radioactivité par inhalation ou ingestion concernent d'une part le cheminement dans l'organisme et l'assimilation des radioéléments absorbés, d'autre part la décroissance effective des radioéléments assimilés.

1.1. - Répartition dans l'organisme de la contamination absorbée [1]

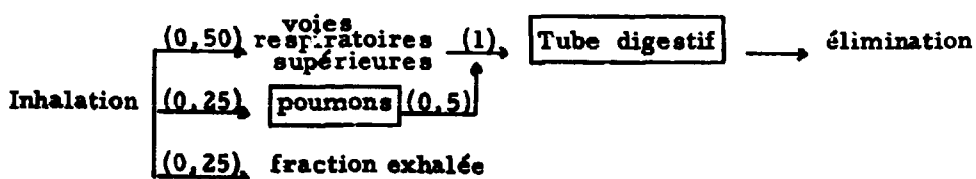
1.11. Absorption par inhalation

A partir des voies respiratoires, le composé radioactif inhalé peut pénétrer et séjourner en diverses zones de l'organisme suivant sa solubilité et ses propriétés chimiques. Cette pénétration peut être représentée schématiquement suivant les diagrammes suivants:

Répartition des composés solubles



Répartition des composés insolubles



Les indications entre parenthèses sont les valeurs approchées de la fraction de la contamination passant d'un organe au suivant.

Les organes où la contamination radioactive peut séjourner peuvent seuls subir une irradiation importante. Les noms de ces organes sont encadrés.

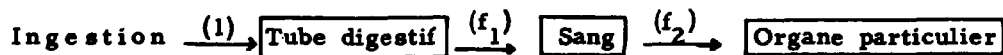
Connaissant les valeurs des fractions de passage d'un organe au suivant, on peut calculer le facteur f_a d'absorption à partir de l'air inhalé pour chacun des organes pouvant être irradiés. Les valeurs de f_a sont indiquées dans le tableau ci-dessous:

	Poumons	Tube digestif	Sang	Organe particulier
Composés solubles		0,5 à $0,5(1-f_1)$	$0,25+0,5f_1$ à $(0,25+0,5f_1).(1-f_2)$	$0,5f_1f_2 + 0,25f_2$
Composés insolubles	0,125	0,625		

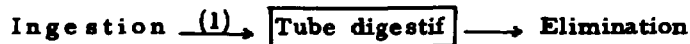
1.12. Absorption par ingestion

Les diagrammes de répartition deviennent:

Répartition des composés solubles



Répartition des composés insolubles



Les facteurs f_e d'absorption à partir de l'eau ingérée, pour chacun des organes pouvant être irradiés, sont indiqués dans le tableau ci-dessous:

	Tube digestif	Sang	Organe particulier
Composés solubles	1 à $1-f_1$	f_1 à f_1-f_2	f_1f_2
Composés insolubles	1		

1.2 - Décroissance effective de la contamination radioactive d'un organe [1]

La probabilité de disparition, par unité de temps, d'un atome radioactif d'un organe est la somme de deux probabilités:

- la probabilité de désintégration radioactive définie par la constante radioactive λ_R ,
- la probabilité d'élimination biologique. Cette élimination est très sensiblement exponentielle et peut être définie, comme la décroissance radio-

active, par une constante d'élimination biologique λ_B . Cette constante dépend de l'organe considéré et des propriétés chimiques de l'élément ou du composé radioactif de contamination

La probabilité effective de disparition d'un atome radioactif d'un organe est donc définie par une "constante effective" $\lambda_E = \lambda_R + \lambda_B$.

De même que la période radioactive correspond à la constante radioactive suivant la relation $\lambda_R \cdot T_R = 0,693$, une période biologique et une période effective correspondent aux constantes λ_B et λ_E suivant les relations $\lambda_B \cdot T_B = 0,693$ et $\lambda_E \cdot T_E = 0,693$. Il en résulte la relation

$$\frac{1}{T_E} = \frac{1}{T_R} + \frac{1}{T_B} .$$

A la suite d'une exposition à une contamination radioactive de l'air ou de l'eau ayant entraîné une contamination radioactive d'un organe, la radioactivité présente dans cet organe décroît comme $e^{-\lambda_E t}$.

De même lors d'une exposition continue à une contamination radioactive constante de l'air ou de l'eau, il y a un apport constant de radioactivité dans l'organe considéré et la radioactivité présente dans cet organe, donc aussi l'intensité d'irradiation de celui-ci, croît comme $1 - e^{-\lambda_E t}$.

Cependant, dans le cas particulier du tube digestif, il n'existe pas de période biologique; en effet, le processus d'élimination est ici purement mécanique. Il est donc toujours le même quelles que soient les propriétés radioactives du composé de contamination absorbé.

1.3. - Validité des facteurs biologiques adoptés pour la détermination de l'irradiation interne par contamination

Les facteurs biologiques f_a , f_e et λ_E définis ci-dessus sont souvent connus d'une manière approximative et sont à confirmer ou à préciser par de nouvelles expérimentations biologiques. Le caractère de solubilité des composés de contamination est également très important et nécessite des expérimentations particulières.

Bien que les bases biologiques soient quelquefois à considérer comme provisoires, il n'en reste pas moins que les méthodes de calcul exposées dans les paragraphes ci-dessous demeureront valables si les valeurs numériques des facteurs biologiques sont modifiées.

Remarque:

Pour certains radionuclides à période radioactive longue, certains auteurs admettent une décroissance de la radioactivité totale retenue dans l'organisme suivant une loi à puissance du temps : $Q_t = k.t^{-n}$. Cette loi, difficilement explicable et pouvant résulter d'une somme de décroissances exponentielles correspondant à divers organes, n'a pas été retenue jusqu'à présent par la C.I.P.R.

Chapitre II

IRRADIATIONS MAXIMALES ADMISSIBLES ANNUELLES (I_M)
PAR CONTAMINATION INTERNE DE L'ORGANISME

Les doses d'irradiation maximales admissibles préconisées par la Commission Internationale de Protection Radiologique en 1959 [1] ont été adoptées par la Communauté Européenne de l'Energie Atomique [2][3] sans modifications importantes, excepté pour la thyroïde pour laquelle l'Euratom a adopté une valeur deux fois plus sévère que la C.I.P.R. Les valeurs indiquées par l'Euratom et précisées dans le tableau I sont applicables en France [4].

La suite du texte se rapportant essentiellement aux travailleurs affectés à des travaux sous radiations, nous désignerons par I_M les irradiations maximales admissibles annuelles des divers organes pour cette catégorie de travailleurs, c'est-à-dire:

- " $I_M = 5$ rem/an pour l'organisme entier, les cristallins, les gonades et les
- " organes hématopoïétiques,
- "
- " $I_M = 30$ rem/an pour la peau et les os,
- "
- " $I_M = 15$ rem/an pour les autres organes (glande thyroïde comprise).
- "

**Tableau I - Doses maximales admissibles d'irradiation
par contamination interne**

Organe	Travailleurs directement affectés à des travaux sous radiations		Travailleurs non directement affectés à des travaux sous radiations	Public
	rems en 3 mois	rems en 1 an	rems en 1 an	rems en 1 an
Organisme entier, cristallins, gonades, organes hématopoïétiques	1,35	5	1,5	0,5
peau et os	8	30	3	3
autres organes	4	15	1,5	1,5

Chapitre III

IRRADIATION PAR EXPOSITION CONTINUE A UNE CONTAMINATION
CONSTANTE DE L'AIR OU DE L'EAU

3.1. - Activité maximale admissible présente dans un organe (q_M)

Désignons par q_M l'activité maximale admissible présente dans un organe qui, maintenue à un niveau constant, entraîne l'irradiation maximale admissible I_M en un an.

En posant:

m masse de l'organe contaminé, en grammes,

E énergie absorbée par l'organe par désintégration d'un noyau du radio-élément de contamination, en MeV,

EBR efficacité biologique relative du rayonnement :

1 pour les rayonnements β d'énergie supérieure à 30 keV, X et γ ,

1,7 pour le rayonnement β d'énergie inférieure à 30 keV,

10 pour les rayons α ,

N coefficient de répartition non uniforme de la contamination dans l'organe. Ce coefficient est égal à 1, sauf pour l'os, dans le cas d'un radionuclide de numéro atomique différent de 88 et émettant un rayonnement corpusculaire, pour lequel il est égal à 5.

On peut écrire successivement:

$$\frac{q_M}{m} \left| \begin{array}{c} 3,7 \cdot 10^{10} \\ \text{Ci/g} \end{array} \right| \begin{array}{c} \text{E} \\ \text{désinté-} \\ \text{gration/g.s} \end{array} \left| \begin{array}{c} 1,59 \cdot 10^{-6} \\ \text{MeV/g.s} \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} 10^{-2} \\ \text{erg/g.s} \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} 0,864 \cdot 10^5 \\ \text{rad/s} \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} 365 \\ \text{rad/an} \end{array} \right| \cdot (\text{EBR}) \cdot N = I_M \left| \begin{array}{c} \\ \text{rem/an} \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} \\ \text{rem/an} \end{array} \right|$$

(1 eV = $1,59 \cdot 10^{-19}$ J)

d'où en posant : $\xi = \Sigma E(\text{EBR})N$

$$q_M = 0,54 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{m}{\xi} \cdot I_M \quad (1)$$

où q_M est exprimée en curies,
m en grammes,
 ξ en MeV
et I_M en rem/an

3.2. Activité maximale admissible absorbable annuellement par l'organisme (A_M)

3.21. Calcul en fonction des contaminations maximales admissibles de l'air ou de l'eau

Pour les travailleurs exposés à raison de 8h par jour, 5 j par semaine et 50 semaines par an soit 2 000 h par an à un niveau constant de contamination de l'air ou de l'eau égale à la contamination maximale admissible (1 CMA), l'exposition A_M subie en un an est:

$$A_M = 2000 \text{ CMA} \cdot h \quad (2)$$

L'unité d'exposition utilisée ici est la CMA.h.

Les expositions suivantes sont, par exemple, égales à A_M :

2 000 h à 1 CMA
1 h à 2 000 CMA
2 h à 1 000 CMA etc.....

Pour exprimer A_M en curies, on admet que l'homme standard inhale 10 m^3 d'air en 8 h et absorbe 1,1 litre d'eau en 8 h, soit en 2 000 h : 2500 m^3 d'air et $0,275 \text{ m}^3$ d'eau.

En désignant par C_a et C_e les valeurs numériques de la CMA en Ci/m^3 respectivement pour l'air et pour l'eau, les activités correspondantes absorbées, exprimées en curies, sont:

pour l'air $(A_M)_a = 2500 C_a \quad (3)$

et

pour l'eau $(A_M)_e = 0,275 C_e \quad (4)$

Nota : Pour la population, on admet une inhalation de 20 m^3 d'air par jour soit 7300 m^3 par an et une absorption de 2,2 l d'eau par jour, soit $0,80 \text{ m}^3$ par an. Les quantités ainsi absorbées sont 2,9 fois plus grandes

$$C_a = \frac{q_M \cdot \lambda}{2500 \cdot f_a (1 - e^{-50\lambda})} \quad (8)$$

$$C_e = \frac{q_M \cdot \lambda}{0,275 \cdot f_e (1 - e^{-50\lambda})} \quad (9)$$

et avec la relation (1)

$$C_a = 2,2 \cdot 10^{-14} \frac{m \lambda I_M}{\xi f_a (1 - e^{-50\lambda})} \quad (10)$$

et

$$C_e = 2,0 \cdot 10^{-13} \frac{m \lambda I_M}{\xi f_e (1 - e^{-50\lambda})} \quad (11)$$

où C_a ou C_e : contamination maximale admissible de l'air ou de l'eau, en Ci/m³,

m : masse de l'organe considéré, en grammes,

λ : constante effective pour le radioélément et l'organe considérés, en an⁻¹,

$\xi = \sum E(\text{EBR})N$ en MeV

E : énergie absorbée dans l'organe par désintégration, en MeV,

EBR: efficacité biologique relative,

N : coefficient de répartition non uniforme dans l'organe,

f_a, f_e : coefficient d'assimilation à partir de l'air ou de l'eau pour le radioélément et l'organe considérés.

Si, dans les relations (10) et (11), λ est remplacé par la période effective T en jours, ces relations deviennent:

$$C_a = 5,4 \cdot 10^{-12} \frac{m I_M}{T \cdot \xi \cdot f_a (1 - e^{-12600/T})} \quad (12)$$

et

$$C_e = 4,9 \cdot 10^{-8} \frac{m I_M}{T \cdot \xi \cdot f_e (1 - e^{-12600/T})} \quad (13)$$

Les valeurs numériques des facteurs intervenant dans le calcul de C_a ou C_e sont fournies par la référence [1] :

m : p. 151 ξ : p. 88-145 T_j , f_a et f_e : p. 154-230

Les valeurs de C_a et C_e [1] ne répondent pas aux formules ci-dessus pour quelques radionuclides, parmi lesquels :

^3H (eau tritiée) : la pénétration dans l'organisme ayant lieu aussi bien par la peau que par les poumons, il faut diviser par 2 la valeur calculée.

^{238}U et U naturel : la valeur pour le rein résulte de la toxicité chimique qui est ici plus grande que la toxicité radioactive (la valeur de q_M peut alors être calculée par la relation (8) ou (9) en prenant pour C_a ou C_e la valeur indiquée correspondant à la toxicité chimique).

Les valeurs de C_a et C_e applicables en France [3] [4] sont quelquefois sensiblement différentes des valeurs fournies par la C.I.P.R. ; le tableau ci-dessous donne, pour les radionuclides en cause, un coefficient de sévérité relativement aux valeurs de la C.I.P.R.

Radionuclide	Air	Eau
I et At	2	2
^{222}Rn	1/10	
^{232}Th soluble	1/15	
insoluble	1/3	
Th naturel soluble	1/15	
insoluble	1/10	

Le terme $1 - e^{-50\lambda}$ est inférieur à 0,9 pour 18 radionuclides pour la plupart transuraniens [1] p.85 - Citons en particulier :

Radionuclide (sous forme soluble)	T ans	$1-e^{-50\lambda}$
^{90}Sr	18	0,86
^{226}Ra	44	0,56
^{232}Th	200	0,16
^{239}Pu	200	0,16

3.4. Intensité d'irradiation dans un organe, en fonction du temps, pour une exposition continue à la contamination maximale admissible dans l'air ou l'eau

L'activité maximale admissible q_M présente dans un organe entraîne l'intensité d'irradiation maximale admissible I_M de cet organe.

Une activité q_t entraîne une intensité d'irradiation I_t telle que:

$$I_t = I_M \cdot \frac{q_t}{q_M} \quad \text{d'où avec les relations (5) et (6):}$$

$$I_t = I_M \cdot \frac{1-e^{-\lambda t}}{1-e^{-50\lambda}} \quad (14)$$

où I_t et I_M sont exprimées en rem/an.

3.5. Dose d'irradiation dans un organe, en fonction du temps, pour une exposition continue à la contamination maximale admissible dans l'air ou l'eau

La dose d'irradiation après un temps t d'exposition est:

$$D_t = \int_0^t I_t dt \quad \text{d'où avec la relation (14):}$$

$$D_t = \frac{I_M}{1-e^{-50\lambda}} \left(t - \frac{1-e^{-\lambda t}}{\lambda} \right) \quad (15)$$

où t est exprimé en années et λ en années⁻¹.

Remarque I: Cas où λt est grand

La relation (15) devient:

$$D_t = \frac{I_M}{1-e^{-50\lambda}} \left(t - \frac{1}{\lambda} \right) \quad (16)$$

Si, en outre, λ est grand

$$D_t = I_M \cdot t \quad (17)$$

Ce cas est celui où l'équilibre effectif est atteint rapidement.

Remarque II : Cas où λt est petit

La relation (15) devient:

$$D_t = \frac{I_M}{1-e^{-50\lambda}} \cdot \frac{\lambda t^2}{2}$$

ou

$$D_t = I_M \frac{\lambda}{2(1-e^{-50\lambda})} t^2 \quad (18)$$

Si, en outre, 50λ est petit

$$D_t = I_M \cdot \frac{t^2}{100} \quad (19)$$

Exemple: Calcul de la dose d'irradiation après 1 an d'exposition à la contamination maximale admissible de l'air par du plutonium-239 soluble (organe critique: os - période effective: 200 ans - I_M : 30 rem/an)

$$D_{1an} = 30 \cdot \frac{1}{100} = 0,3 \text{ rem}$$

Chapitre IV

IRRADIATION SUBIE PAR SUITE D'UNE EXPOSITION ACCIDENTELLE
UNIQUE PAR CONTAMINATION DE L'AIR OU DE L'EAU

4.1. Intensité d'irradiation dans un organe à la suite d'une exposition accidentelle unique

Pour une activité A d'un radioélément absorbée par l'organisme, lors d'une exposition accidentelle unique, il est fixé dans un temps court une activité $q_0 = Af$ dans un organe pour lequel le facteur d'assimilation à partir de l'air ou de l'eau est f . Un temps t après l'exposition, l'activité présente dans l'organe est:

$$q_t = q_0 e^{-\lambda t} \quad \text{ou} \quad \boxed{q_t = A f e^{-\lambda t}} \quad (20)$$

où λ est la constante effective de décroissance pour l'organe considéré.

D'autre part, une activité q_M dans un organe entraîne une intensité d'irradiation I_M . L'activité q_t entraînera une intensité d'irradiation

$$I_t = I_M \frac{q_t}{q_M}$$

ou avec les relations (20) et (6):

$$\boxed{I_t = I_M \cdot \frac{A}{A_M} \cdot \frac{\lambda}{1 - e^{-50\lambda}} \cdot e^{-\lambda t}} \quad (21)$$

4.2. Dose d'irradiation dans un organe à la suite d'une exposition accidentelle unique

La dose d'irradiation un temps t après l'exposition est, pour l'organe considéré, :

$$D_t = \int_0^t I_t dt \quad \text{ou} \quad D_t = I_M \cdot \frac{A}{A_M} \cdot \frac{1}{1 - e^{-50\lambda}} \int_0^t e^{-\lambda t} \lambda dt$$

ou

$$D_t = I_M \cdot \frac{A}{A_M} \cdot \frac{1-e^{-\lambda t}}{1-e^{-50\lambda}} \quad (22)$$

La dose d'irradiation subie après décroissance effective totale, ou après 50 ans (dose vie), est :

$$D_{50} = I_M \cdot \frac{A}{A_M} \quad (23)$$

et si $A = A_M$ $D_{50} = I_M$ on peut donc dire :

Une exposition de 2000 CMA.h entraîne, après décroissance effective totale, ou après 50 ans pour les radionuclides à période effective très longue, une dose d'irradiation égale à la dose maximale admissible annuelle pour l'organe considéré.

Exemple 1 : Une exposition durant 2 h à une contamination atmosphérique de 2.10^{-9} Ci de plutonium-239 soluble par m^3 d'air ($C_a = 2.10^{-12}$ Ci/ m^3) représente une exposition de 2000 CMA.h. La dose d'irradiation au niveau de l'os sera donc de 30 rems après 50 ans (période effective de 200 ans).

La dose d'irradiation, après un temps t, sera :

$$D_t = 30 \cdot \frac{1-e^{-\lambda t}}{1-e^{-50\lambda}} \quad \text{ou} \quad D_t = 190(1-e^{-\lambda t})$$

Pour t = 3 mois $D_{0,25} = 190 \cdot \lambda t$ $D_{0,25} = 190 \cdot \frac{0,693}{200} \cdot 0,25$

$$D_{0,25} = 0,16 \text{ rem}$$

Exemple 2 : Une exposition durant 6 mn à une contamination atmosphérique de 8.10^{-5} Ci d'iode-131 par m^3 d'air ($C_a = 4.10^{-9}$ Ci/ m^3) représente une exposition de 2000 CMA.h. La dose d'irradiation au niveau de la glande thyroïde sera de 15 rems après décroissance effective totale (période effective de 8 j). La dose d'irradiation, après un temps t, sera $D_t = 15(1-e^{-\lambda t})$, soit, par exemple, 7,5 rems après 8 j.

Nota : La relation (23) demeure valable quelle que soit la durée de l'exposition.

Chapitre V

IRRADIATION PAR EXPOSITION CONTINUE A UNE CONTAMINATION
CONSTANTE DE L'AIR OU DE L'EAU
DANS LE CAS PARTICULIER DU TUBE DIGESTIF

Les paragraphes III et IV ne sont pas entièrement applicables au cas particulier du tube digestif. En effet, les lois de variation de la contamination radioactive de cet organe en fonction du temps ne sont pas exponentielles.

5.1. Activité maximale admissible présente dans un segment du tube digestif (q_M)

L'irradiation de la paroi du tube digestif résulte d'une contamination de surface de cette paroi. La formule (1) en 3.1. a été établie en admettant une contamination uniformément répartie dans la masse m de l'organe contaminé c'est-à-dire avec un angle solide 4π .

Pour un segment du tube digestif de masse m , la valeur de q_M est donc, pour un angle solide d'irradiation de 2π ,:

$$q_M = 1,08 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{m}{\xi} \cdot I_M \quad (24)$$

Nota: Dans le cas d'une contamination radioactive α , la C.I.P.R. admet que la paroi du tube digestif ne reçoit que 1 % de l'énergie totale α émise.

5.2. Activité maximale admissible absorbable annuellement par l'organisme (A_M)

5.21. Calcul en fonction des contaminations maximales admissibles de l'air ou de l'eau

Le paragraphe 3.21. et les relations (2), (3) et (4) sont applicables, sans modification, au cas du tube digestif.

5.22. Calcul en fonction de l'activité maximale admissible présente dans un segment du tube digestif (q_M)

L'irradiation du tube digestif est due au simple passage de la contamination radioactive. L'irradiation subie est donc uniquement fonction de l'activité totale absorbée et de la vitesse de passage dans le segment considéré du tube digestif. Pour la simplicité du calcul, on peut donc admettre que l'activité A_M est absorbée en un temps très court. L'activité entre dans le

segment considéré du tube digestif au temps t_1 après l'absorption de l'activité A_M et a pour valeur

$$A_M \cdot f \cdot e^{-\lambda t_1}$$

où f : facteur d'assimilation à partir de l'air ou de l'eau pour le segment considéré.

λ : la constante radioactive du radionuclide.

De même, au temps t_2 , l'activité sort du segment considéré et a pour valeur

$$A_M \cdot f \cdot e^{-\lambda t_2}$$

La durée d'irradiation du segment est $t_2 - t_1$ et l'activité moyenne durant cette irradiation est

$$A_M \cdot f \cdot \frac{\int_{t_1}^{t_2} e^{-\lambda t} dt}{t_2 - t_1}$$

L'activité moyenne ramenée à l'unité de temps est :

$$q_M = A_M \cdot f \cdot \frac{\int_{t_1}^{t_2} e^{-\lambda t} dt}{t_2 - t_1} \cdot \frac{t_2 - t_1}{1}$$

$$q_M = A_M \cdot f \cdot \int_{t_1}^{t_2} e^{-\lambda t} dt$$

ou

$$q_M = \frac{A_M f}{\lambda} (e^{-\lambda t_1} - e^{-\lambda t_2}) \quad (25)$$

ou

$$A_M = q_M \frac{\lambda}{f(e^{-\lambda t_1} - e^{-\lambda t_2})} \quad (26)$$

Les valeurs adoptées par la C.I.P.R. pour m , f_a , f_e , t_1 et t_2 sont les suivantes :

Segment	m	f_a		f_e		t_1	t_2
	g	soluble	insoluble	soluble	insoluble	h	h
estomac	250	0,50	0,62	1	1	0	1
intestin grêle	1 100	0,50	0,62	1	1	1	5
colon supérieur	135	0,50	0,62	1	1	5	13
colon inférieur	150	0,50	0,62	1	1	13	31

5.3. Expression de la contamination maximale admissible de l'air ou de l'eau

Par définition, la contamination maximale admissible de l'air ou de l'eau pour un segment du tube digestif est la contamination qui, pour une exposition continue à un niveau constant, entraîne une irradiation égale à l'irradiation maximale admissible.

Les relations (3) et (26) pour l'air,

(4) et (26) pour l'eau donnent respectivement :

$$C_a = \frac{q_M \cdot \lambda}{2500 f_a (e^{-\lambda t_1} - e^{-\lambda t_2})} \quad (27)$$

$$C_e = \frac{q_M \cdot \lambda}{0,275 f_e (e^{-\lambda t_1} - e^{-\lambda t_2})} \quad (28)$$

et, avec la relation (24), :

$$C_a = 4,3 \cdot 10^{-14} \frac{m \lambda I_M}{\xi f_a (e^{-\lambda t_1} - e^{-\lambda t_2})} \quad (29)$$

et

$$C_e = 3,9 \cdot 10^{-10} \frac{m \lambda I_M}{\xi f_e (e^{-\lambda t_1} - e^{-\lambda t_2})} \quad (30)$$

où C_a ou C_e : contamination maximale admissible de l'air ou de l'eau, en Ci/m³.

m : masse du segment considéré, en grammes.

λ : constante radioactive du radioélément considéré, en an⁻¹.

$\xi = \Sigma E(\text{EBR}),$ en MeV (voir en 3.3.)

f_a, f_e : coefficient d'assimilation à partir de l'air ou de l'eau pour le radioélément et le segment considérés.

Si λt est petit, les relations (29) et (30) deviennent, en exprimant t_1 et t_2 en heures, :

$$C_a = 3,8 \cdot 10^{-10} \frac{m I_M}{\xi f_a (t_2 - t_1)} \quad (31)$$

$$C_e = 3,4 \cdot 10^{-6} \frac{m I_M}{\xi f_e (t_2 - t_1)} \quad (32)$$

Chapitre VI

IRRADIATION SUBIE PAR SUITE D'UNE EXPOSITION ACCIDENTELLE A UNE CONTAMINATION DE L'AIR OU DE L'EAU DANS LE CAS PARTICULIER DU TUBE DIGESTIF

L'irradiation subie par le tube digestif ayant lieu par simple passage de la substance radioactive, la dose subie ne dépend que de l'activité totale absorbée. Il en résulte que l'absorption de l'activité $A_M = 2000 \text{ CMA.h}$ entraîne une dose d'irradiation I_M quelle que soit la durée de l'absorption.

La relation (23) $D = I_M \cdot \frac{A}{A_M}$ demeure donc applicable au cas du tube digestif. Cette dose D sera subie en un temps inférieur ou égal à 31 heures après l'absorption.

Chapitre VII

IRRADIATION EXTERNE DE L'ORGANISME PAR SUITE DE LA CONTAMINATION RADIOACTIVE DE L'ATMOSPHERE

La contamination radioactive de l'atmosphère entraîne par inhalation une contamination interne de l'organisme lorsque la substance inhalée est susceptible d'être retenue dans l'organisme : rétention des aérosols dans les poumons ou solubilité au niveau des alvéoles pulmonaires. Il en résulte une irradiation interne de l'organisme qui a été étudiée dans les paragraphes précédents.

En outre, la contamination atmosphérique entraîne une irradiation externe pendant toute la durée de présence en atmosphère contaminée. En effet, chaque centimètre cube de l'air qui nous entoure constitue une source radioactive dont nous subissons le rayonnement à distance avec une intensité inversement proportionnelle au carré de la distance au centimètre cube d'air considéré. Il s'agit donc bien d'une irradiation externe qui ne cesse que lorsque l'air qui nous entoure ne présente plus de contamination. Tout obstacle matériel faisant écran devant un certain volume d'air contaminé entraîne une réduction de cette irradiation externe; par contre, le risque de contamination interne de l'organisme ne dépend que de l'activité spécifique de l'air inhalé et est indépendant des obstacles matériels ou du volume d'air contaminé.

L'irradiation externe par contamination atmosphérique peut être calculée simplement dans le cas où l'on se trouve dans un grand volume d'air contaminé uniformément. Par gramme d'air, l'énergie absorbée est alors égale à l'énergie émise par les désintégrations radioactives.

Si, par exemple, la contamination de l'air est due à 1 μCi par m^3 d'air d'un radioélément émettant une énergie de 1 MeV par désintégration, l'énergie émise, donc aussi l'énergie absorbée, est :

$$1 \mu\text{Ci} \cdot \text{MeV}/\text{m}^3 \text{ d'air soit } 3,7 \cdot 10^4 \text{ MeV/s} \cdot \text{m}^3 \text{ d'air}$$

or, 1 MeV = $1,59 \cdot 10^{-6}$ erg, l'énergie absorbée est :

$$\frac{3,7 \cdot 10^4 \cdot 1,59 \cdot 10^{-6}}{1,293 \cdot 10^3} = 4,55 \cdot 10^{-5} \text{ erg/s.g d'air}$$

Le pouvoir d'arrêt des tissus mous de l'organisme par rapport à l'air étant de 1,08, l'énergie absorbée par gramme de tissu est :

$$4,55 \cdot 10^{-5} \cdot 1,08 = 4,92 \cdot 10^{-5} \text{ erg/s.g de tissu}$$
$$\text{ou } 4,92 \cdot 10^{-7} \text{ rad/s}$$
$$\text{ou encore } 1,77 \text{ mrad/h}$$

A proximité du sol, l'énergie absorbée est la moitié de l'énergie émise :
 $1 \mu\text{Ci} \cdot \text{MeV}/\text{m}^3$ d'air entraîne donc une intensité absorbée de 0,89 mrad/h.

|| Une contamination de $1 \mu\text{Ci} \cdot \text{MeV}/\text{m}^3$ d'air entraîne donc une irradiation externe
|| de 0,89 mrem/h .

Exemple : Irradiation externe pour une contamination de $1 \mu\text{Ci}$ par m^3 d'air, le radio-élément étant le cobalt-60 (β 0,3 MeV - γ 1,17 et 1,33 MeV).

L'énergie émise par désintégration est :

$$\frac{0,3}{3} + 1,17 + 1,33 = 2,6 \text{ MeV}$$

l'intensité absorbée est donc :

$$2,6 \cdot 0,89 = 2,3 \text{ mrem/h}$$

En une heure, l'irradiation externe est de 2,3 mrems. Quelle serait l'irradiation interne pour une exposition de 1 heure pour du cobalt insoluble ?

L'organe critique est, dans ce cas, le poumon et $C_a = 9 \cdot 10^{-9} \text{ Ci}/\text{m}^3$.

L'exposition subie est donc :

$$\frac{10^{-6}}{9 \cdot 10^{-9}} = 110 \text{ CMA.h}$$

La dose subie par le poumon, après décroissance effective totale, sera:

$$15 \cdot \frac{110}{2000} = 0,8 \text{ rem}$$

Remarque importante: Dans le cas des gaz rares radioactifs, argon, krypton, xénon, ne donnant pas de produits de filiation à période longue, la solubilité de ces gaz dans l'organisme étant très faible, l'irradiation par contamination interne est négligeable devant l'irradiation externe. Il est donc impropre de parler pour ces gaz de contamination maximale admissible. Les méthodes de mesure et les limites maximales admissibles de l'irradiation externe sont applicables aux gaz rares qu'ils se présentent dans un très petit volume ou diffusés dans un grand volume d'air.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Report of I.C.R.P. - Committee II on permissible dose for internal radiation 1959 - Health Physics - June 1960
- [2] Journal Officiel des Communautés Européennes - 20 Février 1959
- [3] Journal Officiel des Communautés Européennes - 9 Juillet 1962
- [4] Journal Officiel de la République Française - 8 Mars 1962 - p. 2340

FIN