

FR 8400797

CEA-R-5370

CEA-R-5370

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

C.20

VALEURS DE REFERENCE ET LEUR APPLICATION POUR LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE AUX COMPOSES DE L'URANIUM NATUREL

par

Le Groupe de Travail Uranium (GT8/1) des Services Médicaux du Travail

CONSEILLER MEDICAL, Siège

et

INSTITUT DE PROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE

DEPARTEMENT DE PROTECTION SANITAIRE

Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses

Rapport CEA-R-5370

1986

SERVICE DE DOCUMENTATION

C.E.N. SACLAY 91191 GIF sur YVETTE Cedex FRANCE

PLAN DE CLASSIFICATION DES RAPPORTS ET BIBLIOGRAPHIES CEA

(Classification du système international de documentation nucléaire SIDON/INIS)

A 11	Physique théorique	C 30	Utilisation des traceurs dans les sciences de la vie
A 12	Physique atomique et moléculaire	C 40	Sciences de la vie : autres études
A 13	Physique de l'état condensé	C 50	Radioprotection et environnement
A 14	Physique des plasmas et réactions thermonucléaires		
A 15	Astrophysique, cosmologie et rayonnements cosmiques	D 10	Isotopes et sources de rayonnements
A 16	Conversion directe d'énergie	D 20	Applications des isotopes et des rayonnements
A 17	Physique des basses températures		
A 20	Physique des hautes énergies	E 11	Thermodynamique et mécanique des fluides
A 30	Physique neutronique et physique nucléaire	E 12	Cryogénie
		E 13	Installations pilotes et laboratoires
B 11	Analyse chimique et isotopique	E 14	Explosions nucléaires
B 12	Chimie minérale, chimie organique et physico-chimie	E 15	Installations pour manipulation de matériaux radioactifs
B 13	Radiochimie et chimie nucléaire	E 16	Accélérateurs
B 14	Chimie sous rayonnement	E 17	Essais des matériaux
B 15	Corrosion	E 20	Réacteurs nucléaires (en général)
B 16	Traitement du combustible	E 30	Réacteurs nucléaires (types)
B 21	Métaux et alliages (production et fabrication)	E 40	Instrumentation
B 22	Métaux et alliages (structure et propriétés physiques)	E 50	Effluents et déchets radioactifs
B 23	Céramiques et cermets		
B 24	Matières plastiques et autres matériaux	F 10	Economie
B 25	Effets des rayonnements sur les propriétés physiques des matériaux	F 20	Législation nucléaire
B 30	Sciences de la terre	F 30	Documentation nucléaire
		F 40	Sauvegarde et contrôle
C 10	Action de l'irradiation externe en biologie	F 50	Méthodes mathématiques et codes de calcul
C 20	Action des radioisotopes et leur cinétique	F 60	Divers

Rapport CEA-R-5370

Cote-matière de ce rapport : C.20

DESCRIPTION-MATIERE (mots clefs extraits du thesaurus SIDON, INIS)

en français

en anglais

URANIUM NATUREL	NATURAL URANIUM
SURVEILLANCE DU PERSONNEL	PERSONNEL MONITORING
CINETIQUE DES RADIONUCLEIDES	RADIONUCLIDE KINETICS
EXCRETION	EXCRETION
IRRADIATION INTERNE	INTERNAL IRRADIATION
RETENTION	RETENTION
APPORT CHRONIQUE	CHRONIC INTAKE
EXPOSITION PROFESSIONNELLE	OCCUPATIONAL EXPOSURE

RAPPORT CEA-R-5378 - Groupe de Travail Uranium (G.T.S.) - Dites Services Médicaux du Travail.
Conseiller Médical (Sage) et Département de Protection
Sanitaire (Ontonariques roses)

VALEURS DE REFERENCE ET LEUR APPLICATION POUR LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE AUX COMPOSES DE L'URANIUM NATUREL.

Summary. - Les composés de l'uranium naturel qui entrent dans le cycle de fabrication du combustible à oxyde présentent des caractéristiques physico-chimiques en rapport avec la structure et leur procédé de fabrication. Ces caractéristiques déterminent le mode de toxicité chimique et radiologique.

La surveillance des personnes professionnellement exposées à ces composés doit être périodiquement faite et les résultats leur peuvent être mieux interprétés s'ils sont comparés à des valeurs de référence. Ces valeurs doivent être en fonction de la période de latence, du type de contaminant et de la situation réelle d'exposition. Les Groupes de Travail (G.T.S.) du Service Médical du Travail ont étudié dans ce document les possibilités d'application de ces valeurs et propose un ensemble de recommandations à caractère préventif et curatif en rapport des situations rencontrées dans la surveillance de l'exposition.

1986

1/1 p.

Commissariat à l'Énergie Atomique - France

RAPPORT CEA-R-5380 - Groupe de Travail Uranium (G.T.S.) - Dites Services Médicaux du Travail.
Conseiller Médical (Sage) et Département de Protection
Sanitaire (Ontonariques roses)

REFERENCE VALUES AND THEIR APPLICATION TO THE MONITORING OF OCCUPATIONAL EXPOSURE TO NATURAL URANIUM COMPOUNDS.

Summary. - Natural uranium compounds, which enter the cycle of fuel cycle of a power plant, chemically characteristics dependent of their structure and their mode of fabrication. These characteristics determine their biological behavior and the nature of their toxicity for occupational workers.

The monitoring of workers occupationally exposed to these compounds should be periodically done in order to get the best interpretation for resulting data and to compare it to reference values. These values must be closely related to the type of contaminant and the real exposure conditions. In this report, the occupational health services working group has compared the possibilities of application of such reference values and suggests recommendations and management value concerning these situations found in the surveillance of occupational exposure.

1986

1/1 p.

Commissariat à l'Énergie Atomique - France

- Rapport CEA-R-5370 -

Conseiller Médical, Siège
et
Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses
Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire
Département de Protection Sanitaire

VALEURS DE REFERENCE ET LEUR APPLICATION
POUR LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE
AUX COMPOSES DE L'URANIUM NATUREL

par

le Groupe de Travail Uranium (GT8/1)
des Services Médicaux du Travail

- Septembre 1986 -

RAPPORT CEA-R-5370

Conseiller Médical
CEA-Siège - Paris

**VALEURS DE REFERENCE ET LEUR APPLICATION
POUR LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE
AUX COMPOSES DE L'URANIUM NATUREL**

GRUPE DE TRAVAIL URANIUM (GT8/1)

CEA : Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire
Département de Protection Sanitaire

CEN Fontenay aux Roses

Dr LAFUMA
Dr BEAU
M. JEANMAIRE
Dr MASSE
Mlle MORIN

CEN Vallée du Rhône (Pierrelatte)

M. CHALABREYSSE
Mme ARCHIMBAUD
M. ANSOBORLO
M. BERARD
Dr FRAPPE
Mlle TEULON

CEA : Laboratoire d'Analyses Médicales

M. BATTALER (CEN Cadarache)
M. CHIVOT (CHU Nanterre)
M. GERONIMI (CEN Saclay)
Mlle LANTENOIS (C.E. Vaujours)

EDF : Laboratoire d'Analyses Médicales
Dr CHEVALIER (Saint-Denis)

Service de Santé des Armées
Dr PASQUIER (Paris)

Société COMURHEX-PECHINEY
Dr CAMARASA (Narbonne)
Dr ACHIARY (Pierrelatte)

Société Franco-belge de Fabrication de Combustibles
Dr BOURDEIX (Romans)

Société Industrielle de Combustibles Nucléaires
Dr GONTHIER (Veurey)
Dr TINTURIER (Annecy)

SOMMAIRE

PRESENTATION DU DOCUMENT -----	1
I - GENERALITES -----	3
1. Modalités d'exposition -----	3
2. Produits -----	3
3. Bases méthodologiques -----	4
II - PRINCIPES DE CALCUL DES VALEURS DE REFERENCE -----	6
1. Premier type d'évaluation -----	6
1.1. Valeurs de référence pour la rétention à l'équilibre dans le poumon -----	6
1.2. Valeurs de référence pour l'excrétion fécale -----	6
1.3. Valeurs de référence pour l'excrétion urinaire -----	8
1.3.1. Composés de la classe D -----	8
1.3.2. Composés de la classe W -----	11
1.3.3. Composés de la classe Y -----	11
2. Deuxième type d'évaluation -----	12
III - SYNTHESE DES EVALUATIONS -----	13
IV - RECOMMANDATIONS POUR LA MISE EN PRATIQUE D'UN CONTROLE DE LA CONTAMINATION PAR LES COMPOSES DE L'URANIUM NATUREL -----	14
REFERENCES -----	17
ANNEXE I : DONNEES A UTILISER -----	20
ANNEXE II : DEFINITIONS ET FORMULATIONS -----	26

TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAUX :

Tableau I	: Classement de transférabilité des composés de l'uranium -----	5
Tableau II	: Rétention pulmonaire -----	7
Tableau III	: Excrétion fécale -----	8
Tableau IV	: Excrétion urinaire des composés transférables : valeurs basées sur le risque radiologique -----	9
Tableau IV bis	: Excrétion urinaire - Classe D -----	10
Tableau V	: Excrétion urinaire - Classe W -----	11
Tableau VI	: Excrétion urinaire - Classe Y -----	11
Tableau VII	: Deuxième type d'évaluation -----	12
Tableau VIII	: Synthèse des valeurs calculées -----	13
Tableau IX	: Niveaux d'investigation dérivés en inhalation unique -----	24
Tableau X	: Valeurs repères pratiques au niveau d'investigation -----	25

FIGURES :

Figure 1	: Excrétion urinaire et fécale après incorporation continue ($\frac{LAI}{365}$ pCi.j ⁻¹) pour un composé de la classe D -----	21
Figure 2	: Rétention pulmonaire, excrétion urinaire et fécale après incorporation continue ($\frac{LAI}{365}$ pCi.j ⁻¹) pour un composé de la Classe W -----	22
Figure 3	: Rétention pulmonaire et excrétion fécale après incorporation continue ($\frac{LAI}{365}$ pCi.j ⁻¹) pour un composé de la classe Y -----	23
Figure 4	: Evolution de la fraction de l'activité inhalée dans le rein après incorporation continue (Classe D) -----	32

VALEURS DE REFERENCE ET LEUR APPLICATION
POUR LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE
AUX COMPOSES DE L'URANIUM NATUREL

PRESENTATION DU DOCUMENT

Ce document est le reflet de l'action que mène depuis de nombreuses années le Groupe de Travail GTR/1 des Services Médicaux du Travail pour étudier les résultats de la surveillance de l'exposition interne aux composés de l'uranium en les confrontant aux données théoriques et rechercher à la lumière de cette analyse des règles et des valeurs d'application pratique. Ces règles et ces valeurs, tout en s'inscrivant dans le cadre des prescriptions réglementaires et en particulier de celles découlant de la Directive des Communautés Européennes, doivent offrir la meilleure adaptation possible aux réalités industrielles.

Ceci explique la division du document qui débute au chapitre I par l'exposé des situations rencontrées en matière d'exposition et de produits, puis présente les outils méthodologiques qui permettent de quantifier les phénomènes et d'obtenir par rapport aux limites d'exposition des valeurs de référence directement utilisables. Au chapitre II sont explorées les possibilités d'évaluation de ces valeurs de référence par rapport à deux situations résultant des conditions d'exposition. Une synthèse comparative est effectuée au chapitre III suivie au chapitre IV de recommandations qui prennent en compte les contraintes imposées par les caractéristiques physiques du contaminant, son métabolisme, sa toxicité chimique et radiologique.

Deux annexes complètent les chapitres précédents. L'annexe I a un but essentiellement pratique : elle apporte sous forme de figures et de tableaux les éléments qui doivent guider l'utilisateur dans le choix des examens et des valeurs adaptées au composé de l'uranium concerné et au type d'exposition. L'annexe II présente de manière plus détaillée les données théoriques abordées au chapitre I.3.

Ce document résulte de la collaboration des médecins du travail des Sociétés filiales ou non du Groupe CEA, qui participent au cycle de fabrication des combustibles, des spécialistes d'EDF et du CEA dans les domaines de l'analyse, et enfin des théoriciens et expérimentateurs de l'IPSN/DPS en toxicologie chimique et nucléaire. Consacré aux composés de l'uranium naturel, ce travail sera étendu aux problèmes de surveillance posés par les composés de l'uranium amené à différents degrés d'enrichissement et de l'uranium issu du retraitement des combustibles irradiés.

I - GENERALITES

Les idées directrices qui ont été suivies par le Groupe de Travail pour obtenir des valeurs de référence concernent :

1. Les modalités d'exposition

La fabrication du combustible à l'oxyde d'uranium nécessite l'élaboration d'un certain nombre de composés chimiques. Leur technologie de production, n'étant pas toujours réalisée en enceinte de confinement il n'y a pas de barrière absolue entre ces composés et le personnel. Il en résulte que dans les conditions normales de fonctionnement se produit une contamination atmosphérique a minima responsable d'une exposition interne chronique et de bas niveau du personnel, majorée lorsque le fonctionnement des installations est perturbé. Pour les autres composés, leur fabrication et leur utilisation se font dans des conditions de confinement telles que seule une exposition consécutive à leur libération accidentelle est à envisager.

2. Les produits

Les composés de l'uranium auxquels sont habituellement exposés les ouvriers sont principalement des corps sous forme pulvérulente : uranates d'ammonium et de magnésium, trioxyde et tétrafluorure d'uranium, dioxyde et sesquioxyde d'uranium. Les conditions de production de ces composés (température, acidité ou alcalinité, etc...) étant très différentes, leur granulométrie est très variable. Elle s'écarte souvent de façon notable de la granulométrie de référence (DAMA de 1 µm adopté par la CIPR) pour prendre des valeurs plus élevées. L'hexafluorure d'uranium et son produit de décomposition, l'oxyfluorure, qui n'apparaissent que dans des conditions accidentelles, se présentent à l'état de vapeur pour le premier et pour le second de particules fines qui peuvent s'agglomérer pour donner des agrégats dont la taille s'élève jusqu'à 10 µm.

Les procédés de fabrication assurent aux produits une pureté qui peut être altérée lorsque les paramètres de réaction n'ont plus leur valeur nominale. Il en résulte la production de mélanges : par exemple, UF₄ + UO₃ (le pourcentage d'UO₃ est normalement très faible). Les irrèglements de fonctionnement sont souvent générateurs de contamination atmosphérique et par conséquent l'inhalation de mélanges par les ouvriers est une éventualité à considérer. Elle se traduit par une modification de la valeur des paramètres de l'élimination. Cependant, la connaissance incomplète ou la méconnaissance de la composition de ces mélanges et des granulométries conduit pour l'instant à ne pas faire d'hypothèse à leur sujet.

3. Bases méthodologiques

Ce sont les concepts et les modèles apportés par la CIPR. On dispose en fait de deux modélisations, la première est celle de la Publication 2 [12], la seconde celle de la Publication 30 [13].

Dans le premier cas, on considère une inhalation continue conduisant à un équilibre dans les organes par une cinétique d'accumulation à partir du compartiment sanguin. La quantité accumulée à l'équilibre ou au bout de 50 années d'exposition qui délivre la dose maximale admissible annuelle (DMAA) constitue la quantité maximale admissible (QMA) dans un organe ou dans l'organisme entier. Cette quantité est la limite secondaire d'exposition interne de la législation française actuelle avec au plan dosimétrique un facteur de qualité de 10 pour les alphas.

La QMA est bien adaptée à la surveillance par anthroporadiométrie puisqu'elle fixe la valeur plafond de la charge de l'organe et en particulier la charge de l'appareil respiratoire (RESP).

Dans sa Publication 30, la CIPR adopte une conception différente : le comportement d'un apport unique au niveau de l'appareil respiratoire est représenté à l'aide d'un modèle à compartiments multiples et à cinétique de transfert exponentielle. Ce modèle prend en compte les phénomènes de dépôt (phénomènes physiques où intervient la granulométrie de l'aérosol) et d'épuration (phénomènes biologiques et physico-chimiques) qui se succèdent au niveau des 3 étages nasopharyngé, trachéobronchique et pulmonaire de l'appareil respiratoire. Les composés de l'uranium se partagent entre 3 classes d'épuration : D pour les composés fortement transférables, W pour les composés moyennement transférables, Y pour les composés faiblement transférables. Ces classes sont fondées sur la longueur de la période biologique commune aux voies d'épuration e, g, h, du compartiment pulmonaire. Le classement des composés de l'uranium effectué par la CIPR repose sur des expérimentations animales anciennes et quelques observations humaines recueillies dans l'industrie américaine. La répartition des composés de l'uranium selon ce classement que l'on adopte en l'absence de données particulières figure dans le tableau I :

Tableau I : Classement de transférabilité des composés de l'uranium.		
fortement transférable (D) période : 0,5 j	moyennement transférable (W) période : 50 j	faiblement transférable (Y) période : 500 j
UF_6 UO_2F_2 $UO_2(NO_3)_2$ $u_2O_7(NH_4)$ sulfates d'uranium carbonates d'uranium	UO_3 UF_4 UCl_4 nitrates d'uranium	UO_2 U_3O_8 oxydes d'uranium hydrures d'uranium carbures d'uranium

La CIPR associe au modèle précédent un modèle systémique pour décrire le métabolisme de l'uranium après son passage sanguin. Ce modèle formule la rétention dans l'organisme entier, en considérant que pour une unité d'activité introduite dans le sang, 54 % sont directement éliminés par les urines et 46 % se répartissent entre les reins (26 %), les autres organes (26 %) et l'os (48 %).

Le modèle pulmonaire permet de formuler quantitativement pour chaque classe d'épuration la rétention $r_{RESP}^{D,W,Y}(t)$ après une incorporation unique ou au cours d'un apport équivalent à une incorporation continue. Il permet également de formuler l'excrétion fécale $f(t)$ consécutive à l'épuration mucociliaire. En combinant le modèle pulmonaire et le modèle systémique, l'excrétion urinaire $y_{U}^{D,W,Y}(t)$ et fécale $y_{F}^{D,W,Y}(t)$ après incorporation par inhalation peuvent être obtenues soit pour un apport unique, soit pour un apport équivalent à une incorporation continue [11, 19 et annexe II].

La limite secondaire d'exposition interne dans la conception de la Publication 30 est la limite d'incorporation annuelle (LIA) reprise par la Directive de la CCE et la législation française en cours de révision. Cette limite pour le risque stochastique est établie à partir de la limite de 5 rems à l'organisme entier et de la dose engagée efficace pour une unité d'activité incorporée par inhalation.

Les niveaux de référence dérivés de la limite précédente correspondent aux mesures praticables chez les travailleurs par l'analyse urinaire, fécale et l'anthroporadiamétrie. Ces niveaux, au nombre de deux, répondent à des objectifs différents : le premier, le niveau d'enregistrement, a une connotation administrative, le second, le niveau d'investigation, constitue pour le médecin du travail le repère qui le conduit à une décision. C'est donc le niveau d'investigation qu'il est important d'établir en premier pour les composés de l'uranium.

II - PRINCIPES DE CALCUL DES VALEURS DE REFERENCE

1. Premier type d'évaluation

On a cherché à obtenir des valeurs de la rétention pulmonaire, de l'excrétion urinaire et fécale, lorsque la charge de l'organe est en équilibre à la suite d'un apport continu et qu'elle délivre la limite de dose annuelle.

1.1. Valeurs de référence pour la rétention à l'équilibre dans le poumon

La valeur de 25 nCi qui se situe à peu près au milieu de la fourchette des valeurs et qui, au plan théorique, correspond aux conceptions actuelles de la CIPR, est considérée par le groupe comme une base raisonnable. Le fait que certains composés classés Y apparaissent plus transférables comme le montrent les études canadiennes et allemandes [16, 20], conduirait à augmenter un peu cette valeur.

1.2. Valeurs de référence pour l'excrétion fécale

A la différence de l'excrétion fécale du Pu et d'autres radionucléides qui comportent deux composantes, la CIPR considère que pour l'uranium, l'épuration métabolique avec concentration dans les voies biliaires ne joue pas et que seule existe l'épuration mécanique des voies respiratoires en direction du tube digestif.

Cette conception est remise en cause par une expérimentation animale récente qui a montré l'existence d'une excrétion fécale métabolique de 3 à 5 % de la quantité inhalée [18]. En calculant l'excrétion fécale à l'équilibre à partir du modèle pulmonaire seul et des LIA correspondant aux 3 classes de composés D, W et Y, on obtient [11, 3] :

Tableau II : Rétention pulmonaire		
classe du composé	bases de calcul	valeurs de référence pour la charge pulmonaire à l'équilibre
composés insolubles	Publication 2 de la CIPR : DMAA = $15 \frac{\text{rem}}{\text{an}}$ HRESP = $2,35 \times 10^6 \frac{\text{rem}}{\text{Ci.j}}$ (FQ = 10)	législation actuelle : RESP = organe critique QRESP = QMA Q _{eq} = 17 nCi
composés insolubles	Publication 30 de la CIPR : LDA = $50 \frac{\text{rem}}{\text{an}}$ HRESP = $4,65 \times 10^6 \frac{\text{rem}}{\text{Ci.j}}$ (FQ = 20)*	risque non stochastique à l'organe RESP QRESP = QMA QMA = 30 nCi
classe W granulométrie standard (DAMA = 1 µm)	Publication 30 de la CIPR : apport journalier de $\frac{\text{LIA}}{365} = 2000 \text{ pCi.j}^{-1}$	risque stochastique à l'organisme entier QRESP = 25 nCi
classe Y granulométrie standard (DAMA = 1 µm)	Publication 30 de la CIPR : apport journalier de = 110 pCi.j	risque stochastique à l'organisme entier QRESP = 25 nCi

* fondé sur des phénomènes cytogénétiques stochastiques.

Tableau III : Excrétion fécale	
Classe du composé (granulométrie standard : DAMA : 1 μm)	Excrétion fécale à l'équi- libre feq (pCi.j^{-1}) pour un apport journalier de $\frac{\text{LIA}}{365}$ pCi.j^{-1}
D	620
W	970
Y	65

Ces valeurs théoriques tenant compte de l'excrétion précoce, on admet que la contamination est chronique même pendant les 10 derniers jours.

1.3. Valeurs de référence pour l'excrétion urinaire

Les bases de l'évaluation de ces valeurs diffèrent selon la classe de transférabilité du composé de l'uranium naturel.

- Classe D : pour les composés transférables de l'uranium naturel intervient la toxicité chimique de l'Uranium pour le rein. La charge maximale de l'organe en chronique fondée sur les limites imposées par le risque radiologique doit être confrontée à la concentration pondérale critique pour l'organe. Les différentes modalités de calcul de la charge rénale et de la concentration pondérale fondées sur des bases radiologiques conduisent aux valeurs suivantes :

Tableau IV : Valeurs basées sur le risque radiologique		
classification du composé	bases de calcul	charge rénale à l'équilibre Q_{eq}^{REINS} et concentration pondérale dans l'organe C_{REINS}
composés solubles	Publication 2 de la CIPR : DMAA = $15 \frac{rem}{an}$ $H_{REINS} = 7,8 \times 10^6 \frac{rem}{Ci \cdot j}$ (FQ = 10)	législation actuelle : REINS = organe critique $Q_{REINS}^{eq} = QMA = 5,25 \times 10^{-9} Ci$ $C_{REINS} = 26 \frac{\mu g}{g}$
composés solubles	Publication 30 de la CIPR : LDA = $50 \frac{rem}{an}$ $H_{REINS} = 1,5 \times 10^7 \frac{rem}{Ci \cdot j}$ (FQ = 20) * Ci.j	risque non stochastique à l'organe REINS $Q_{REINS}^{eq} = QMA = 9 \times 10^{-9} Ci$ $C_{REINS} = 45 \frac{\mu g}{g}$
classe D (granulométrie standard : DAMA de 1 um)	Publication 30 de la CIPR : apport journalier de $\frac{LIA}{365} = 3550 pCi \cdot j^{-1}$	risque stochastique à l'organisme entier $Q_{REINS}^{eq} = 3,7 \times 10^{-9} Ci$ $C_{REINS} = 19 \frac{\mu g}{g}$

* fondé sur des phénomènes cytogénétiques stochastiques

Les valeurs de concentration tissulaire rénale précédentes fondées sur le risque radiologique sont trop élevées en regard du risque chimique, dont l'indicateur biologique le plus sensible et le plus précoce serait une élévation mesurable du glucose urinaire. D'après des données récentes, un apport unique par voie veineuse chez l'homme de $25 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (1750 μg pour un homme de 70 kg) entraîne une charge initiale du rein de 210 μg , qui correspond à une concentration maximale de $0,6 \mu\text{g.g}^{-1}$. Cette valeur, qui se situe réellement au dessous du seuil de dysfonctionnement rénal dont la variabilité selon les espèces et selon que le sujet a été ou non déjà exposé, conduit à une fourchette de 1,8 à $4 \frac{\mu\text{g}}{\text{g}}$, peut être utilisée comme référence [4, 18, 21].

En considérant la concentration de $0,6 \frac{\mu\text{g}}{\text{g}}$ maintenue de façon permanente dans l'organe, l'excrétion urinaire et la quantité inhalée correspondantes seraient respectivement de $880 \mu\text{g.j}^{-1}$ et de $3300 \mu\text{g.j}^{-1}$. En fait, la concentration pondérale ne serait plus la même puisque aux 190 μg présents journellement dans l'organe viennent s'ajouter les 860 μg correspondant à l'excrétion rapide, associant au risque tubulaire un risque glomérulaire. La concentration pondérale s'élève alors à $3,3 \mu\text{g.g}^{-1}$. La législation française actuelle stipule que la quantité maximale inhalable en un jour est de 2500 μg . Pour une inhalation unique, il est évident que le risque est inexistant, même en tenant compte de l'excrétion des premières 24 heures. Par contre, une inhalation chronique de $2500 \mu\text{g.j}^{-1}$ ne pourrait pas être considérée comme totalement inoffensive. Les valeurs de l'excrétion urinaire relatives à ces deux situations qui seront discutées plus loin sont répertoriées dans le tableau IV bis :

Tableau IV bis : Excrétion urinaire - Classe D		
1°. Exposition unique à la limite de 2500 μg		
Excrétion des premières 24 heures ($\mu\text{g.j}^{-1}$)	Excrétion immédiate	545
	Excrétion de la charge rénale	15
	Excrétion totale	560
Excrétion du jour suivant ($\mu\text{g.j}^{-1}$)		12
2°. Exposition chronique à la limite de 2500 μg		
Excrétion journalière ($\mu\text{g.j}^{-1}$)	Excrétion immédiate	900
	Excrétion de la charge rénale à l'équilibre	220
	Excrétion totale	1120

- Classe W : pour cette classe de composés, le risque radiologique en U.Nat l'emporte sur le risque chimique. L'excrétion urinaire journalière toujours dans les conditions d'équilibre, prend selon les modalités de calcul les valeurs suivantes :

Tableau V : Excrétion urinaire - Classe W		
Classification du composé	Bases de calcul pour le risque radiologique	Valeurs de référence de \dot{y}_u^W (eq)
Composés insolubles	$Q_{eq}^{RESP} = QMA$ $= 17 \text{ nCi}$	145 pCi.j ⁻¹ 215 µg.j ⁻¹
	$Q_{eq}^{RESP} = QMA$ $= 30 \text{ nCi}$	250 pCi.j ⁻¹ 365 µg.j ⁻¹
Composés W (granulométrie standard : DAMA de 1 µm)	Apport journalier de $\frac{LIA}{365}$ $= 2000 \text{ pCi.j}^{-1}$ $Q_{eq}^{RESP} = 25 \text{ nCi}$	290 pCi.j ⁻¹ 435 µg.j ⁻¹

- Classe Y : les composés de cette classe sont ceux qui produisent le risque radiologique le plus grand par leur rétention au niveau respiratoire :

Tableau VI : Excrétion urinaire - Classe Y		
Classification du composé	Bases de calcul	Valeurs de référence de \dot{y}_u^Y (eq)
Composés insolubles	$Q_{eq}^{RESP} = QMA$ $= 17 \text{ nCi}$	5 pCi.j ⁻¹ 8 µg.j ⁻¹
	$Q_{eq}^{RESP} = QMA$ $= 30 \text{ nCi}$	8 pCi.j ⁻¹ 12 µg.j ⁻¹
Composés Y, granulométrie standard DAMA : 1 µm	Apport journalier de $\frac{LIA}{365}$ $= 110 \text{ pCi.j}^{-1}$ $Q_{eq}^{RESP} = 25 \text{ nCi}$	7 pCi.j ⁻¹ 10 µg.j ⁻¹

2. Deuxième type d'évaluation

On constate que les valeurs à l'équilibre sont en fait difficilement reliées à la LIA pour les composés à épuration lente, et qu'il est plus pratique de considérer les valeurs à 100 j après le début de l'exposition chronique. On peut utilement comparer les valeurs à celles obtenues pour une contamination unique située approximativement au milieu de l'intervalle de 100 j en supposant 4 mesures par an [11, 15] :

Contamination unique $n = 4$ $t = \frac{365}{2n} j$		Rétention pulmonaire (nCi)	Excrétion urinaires ($\mu g \cdot j^{-1}$) (excrétion corrigée $\mu g \cdot j^{-1}$)*	Excrétion fécale ($pCi \cdot j^{-1}$) (excrétion corrigée $pCi \cdot j^{-1}$)*
Contamination chronique $t = 100 j$				
D	unique chronique	3 < 0,7	380 2400 (1300)*	13 615 (33)*
W	unique chronique	16 18	130 350 (235)*	140 930 (167)*
Y	unique chronique	1,4 2	0,4 3	1,4 55 (1,7)*

* en retirant la contribution à élimination rapide journalière.

Les valeurs précédentes sont à replacer pour une bonne signification dans l'évolution des deux types d'exposition et particulièrement l'évolution de l'exposition chronique : courbes reprises de la référence [11] et figurant en annexe I.

III - SYNTHÈSE DES EVALUATIONS

Elle est fournie par le rassemblement des résultats de l'analyse effectuée en un tableau de valeurs dans lequel on a fait figurer les niveaux d'investigation dérivés (NID) [11, 14].

Tableau VIII : Synthèse des valeurs calculées				
Classification du composé et modalité d'exposition	Rétention pulmonaire		Excrétion urinaire	
	Charge pulmonaire pour la LIA (nCi)		Excrétion de la LIA pCi.j ⁻¹	
chronique	NID (nCi)	Excrétion de l'excrétion rapide pCi.j ⁻¹	NID et NID corrigé de l'excrétion rapide pCi.j ⁻¹	Excrétion fécale Excrétion de la LIA (pCi.j ⁻¹)
unique	NID (nCi)	Excrétion de l'excrétion rapide pCi.j ⁻¹	NID et NID corrigé de l'excrétion rapide pCi.j ⁻¹	Excrétion fécale Excrétion de la LIA (pCi.j ⁻¹)
chronique LIA t = 100 j $\frac{365}{4}$	NID (nCi)	Excrétion de l'excrétion rapide pCi.j ⁻¹	NID et NID corrigé de l'excrétion rapide pCi.j ⁻¹	Excrétion fécale Excrétion de la LIA (pCi.j ⁻¹)
unique LIA t = 45 j $\frac{4}{4}$	NID (nCi)	Excrétion de l'excrétion rapide pCi.j ⁻¹	NID et NID corrigé de l'excrétion rapide pCi.j ⁻¹	Excrétion fécale Excrétion de la LIA (pCi.j ⁻¹)
chronique LIA t = 100 j $\frac{365}{4}$	NID (nCi)	Excrétion de l'excrétion rapide pCi.j ⁻¹	NID et NID corrigé de l'excrétion rapide pCi.j ⁻¹	Excrétion fécale Excrétion de la LIA (pCi.j ⁻¹)
unique LIA t = 45 j $\frac{4}{4}$	NID (nCi)	Excrétion de l'excrétion rapide pCi.j ⁻¹	NID et NID corrigé de l'excrétion rapide pCi.j ⁻¹	Excrétion fécale Excrétion de la LIA (pCi.j ⁻¹)

IV - RECOMMANDATIONS POUR LA MISE EN PRATIQUE D'UN CONTROLE DE LA CONTAMINATION PAR LES COMPOSES D'URANIUM NATUREL

Les données théoriques présentées aux chapitres I, II et III et les données annexes montrent que la rétention et l'excrétion sont fortement influencées par trois paramètres :

- la transférabilité (solubilité biologique) ;
- la taille des particules ;
- le rythme de contamination (aigu - chronique).

Il en résulte les conséquences suivantes :

1. Il est illusoire de vouloir établir un modèle unique de surveillance, et pour chaque installation une étude basée sur les connaissances théoriques doit être complétée par la prise en compte des possibilités pratiques de détection, des données physico-chimiques et biologiques acquises.

2. La définition de l'agent contaminant est indispensable. En l'absence de données réelles, la transférabilité sera définie par le Tableau I (exemple : UO_3 est moyennement transférable, K), et la granulométrie de l'aérosol sera admise égale à $1 \mu m$.

3. Le mode de contamination peut être unique ou chronique sans que l'on puisse déterminer exactement la part de chacun d'eux. Il est donc souhaitable que le contrôle de routine puisse assurer raisonnablement ces deux possibilités.

4. Le choix des analyses à effectuer et de leur rythme dans le cadre d'une surveillance systématique est établi à partir des données présentées au chapitre II en tenant compte des indications suivantes :

a) Pour les espèces très transférables (classe D), il n'y a pas d'accumulation au niveau pulmonaire et l'excrétion urinaire plus que fécale représente le moyen essentiel de surveillance (figure 1), étant donné que le risque toxique non radiologique se situe au niveau rénal. Deux situations se présentent selon le composé concerné :

- s'il s'agit d'un composé hautement confiné (UF_6) dont la libération ne peut être qu'accidentelle, le recueil de l'urine des premières 24 heures est primordial, car il permet d'évaluer l'importance de l'agression rénale. Le suivi de l'excrétion des jours suivants est également important par l'indication qu'il

donne du niveau de la charge de l'organe et de son élimination. Les données calculées doivent être utilisées dans l'esprit de la toxicologie chimique axée sur la notion de seuil. Elles doivent être associées à l'emploi d'indicateurs biologiques permettant de préciser le comportement individuel par rapport au seuil théorique.

- dans le cas d'un composé peu confiné et donnant lieu à des contaminations répétées et de bas niveau, l'excrétion urinaire ne représente que l'excrétion du jour et de la veille. Un contrôle pendant les jours ouvrables reflète donc l'exposition des travailleurs ; un contrôle après un repos d'une dizaine de jours donne des indications sur la contamination au niveau du squelette et du rein reflétant alors l'excrétion plus lente des tissus de stockage. Les valeurs de l'excrétion urinaire qui figurent dans les tableaux IV bis et VIII pour l'incorporation chronique se réfèrent à une situation théorique qui n'a pas de réalité industrielle. De plus, des valeurs aussi élevées sont difficilement admissibles si on les compare aux valeurs retenues pour l'excrétion d'autres métaux lourds (plomb, mercure). Une valeur de 70 $\mu\text{g}/\text{j}$ ($50 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) a été adoptée et respectée depuis des années par l'industrie de l'uranium ; elle n'a à long terme entraîné l'apparition d'aucun trouble rénal. Elle semble donc devoir être conservée. Etant donné la rapidité d'élimination des composés, le contrôle doit être fait de façon assez rapprochée et par roulement plutôt que par séries. L'étalement dans le temps évite d'ignorer les contaminations accidentelles.

b) Pour les composés moyennement transférables (Classe W) les courbes et les tableaux (figure 2 - tableaux III, V, VIII), montrent que le contrôle peut être obtenu sans difficulté au NID par des mesures sur les urines et les selles. Le contrôle de la charge pulmonaire du NID est plus difficile mais au niveau de la LIA, il peut s'effectuer sans problème.

c) Pour les composés faiblement transférables (Classe Y), l'excrétion urinaire est négligeable, l'excrétion fécale très faible et la détection du NID au niveau thoracique est hors de portée des installations de mesure (Figures 2, 3 - Tableaux III, V, VIII). Dans ce type de contamination, l'organe cible de l'irradiation étant le poumon. Le contrôle sera basé essentiellement sur la surveillance in vivo d'un niveau maximum admissible pulmonaire. Ce niveau de l'ordre de 20 nCi (Tableaux II et VIII) correspond à la quantité d'uranium qui, présente en permanence, délivre une irradiation pulmonaire continue bien définie et tolérable. Elle ne préjuge pas de la solubilité des composés ; elle est valable aussi bien pour les composés Y et W.

L'examen des courbes de rétention pulmonaire (Figures 2, 3) montre bien qu'un même niveau de rétention pulmonaire donne la même irradiation. Mais dans le cas des composés Y, cette valeur est atteinte à 10⁴ jours. Une contamination chronique plus importante permettrait d'atteindre plus rapidement ce niveau tolérable (de même une contamination unique importante pourrait avoir le même résultat), mais alors toute contamination supplémentaire devrait être exclue sous peine de dépasser le niveau, car théoriquement le contaminant reste fixé dans le poumon.

Il faut donc fixer un niveau d'activité qui sera un niveau d'action (enquête, modification des conditions de travail, exclusion, etc...).

En pratique, il ne semble pas que la réalité corresponde bien avec la théorie, car dans les cas de contamination avec les produits réputés peu transférables, on constate fréquemment :

- que la contamination pulmonaire diminue avec le temps ;
- que certaines urines contiennent de l'uranium.

Il est donc possible de fixer le niveau d'action à une valeur acceptable dans son principe et réaliste parce que mesurable. Le contrôle fondamental doit être réalisé in vivo, ce qui n'empêche pas de le compléter par des analyses d'urine et de selles qui ne devraient avoir qu'un rôle indicatif. La valeur d'excrétion pulmonaire par voie fécale pourrait être fixée arbitrairement à 1 ou 0,5 p. 1000.

5. Le contrôle ne doit pas être seulement le contrôle médical de l'individu, mais également celui de l'environnement. Le progrès de la surveillance passe en particulier par la connaissance du milieu de travail, la détermination des propriétés physico-chimiques réelles du contaminant (transférabilité, granulométrie) [1, 2, 4, 9, 10]. Le remplacement de données théoriques par des valeurs réelles permet de mieux définir la protection, et l'expérience des auteurs étrangers déjà cités montre que ceci s'obtient au prix de contraintes plutôt moins strictes [16, 20].

REFERENCES

- [1] ANDRE (S.), MORIN (M.), METIVIER (H.) : Devenir biologique de l'uranium inhalé sous forme de tétrafluorure.
Document pour le groupe de travail.
- [2] ANSOBORLO (E.) : Etude des caractéristiques physico-chimiques de composés uranifères sur des postes de travail.
Thèse de Docteur-Ingénieur, Paris, 1983.
- [3] BATTALER (G.) : Elimination urinaire et fécale de l'uranium naturel à l'équilibre.
Document pour le groupe de travail.
- [4] BEAU (P.G.) : Risque chimiotoxique des composés transférables de l'uranium naturel : analyse comparative des évaluations fondées sur le risque radiologique et des données chimiques et expérimentales.
Document pour le Groupe de Travail.
- [5] BEAU (P.G.), CAMARASA (J.) : Intérêt de l'association du retour d'expérience à une modélisation sur des données de la CIPR pour une meilleure évaluation de l'exposition interne : cas des composés de l'uranium naturel.
Colloque franco-italien sur les expositions professionnelles.
SFRP/AIRP, Nice Acropolis, 29-31 janvier 1986, 287-305.
- [6] BERARD (P.), RONGIER (E), TEULON (F.), BLAY (Y.), MAZEYRAT (C.),
CHALABREYSSE (J) :
Incident dans une usine d'enrichissement de l'uranium : contrôle des travailleurs, enseignements dégagés.
Radioprotection, 1986. (à paraître).
- [7] CAMARASA (J.), CHALABREYSSE (J.) :
Contribution à la surveillance du personnel exposé à des composés non transférables de l'uranium.
Radioprotection, 1980, 15, (1),3-18
- [8] CAMARASA (J.), CHALABREYSSE (J.), BERTRAND (M.), ANSOBORLO (E.) :
About work-locals pollution by uranium bearing dust.
1st International Symposium on ventilation for contaminant control.
Toronto, oct. 1985. (à paraître).

- [9] CHALABREYSSE (J.) :
Etude et résultats d'examen effectués à la suite d'une inhalation de composés dits solubles de l'uranium naturel.
Radioprotection, 1970, 5, (1), 1-17 et 5, (4), 305-310.
- [10] CHALABREYSSE (J.) :
Surveillance radiotoxicologique du personnel de l'usine de séparation des isotopes de l'uranium par diffusion gazeuse de Pierrelatte. Méthodes et résultats.
Rapport COGEMA R-2, 1978.
- [11] CHEVALIER (C.) :
Uranium naturel. Inhalation unique et chronique (modèles de la Publication CIPR 30). Document pour le groupe de travail.
- [12] CIPR, Publication 2 : rapport du Comité II sur la dose admissible en cas d'irradiation interne.
Traduction par A. DUCHENE.
Gauthier-Villars : Paris, 1963.
- [13] ICRP, Publication 30. Part. 1 : Limits for intakes of radionuclides by workers. Pergamon Press : Oxford, 1979
- [14] FRAPPE (E.) :
Niveaux d'investigation en inhalation unique.
Document pour le groupe de travail.
- [15] JEANMAIRE (L.) :
Synthèse pratique des valeurs de référence pour les composés de l'uranium naturel.
Document pour le Groupe de Travail.
- [16] JOHNSON (J.R.), DUNFORD (W.) and al :
Canadian uranium fuel fabrication study :
I. Intake, retention and excretion monitoring results.
II. Comparison of results to metabolic models. Paper IAEA-SM/276.51
International Symposium on the Assessment of Radioactive Contamination in Man.
Paris, 1984. AIEA Vienne, 1985, 297-323.

- [17] MICHAUD (F.), ARCHIMBAUD (M.), CHALABREYSSE (J.) :
Evaluation de la teneur en uranium naturel des urines et des selles chez des
sujets non exposés.
Radioprotection, 1985, 20, (4), 345-346
- [18] MORROW (P.E.), LEACH (L.J.) and al :
Metabolic rate and evaluation of injury in rats and dogs following exposure
to the hydrolysis products of uranium hexafluoride.
Report NUREG/CR-2268 RH, 1982
- [19] PIECHOWSKI (J.), MENOUX (B.) :
Rétention et excrétion des radionucléides après incorporation par inhalation
chez l'homme adulte.
Rapport CEA R.5266, 1984
- [20] SCHIEFERDECKER (H.), DILGER (H.), DOERFEL (H.) :
Inhalation of U aerosols from UO₂ fuel element fabrication.
Health Physics, 1985, 48, (1), 29-48.
- [21] STRADLING (G.N.) and al :
The metabolism of an industrial trioxide dust after deposition in the rat
lung.
Human Toxicology. (à paraître).

ANNEXE I

DONNEES A UTILISER

Cette annexe contient les données de rétention et d'excrétion obtenues à partir des principes exposés au chapitre II et les formulations de l'annexe III. De plus, un tableau (Tab. X) montre l'utilisation concrète des différentes parties de ce rapport pour déterminer des valeurs repères.

Données découlant de la théorie :

La figure 4 (annexe II) montre la fraction de l'activité inhalée dans le rein au cours du temps, soit après une contamination unique, soit après une contamination chronique. Cette figure illustre les deux types de contamination qui sont envisagés.

- Cas de contamination chronique.

Les figures 1, 2 et 3 montrent l'évolution théorique de l'activité au niveau du poumon, de l'urine et des selles en cas de contamination continue correspondant à $\frac{LA1}{365} \text{ pCi.j}^{-1}$ pour les espèces fortement (D), moyennement (W) et faiblement transférables (Y).

Ces figures montrent en particulier l'importance que représente l'élimination des premiers jours après la contamination et justifient que la fraction due à l'élimination rapide ne soit pas prise en compte pour le choix des valeurs à retenir pour les composés W et Y.

- Cas de contamination unique.

Le tableau IX indique les quantités qui seront trouvées dans le poumon, l'urine et les selles après une contamination unique se produisant au milieu de l'intervalle qui sépare de la précédente mesure. Il est admis que n mesures sont effectuées par an, et que la contamination unique correspond au niveau d'investigation dérivé durant l'intervalle considéré, soit $\frac{N10}{n}$. Les diverses valeurs de n permettent de choisir la fréquence qui paraît la mieux appropriée à chaque cas.

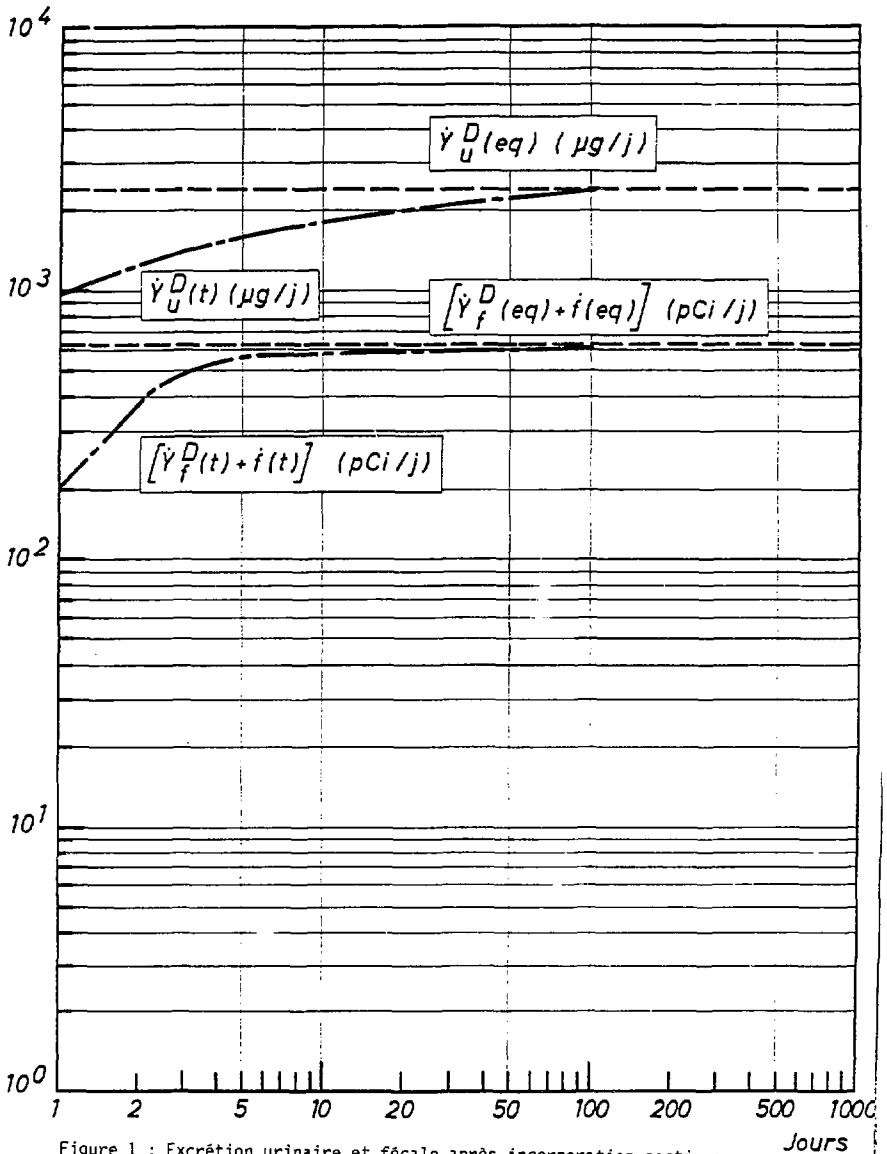


Figure 1 : Excrétion urinaire et fécale après incorporation continue
($\frac{\text{LAI}}{365} \text{ pCi} \cdot \text{j}^{-1}$) d'un composé de la classe D.

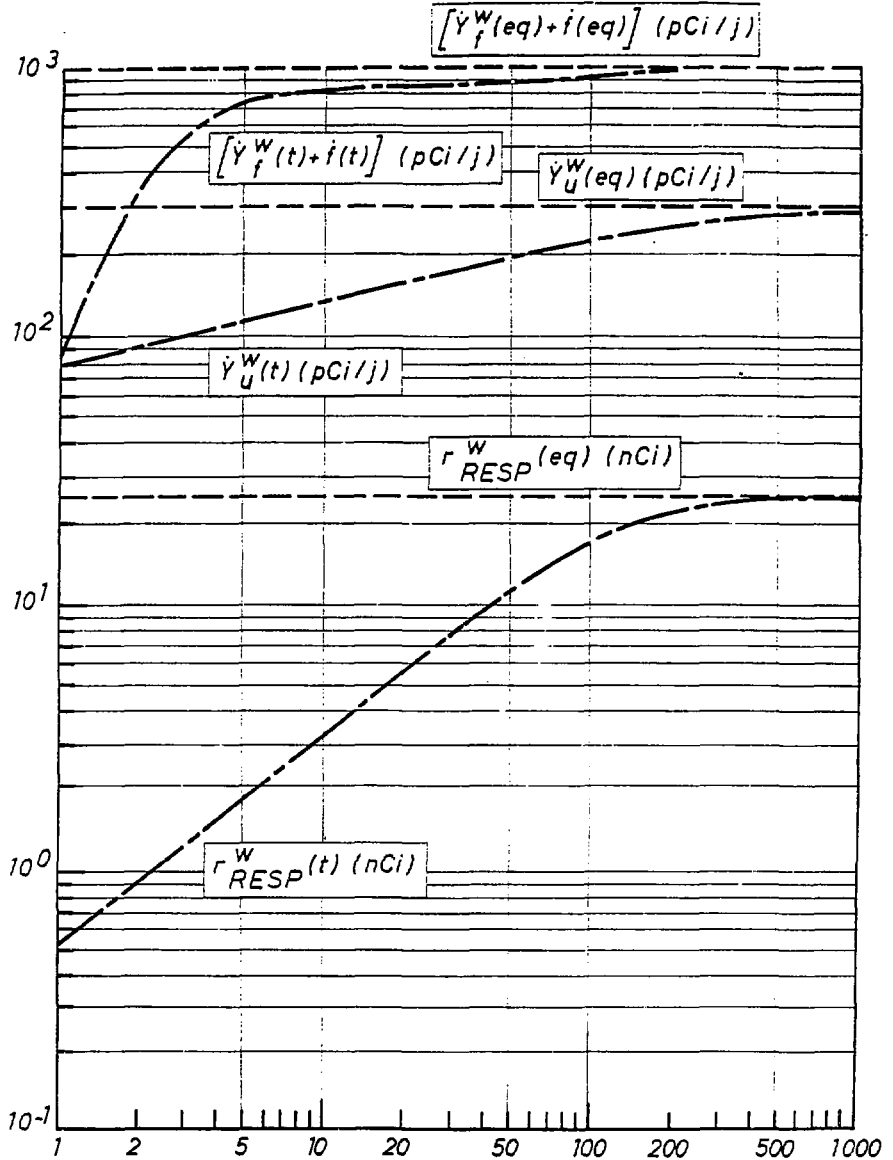


Figure 2 : Rétention pulmonaire, excrétion urinaire et fécale après incorporation continue ($\frac{LA}{365} pCi.j^{-1}$) d'un composé de la classe W.

Jours

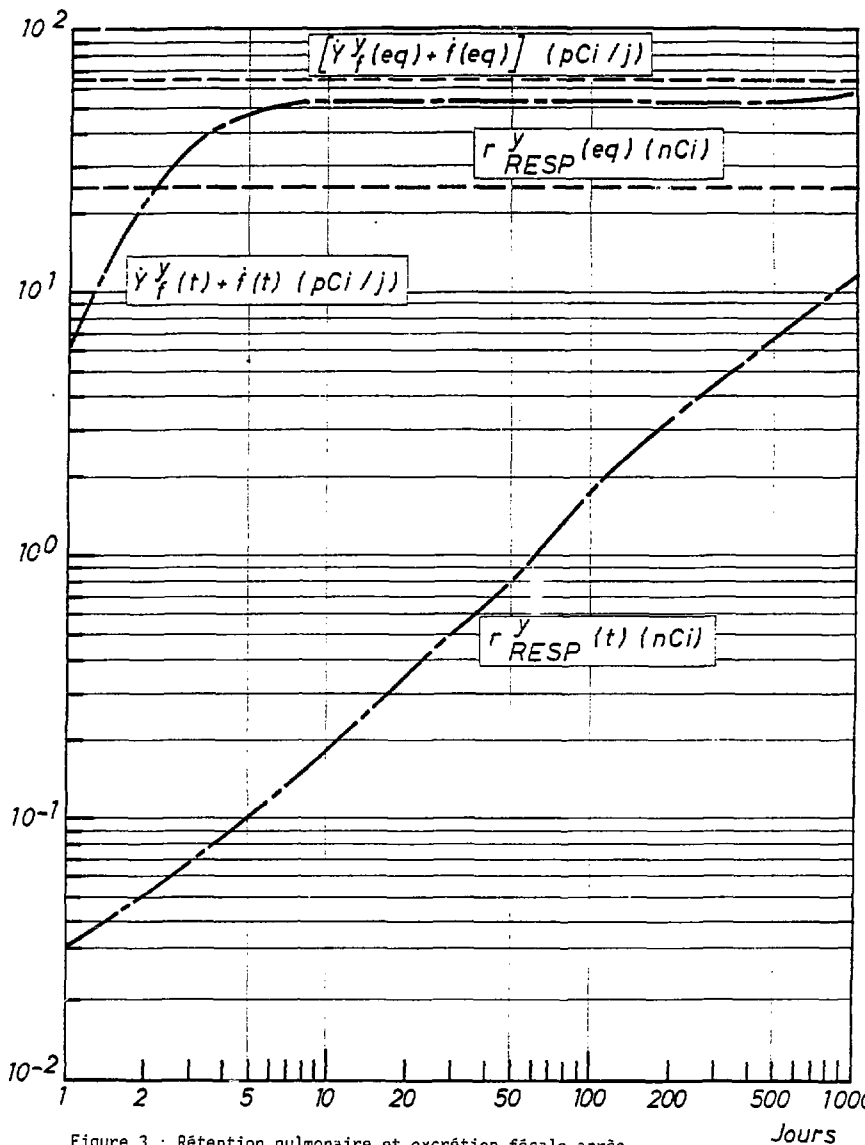


Figure 3 : Rétention pulmonaire et excrétion fécale après incorporation continue ($\frac{LA}{365} pCi.j^{-1}$) d'un composé de la classe Y.

Tableau IX : Niveaux d'investigation dérivés en inhalation unique (CIPR 30)				
D	DAMA = 1 μm LIA = $1,3 \times 10^6$ pCi ($4,8 \times 10^4$ Bq) NI = $0,3 \times \frac{\text{LIA}}{n}$			
	n	NID poumons (nCi)	NID urines ($\mu\text{g.j}^{-1}$)	NID selles (pCi.j ⁻¹)
	52	(0,055)	310	224
	26	(0,001)	235	16
	12	(≈ 0)	217	(7)
6	(≈ 0)	157	(5)	
→ 4	(≈ 0)	114	(4)	
2	(≈ 0)	44	(2)	
1	(≈ 0)	(5)	(<1)	
W	DAMA = 1 μm LIA = $7,42 \times 10^5$ pCi ($2,75 \times 10^4$ Bq) NI = $0,3 \times \frac{\text{LIA}}{n}$			
	n	NID poumons (nCi)	NID urines (pCi.j ⁻¹)	NID selles (pCi.j ⁻¹)
	52	0,69	16	470
	26	1,2	18	137
	12	2,2	21	22
6	3,7	25	35	
→ 4	4,7	26	42	
→ 2	5,3	27	46	
1	3,3	19	27	
Y	DAMA = 1 μm . LIA = $4,05 \times 10^4$ pCi ($1,5 \times 10^3$ Bq) NI = $0,3 \times \frac{\text{LIA}}{n}$			
	n	NID poumons (nCi)	NID urines (pCi.j ⁻¹)	NID selles (pCi.j ⁻¹)
	52	(0,04)	(0,04)	30
	26	(0,07)	(0,05)	10
	12	(0,15)	(0,055)	(0,2)
6	(0,30)	(0,06)	(0,3)	
→ 4	(0,43)	(0,07)	(0,4)	
2	(0,84)	(0,11)	(0,7)	
1	1,46	(0,20)	(1,3)	

Tableau X : Valeurs repères pratiques au niveau d'investigation				
Hypothèse chronique : contamination continue durant 100 j				
Hypothèse unique : 4 mesures par an				
Composés	Examen	recommandé utile	Explication voir :	Valeur repère
Fortement transférables D (Tab I)	POUMONS URINES SELLES	- chronique	ch [II,1,3] , [IV,4,a]	non utilisable 70 $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ (50 $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$) peu utilisé
Moyennement transférables W (Tab. I)	POUMONS	- chronique (100 j) - unique n = 4 n = 2	Fig. 2 Tab. IX	5,4 nCi (18 x 0,3) 4,7 nCi 5,3 nCi
	URINES	- chronique (100 j) - unique (n =4)	Fig. 2 Tab. IX	30pCi/j(235-135)* x 0,3 26 pCi/j
	SELLES	- chronique (100 j) - unique (n =4)	Fig. 2 Tab. IX	33pCi/j(930-820)* x 0,3 28 pCi/j
Peu transférables Y (Tab. I)	POUMONS	- chronique (100 j) - chronique (360 j) - valeur maximum à ne pas dépasser - valeur maximum pour le NID - unique (365 j)	Fig. 3 Fig. 3 ch [II,1,1] et [IV,4,c] Tab. IX	0,6 nCi (1,9 x 0,3) 1,7 nCi (5,5 x 0,3) 25 nCi 7,5 nCi (25 x 0,3) 1,46 nCi
	SELLES	- chronique	ch [IV,4,c]	1 % de la quantité présente dans le poumon
	URINES			non utilisable

*Excrétion cumulée des 10 premiers jours

ANNEXE II: DEFINITIONS ET FORMULATIONS

INCORPORATION PAR INHALATION : MODELE DE DEPOT DANS L'APPAREIL RESPIRATOIRE

L'incorporation correspond à la pénétration par la porte d'entrée respiratoire d'une certaine quantité de radionucléide sous forme d'un aérosol polydispersé solide ou liquide. La quantité incorporée correspond à l'activité initiale de radionucléide qui se présente au niveau de l'appareil respiratoire quand on considère le risque radiotoxique ou son équivalent pondéral quand on considère le risque chimiotoxique.

L'incorporation est suivie, sous l'action de phénomènes physiques, du dépôt des particules inhalées sur les parois des 3 régions constitutives de l'organe : nasopharynx (NP), région trachéobronchique (TB) et région pulmonaire (P). Les fractions déposées D_{NP} , D_{TB} , D_P sont fonction de la taille des particules. Cette relation fait intervenir au niveau du modèle le diamètre particulaire en tenant compte des caractéristiques aérodynamiques des particules et de la distribution statistique de leur taille. Le modèle de dépôt s'applique aux composés de l'uranium comme à tout autre radionucléide.

RETENTION DES PARTICULES DEPOSEES : MODELE D'EPURATION

Les phénomènes d'épuration diffèrent selon l'étage de l'arbre respiratoire.

Au niveau NP et TP, en premier lieu, un dispositif mucociliaire propulse les particules en direction du pharynx où elles sont dégluties et soumises au transit digestif. Une partie peut être absorbée au niveau de la muqueuse intestinale (facteur f_1 dont la valeur dépend des propriétés physico-chimiques du produit). En second lieu, une absorption sanguine directe s'effectue au niveau des muqueuses nasale et trachéo-bronchique pour une autre partie du matériel déposé.

Au niveau P, à l'absorption sanguine directe s'ajoute un passage sanguin indirect par les lymphatiques. Le modèle prend en compte cette voie d'épuration en insérant un compartiment L entre le compartiment P et le sang. Une épuration par les macrophages alvéolaires assure pour une autre partie du dépôt alvéolaire un transfert vers les régions ciliées et un passage digestif. La modélisation de ces phénomènes est réalisée au moyen d'une cinétique de transfert du premier ordre conduisant à des relations exponentielles fonction du temps.

EXPRESSION DE LA RETENTION

D'un point de vue général, la rétention dans un compartiment biologique est le quotient de la quantité de radionucléide présente à l'instant t et de celle présente au temps $t = 0$. La rétention effective décrit la combinaison des phénomènes d'élimination biologique et de décroissance radioactive. Dans le cas des isotopes de l'uranium, la période physique de décroissance radioactive étant infiniment plus longue que les périodes correspondant aux phénomènes biologiques, la rétention effective ne prend en compte que ces dernières.

La pénétration d'un radionucléide dans l'organisme conduit à plusieurs expressions de la rétention :

a) Rétention à la porte d'entrée respiratoire

Elle est décrite à partir du modèle et de chacun de ses compartiments pour un radionucléide d'une des 3 classes d'épuration (D par exemple) par :

$$r_{RESP}^D(t) = r_{NP}^D(t) + r_{TB}^D(t) + r_P^D(t) + r_L^D(t)$$

Au niveau de chaque compartiment intervient la sommation des rétentions élémentaires relatives aux L voies d'épuration concernées. Par exemple, pour TB, on a :

$$r_{TB,L}^D(t) = \sum_L r_{TB,L}^D(t) \quad \text{où } r_{TB,L}^D(t) \text{ prend selon que le compartiment est}$$

isolé ou en chaîne la forme d'une relation monoexponentielle simple ou d'une relation plus complexe. Dans le cas d'un apport unique d'une unité d'activité inhalée et pour une seule voie l d'épuration, on a :

$$r_{TB,L}^D(t) = D_{TB} f_L e^{-\lambda_L t} \quad \text{où } f_L \text{ est la fraction du dépôt } D$$

qui s'élimine avec le taux exponentiel λ_L ($j-1$) et la rétention est une fonction décroissante du temps.

Dans le cas d'un apport chronique d'une unité d'activité inhalée par jour, on a :

$$r_{TB,L}^D(t) = D_{TB} f_L \left[\frac{1 - e^{-\lambda_L t}}{\lambda_L} \right]$$

La rétention est alors une fonction croissante du temps jusqu'à ce que le produit $\lambda \cdot t$ atteigne une valeur suffisamment grande de sorte que l'expression entre crochets soit égale à $\frac{1}{\lambda T}$ et qu'une valeur d'équilibre $\frac{DTBF}{\lambda T}$ soit atteinte. Les deux relations précédentes sont à la base de tous les calculs concernant les deux modalités d'exposition, unique et chronique.

b) Rétention systémique

Elle décrit l'évolution d'une unité d'activité introduite dans le sang. Cette activité se répartit dans un certain nombre d'organes ou tissus en fonction d'affinités physico-chimiques entre le radionucléide et les constituants cellulaires. Une élimination plus ou moins rapide intervient pour chaque organe ou tissu.

Pour l'uranium, la rétention systémique résulte de la sommation des rétentions relative aux tissus T qui sont des relations du type :

$$r_T(t) = C_1 e^{-\frac{0,693t}{T_1}} + C_2 e^{-\frac{0,693t}{T_2}}$$

avec $C > C$ et $T < T$ sauf pour le sang où l'on a qu'un seul terme exponentiel, soit :

T = SANG	$C_1 = 0,536$	$T_1 = 0,25$ j		
T = REINS	$C_1 = 0,12$	$T_1 = 6$ j ;	$C_2 = 0,00052$	$T_2 = 1500$ j
T = AUTRES				
TISSUS MOUS	$C_1 = 0,12$	$T_1 = 6$ j ;	$C_2 = 0,00052$	$T_2 = 1500$ j
T = SQUELETTE	$C_1 = 0,20$	$T_1 = 20$ j ;	$C_2 = 0,023$	$T_2 = 5000$ j

c) Rétention après incorporation par inhalation

Elle prend en compte l'ensemble des cinétiques de la porte d'entrée respiratoire à l'organe inclus. L'absorption sanguine à partir de l'appareil respiratoire est modélisée à partir des rétentions élémentaires par des relations du type :

$$F_{TB,L}^D(t) = I_{TB,L}^D(t)$$

qui sont des débits (j⁻¹) dont l'amplitude est fonction du temps (loi d'absorption décroissante pour un apport unique, croissante pour un apport chronique).

La pénétration dans le sang sur un très court intervalle de temps Δt d'une fraction $F_{TB,L}^D(\Delta t)$ du débit est suivie d'une rétention $r_T(t_1)$.

Les produits successifs $F_{TB,L}^D(\Delta t) \cdot r_T(t)$ sont d'amplitude différente et décalés dans le temps. Leur sommation, en faisant tendre Δt vers 0, constitue une opération mathématique appelée produit de convolution et représentée par une intégrale particulière. Le résultat est noté symboliquement :

$$r_{T,L}^D(t) = F_{TB,L}^D(t) * r_T(t)$$

Pour la totalité des voies d'absorption, on a :

$$r_T^D(t) = \sum_L F_L^D(t) * r_T(t)$$

et pour l'ensemble de l'organisme :

$$r^D(t) = \sum_T r_T^D(t)$$

soit en généralisant à toutes les classes d'épuration :

$$r^{D,W,Y}(t) = \sum_T r_T^{D,W,Y}(t)$$

Un exemple de rétention après incorporation pour les REINS en classe D est donné sous forme de courbe en exposition unique et en exposition chronique.

ELIMINATION ET EXCRETION

L'élimination est obtenue à partir de la rétention et a la dimension d'un débit :

$$\dot{Y}_T(t) = \lambda_1 C_1 e^{-\lambda_1 t} + \lambda_2 C_2 e^{-\lambda_2 t} \quad j-1$$

On obtient de manière identique à la rétention une élimination après incorporation que l'on note $\dot{y}^{D,W,Y}(t)$

L'excrétion après incorporation est obtenue à partir de l'élimination par l'application de coefficients fixant pour chaque radionucléide les proportions au niveau sanguin des composants urinaire et fécale (coefficients f_u et f_f). Ces excrétions "métaboliques" sont notées :

$$\text{urinaire : } \dot{y}_u^{D,W,Y}(t) = f_u \left[\sum_T \dot{y}_T^{D,W,Y}(t) \right] \quad j-1$$

$$\text{fécale : } \dot{y}_f^{D,W,Y}(t) = f_f \left[\sum_T \dot{y}_T^{D,W,Y}(t) \right] \quad j-1$$

L'excrétion fécale "mécanique" d'origine mucociliaire est formulée à partir du modèle respiratoire :

en exposition unique : pour l'excrétion précoce :

$$\dot{f}(t) = \lambda_b D_{NP} f_b (1 - f_1) e^{-\lambda b t} + \lambda d D_{TB} f_d (1 - f_1) e^{-\lambda d t} \quad j^{-1}$$

pour l'excrétion tardive :

$$\dot{f}(t) = \lambda d D_p (1 - f_1) \left[\frac{\lambda f f_f}{\lambda d - \lambda_f} (e^{-\lambda_f t} - e^{-\lambda d t}) + \frac{\lambda p f_g}{\lambda d - \lambda_p} (e^{-\lambda_p t} - e^{-\lambda d t}) \right] j^{-1}$$

en exposition chronique : pour l'excrétion précoce :

$$\dot{f}(t) = D_{NP} f_b (1 - f_1) [1 - e^{-\lambda b t}] + D_{TB} f_d (1 - f_1) [1 - e^{-\lambda d t}] \quad j^{-1}$$

pour l'excrétion tardive :

$$\dot{f}(t) = D_p (1 - f_1) \left[f_f (1 - e^{-\lambda_f t}) - \frac{\lambda d f_f}{\lambda d - \lambda_f} (e^{-\lambda_f t} - e^{-\lambda d t}) \right. \\ \left. + f_g (1 - e^{-\lambda_p t}) - \frac{\lambda d f_g}{\lambda d - \lambda_p} (e^{-\lambda_p t} - e^{-\lambda d t}) \right] j^{-1}$$

LIMITES SECONDAIRES EN EXPOSITION INTERNE

Publication 2 de la CIPR : Quantité maximale admissible :

$$QMA_{RESP} = \frac{DMAA_{RESP}}{H_{RESP}} \quad \text{avec}$$

$$DMAA = 15 \frac{\text{rems}}{\text{an}} \quad H_{RESP} \quad : \text{débit de dose annuel.}$$

Publication 30 de la CIPR : Limite d'incorporation annuelle pour le risque stochastique. Elle est définie comme la plus grande valeur de la quantité inhalée I satisfaisant l'inégalité :

$$I \times \sum_T W_T H_{50,T}^{D_3 W_3 Y} \leq L D A_{0.E} (0,05 \text{ Sv.an}^{-1})$$

où $\sum_T W_T H_{50,T}^{D_3 W_3 Y}$ est la dose engagée efficace par inhalation $\left(\frac{\text{Sv}}{\text{Bg inh.}} \right)$

$$\text{et } LIA_{0E} = \frac{LDA_{0.E}}{\sum_T W_T H_{50,T}^{D_3 W_3 Y}} \frac{\text{Bg}}{\text{an}}$$

NIVEAU DE REFERENCE :

En exposition chronique, on a à partir des données précédentes les expressions suivantes pour les 3 types de niveau d'investigation dérivé :

urines : $NID_U = 0,3 \times \frac{LIA}{365} \times \dot{y}_U^{D,W,Y}(t) \text{ pCi.j}^{-1}$

selles : $NID_f = 0,3 \times \frac{LIA}{365} \left[\dot{f}(t) + \dot{y}_f^{D,W,Y}(t) \right] \text{ pCi.j}^{-1}$

anthroporadiamétrie :

$$NID_{\text{spectr.}} = 0,3 \times \frac{LIA}{365} \times r_{\text{RESP}}^{D,W,Y}(t) \text{ nCi}$$

REFERENCES

BEAU (P.G.) : Cours de radioprotection du Conservatoire National des Arts et Métiers • Paris, 1983.

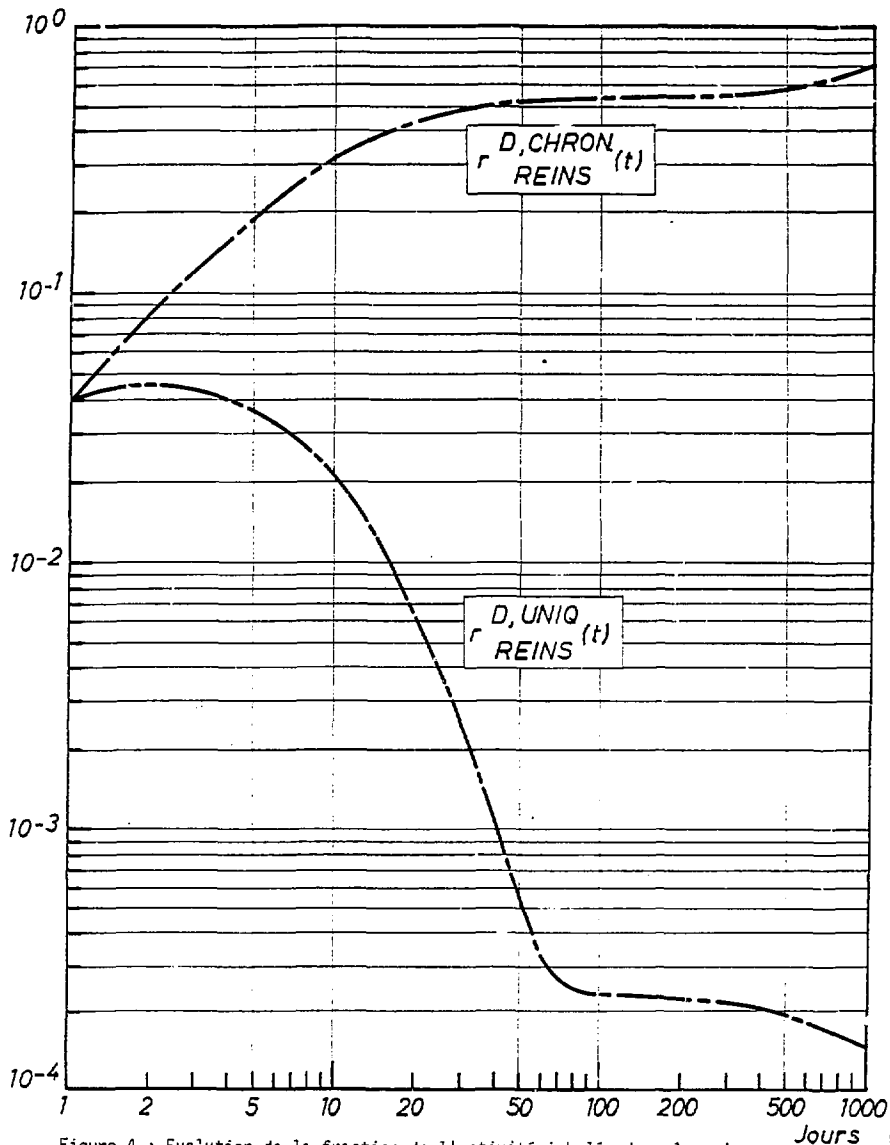


Figure 4 : Evolution de la fraction de l'activité inhalée dans le rein après incorporation unique et incorporation continue (Classe D).

Achevé d'imprimer
par
le CEA, Service de Documentation, Saclay
Septembre 1986

DEPOT LEGAL
3ème trimestre 1986

ISSN 0429 3460

La diffusion des rapports et bibliographies du Commissariat à l'Energie Atomique est assurée par le Service de Documentation, CEN-Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette Cédex, (France)

Reports and bibliographies of the Commissariat à l'Energie Atomique are available from the Service de Documentation, CEN-Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette Cédex. (France)



*Édité par
le Service de Documentation
Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay*

91191 GIF-sur-YVETTE Cédex (France)

