

**Annalen  
van  
de Belgische Vereniging  
voor  
Stralingsbescherming**

---

VOL. 8, N° 1

1<sup>e</sup> TRIM 1983

Driemaandelijks  
Periodiek

Périodique  
trimestriel

---

**Annales  
de  
l'Association Belge  
de  
Radioprotection**

Hoofdredacteur

Dr M.H. FAES  
S.C.K/C.E.N.  
2400 Mol

Rédacteur en chef

Redactiesecretariaat

Mme Cl. STIEVENART  
14 rue Juliette Wytsmannstraat  
1050 Bruxelles - Brussel

Secrétaire de Rédaction

Publikatie van teksten in de Annalen  
gebeurt onder volledige verantwoorde-  
lijkheid van de auteurs.

Les textes publiés dans les Annales  
le sont sous l'entière responsabilité  
des auteurs.

## INHOUD

## SOMMAIRE

Dit nummer bevat teksten van uiteenzettingen gedaan op 27 maart 1981 ter gelegenheid van een studiedag van de Belgische Vereniging voor Stralingsbescherming, gewijd aan de INWENDIGE STRALINGSBESCHERMING BIJ WERKNEMERS.

Ce numéro contient des textes des exposés faits le 27 mars 1981, lors de la journée d'étude organisée par l'Association Belge de Radioprotection, consacrée à la CONTAMINATION INTERNE DES TRAVAILLEURS.

## - J.F. COLARD :

Mesure de la contamination radioactive interne et interprétation des résultats.

5 - 22

## - G. KOCH, J. DULCINO, Ch. HURTGEN :

Détermination indirecte de la contamination interne par la mesure des excréta.

23 - 36

## - J. SARBACH :

Méthodes utilisées par les unités médicales du groupe C.E.A. pour la surveillance radiologique des travailleurs.

37 - 44

Annales de l'Association Belge de Radioprotection, vol. 8, n°1 (1983).

MESURE DE LA CONTAMINATION RADIOACTIVE INTERNE ET INTERPRETATION DES RESULTATS.

COLARD, J.F.  
Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire,  
C.E.N./S.C.K., B 2400 Mol.

27 mars 1981.

RESUME.

Après un rappel de l'objectif poursuivi et de l'instrumentation utilisée pour la mesure directe de la contamination interne de l'homme, on compare les performances d'un détecteur Ge(Li) et d'un détecteur NaI de dimensions courantes. Ensuite, on examine l'évolution des concepts et des recommandations de la C.I.P.R., depuis la publication 2 en 1959 à la publication 30 de 1979 ; les normes sont appliquées au cas des trois radioéléments particuliers :  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ .

On montre la difficulté d'établir des niveaux d'investigation dérivés auxquels les résultats des mesures directes devraient être comparés.

1. INTRODUCTION

L'équivalent de dose reçu ou susceptible d'être délivré à l'individu lors d'une contamination interne, peut être estimé selon diverses approches :

- par une mesure de la contamination du milieu et en admettant une relation de transfert du milieu vers l'homme : inhalation de particules en suspension dans l'air, ingestion d'eau, éventuellement d'aliments contaminés, et en appliquant un schéma métabolique propre au radioélément et à la voie d'incorporation considérés,
- par une mesure de la contamination de la personne, soit par une méthode directe, au moyen d'un anthroporadiamètre, soit encore par une méthode indirecte où la présence de la contamination est révélée par la mesure des excréta (urine ou fèces) ou d'autres échantillons représentatifs.

Ces mesures sont généralement effectuées selon des programmes de surveillance de routine des travailleurs ou à l'occasion d'incidents ou d'opérations estimées à haut risque.

Les mesures directes fournissent l'identification ainsi que l'activité des radionucléides présents dans le corps entier ou dans un organe particulier, au moment de la mesure, tandis

que la mesure indirecte fournit des données relatives à l'activité excrétée ; au travers d'un schéma métabolique on pourra déduire l'activité dans l'organe et celle qui a été incorporée, si on connaît la date de l'incident ou sur base d'une chronologie hypothétique .

Enfin il faudra, soit calculer quelle est la dose engagée au niveau de l'organe impliqué et la comparer aux normes de limitation des doses, soit confronter la charge corporelle à des niveaux d'investigation ou encore en déduire l'activité inhalée ou ingérée et la comparer à des normes de limite d'incorporation annuelle.

## 2. INSTRUMENTION pour les mesures directes (Co 80)

Cette méthode n'est applicable qu'aux radionucléides qui émettent un rayonnement  $\gamma$  ou  $X$  susceptible de traverser les tissus biologiques et d'émerger du corps, ainsi qu'aux émetteurs  $\beta$  d'énergie élevée.

L'appareillage comprend essentiellement une chambre blindée complète ou partielle, qui soustrait l'individu mesuré et le détecteur à l'influence du rayonnement ambiant. Le blindage massif est généralement en plomb ou en acier de 10 à 20 cm d'épaisseur ; divers autres matériaux tels que de l'eau, du sable, de la craie ou encore du sucre, ont été utilisés.

Malgré un poids souvent élevé, certaines installations mobiles sur camion ou même sur wagon de chemin de fer ont été réalisées.

Le détecteur le plus fréquent est un cristal NaI(Tl) de grandes dimensions , généralement 20 cm de diamètre x 10 cm d'épaisseur (parfois jusqu'à 30 cm de diamètre), qui offre une bonne efficacité quantitative et permet généralement l'identification des radionucléides présents.

Des milieux détecteurs comme les scintillateurs liquides ou plastiques peuvent assurer une géométrie proche de  $4\pi$  (détecteur cylindrique creux, dans l'axe duquel est placé le sujet mesuré) ; leur sensibilité élevée réduit le temps de mesure à quelques minutes mais la résolution médiocre ne permet pas une identification précise, principalement dans le cas d'un mélange de plusieurs radioéléments.

Tout récemment, certains anthropogammamètres ont été équipés de détecteurs Ge(Li) dont la résolution élevée - environ 2 keV au lieu de 25 à 100 keV avec un détecteur NaI - permet une analyse qualitative précise même en présence d'un mélange complexe de radioéléments ce qui peut être le cas lors d'un incident dans un réacteur nucléaire ; le rendement d'un détecteur Ge(Li) reste inférieur à celui d'un NaI d'un facteur 15 à 40 (Tableau 1) mais, grâce à sa résolution élevée, il permet d'atteindre une limite de détection assez voisine de celle du NaI sauf pour les énergies élevées.

Signalons encore l'usage de détecteurs spéciaux NaI minces, phoswich (assemblage NaI et CsI) et compteurs proportionnels à gaz Xe-CH<sub>4</sub> appliqués à la détection du plutonium dans les poumons (Co 80).

Les performances demandées à l'anthropogammamètre sont :

- une efficacité élevée de manière à réduire la durée de mesure tout en gardant une limite de détection aussi basse que possible,
- une résolution suffisante pour identifier le radioélément et éviter les perturbations dues à d'autres radioéléments ;
- soit une réponse quantitative quasi indépendante de la localisation dans le corps, si on veut déterminer l'activité dans le corps entier,
- soit au contraire une bonne résolution spatiale, si on veut mesurer l'activité dans un organe particulier ou déterminer sa localisation par un balayage du corps.

Le cas de la thyroïde où se concentrent les isotopes de l'iode et le cas des poumons où se fixent les poussières radioactives de l'air inhalé sont exemplatifs de ces mesures locales.

			Détecteur NaI(Tl) 20 cm $\varnothing$ x 10 cm H.			Détecteur Ge(Li) (100 cm <sup>3</sup> )				
Energie keV	Rés. keV	Eff. 10 <sup>-3</sup>	Mouvement propre (i/min.keV)		Limite de détection $\gamma/s$	Rés. keV	Eff. 10 <sup>-3</sup>	Mouvement propre (i/min.keV)		Limite de détection $\gamma/s$
			ch. vide	<sup>40</sup> K				ch. vide	<sup>40</sup> K	
100	26	6,1	1,98	1,32	25	1,2	0,40	0,19	0,21	35
200	37	7,4	1,77	0,87	22	1,4	0,42	0,17	0,12	32
300	45	7,5	1,41	0,63	21	1,5	0,34	0,14	0,05	34
500	58	6,7	0,92	0,27	20	1,7	0,24	0,062	0,04	41
800	73	5,6	0,40	0,20	19	2,0	0,18	0,034	0,02	48
1000	82	5,1	0,29	0,21	21	2,2	0,15	0,024	0,02	56
1500	100	4,2	0,36	0,74	41	2,5	0,12	0,010	-	54
2000	116	3,7	0,046	-	11	2,7	0,095	0,005	-	63

Comparaison des caractéristiques d'un détecteur NaI(Tl) de 20 cm  $\varnothing$  x 10 cm H. et d'un détecteur Ge(Li) de 100 cm<sup>3</sup> (efficacité relative 22 %).  
 Calcul des limites de détection en fonction de la résolution, de l'efficacité et du mouvement propre total (chambre blindée vide + contribution <sup>40</sup>K d'une personne normale)

Au moyen d'étalonnages effectués avec des radionucléides répartis selon une géométrie simulant celle du corps ou de l'organe mesuré, on peut établir des méthodes d'interprétation des spectres qui fourniront l'activité présente.

L'organisation d'un programme mesures de routine justifiera le recours à un système informatisé pour un calcul rapide des spectres.

### 3. INTERPRETATION DES RESULTATS

3.1. Les premières recommandations au sujet d'une contamination interne résultaient de l'expérience acquise avec le  $^{226}\text{Ra}$  pour lequel une charge corporelle maximale de  $0,1 \mu\text{Ci}$  était recommandée dès 1941 par la Commission Internationale pour la Protection contre les Radiations ionisantes (CIPR) sur base d'observations cliniques de cas d'anémies et de sarcomes osseux chez des personnes contenant plus de  $1 \mu\text{Ci}$  de  $^{226}\text{Ra}$ .

3.2. En 1959 le Comité II de la CIPR a publié un rapport sur les doses admissibles résultant d'une contamination interne (ICRP-59).

Les recommandations de base pour les travailleurs, en supposant une irradiation chronique, étaient les limites de dose suivantes :

- 100 mrem par semaine pour les gonades et le corps entier
- 600 mrem par semaine pour la peau et la thyroïde
- 300 mrem par semaine pour les autres organes et tissus
- dans le cas des radioéléments ostéotropes, une dose équivalente à celle délivrée par  $0,1 \mu\text{Ci}$  de  $^{226}\text{Ra}$ , soit 560 mrem par semaine

Sur cette base la CIPR introduisait dans ce document les notions de charge maximale admissible du radioélément dans le corps (QMA) et dans l'organe de référence, ainsi que la notion de concentration maximale admissible (CMA) dans l'air et l'eau potable.

Des tables fournissaient pour chaque radionucléide les valeurs correspondantes des QMA et CMA ainsi que divers paramètres : poids des organes, période effective du radionucléide dans l'organe, facteurs de transfert du tractus gastro-intestinal ou du poumon vers le sang et les organes etc.... Ces tables complétées dans la publication 6 (ICRP-62) ont constitué pendant de nombreuses années un des outils de base du spécialiste de la radioprotection et les valeurs des CMA ont été reprises dans les directives des Communautés Européennes et dans la législation nationale (JO-62) (JO-66) (MB-63)\*

Il faut cependant remarquer que :

- les concentrations maximales admissibles étaient calculées dans le cas d'une exposition continue (40 h par semaine et 50 semaines par an)
- les charges maximales dans le corps étaient celles résultant d'une contamination chronique

Bien que clairement stipulées par la CIPR, ces conditions fondamentales ont souvent été oubliées, et ont conduit à une mauvaise interprétation des incidents au cours desquels ces limites étaient dépassées.

En pratique les incidents sont des cas aigus, ponctuels dans le temps et il est nécessaire de les traiter en tenant compte de la dynamique du phénomène de transfert du radioélément vers les organes.

\* Dans le cas de la thyroïde, les législations belges et européennes limitaient la dose à 4 rem/13 semaines au lieu de 8 rem/13 semaines selon l'ICRP et modifiaient les CMA en conséquence.

A titre d'exemples considérons les radionucléides suivants auxquels sont appliqués les données de la publication 2 de la CIPR :

- iode-131 : - QMA = 0,7  $\mu$ Ci (organe critique :  
thyroïde)  
- rapport I (thyroïde) / I (corps entier)  
= 0,2  
- QMA = 0,14  $\mu$ Ci dans la thyroïde  
- Teff = 7,6 d dans la thyroïde  
une charge chronique de 0,14  $\mu$ Ci induira une dose  
annuelle de 30 rem  
une charge aiguë de 1,4  $\mu$ Ci (10 fois supérieure)  
délivrera une dose de 8,9 rem
- césium-137 : - QMA = 30  $\mu$ Ci (organe critique : corps  
entier)  
- Teff = 140 d  
charge chronique de 30  $\mu$ Ci  $\rightarrow$  5 rem/an  
charge aiguë de 300  $\mu$ Ci  $\rightarrow$  23 rem la 1e année  
3,8 rem la 2e année  
dose totale engagée 28 rem
- plutonium-239 : - QMA = 16 nCi dans le poumons  
- Teff = 1 an  
charge chronique de 16 nCi  $\rightarrow$  15 rem/an  
charge aiguë de 160 nCi  $\rightarrow$  108 rem la 1e année  
54 rem la 2e année  
dose totale engagée : 216 rem

Une charge 10 fois supérieure à la charge maximale admissible aura donc des conséquences très différentes dans les 3 cas. Notons enfin que cette interprétation, sur base des données de la publication 2 de l'ICRP, admet un schéma métabolique simplifié avec une distribution immédiate du radioélément dans les divers organes suivie d'une élimination selon une fonction exponentielle du temps unique.

Une simple confrontation de la charge corporelle mesurée et des QMA est donc insuffisante ; le moment de l'incorporation devra être connu, ou supposé, pour permettre le calcul de la dose engagée et de celle qui sera délivrée sur une période de 13 semaines consécutives (ICRP-59) (MB-63) ou sur une année (ICRP-65).

- 3.3. La publication 10 de la CIPR (ICRP-68a) propose, pour un certain nombre de radioéléments, des données métaboliques plus complètes selon lesquelles il apparaît que, après une incorporation unique, la fraction retenue  $R(t)$  évolue généralement selon une somme de plusieurs exponentielles :

$$R(t) = e^{-\lambda_r t} \cdot \sum_i K_i e^{-\beta_i t}$$

où  $\lambda_r$  est la constante de décroissance radioactive et  $\beta_i$  les diverses constantes d'élimination biologique de l'élément.

D'autre part, ce document introduit, pour un programme de surveillance de routine, la notion de niveau d'investigation et de niveaux dérivés. La CIPR recommande que donne lieu à investigation (et notamment au calcul de la dose) tout cas de contamination qui délivrerait dans l'organe critique, pendant une durée de 50 ans, une dose supérieure à 1/10 de la dose maximale admissible en 6 mois ; il en résulte pour chaque radioélément des niveaux d'investigation dérivés : charge radioactive dans le corps ou dans l'organe et taux d'excrétion. Ces niveaux dépendent de la fréquence des examens si on fait l'hypothèse que l'incorporation peut être produite juste après l'examen précédent. Pour les exemples choisis précédemment, le document ICRP nous fournit maintenant les données suivantes :

- iode-131 : - fraction de l'activité ingérée qui est transférée à la thyroïde : 0,3
- charge corporelle : évolue selon deux exponentielles de périodes biologiques 0,35 jours (70 %) et 100 jours (30 %)

- charge thyroïdienne : évolue selon une loi exponentielle simple, de période biologique comprise entre 37 et 212 jours selon divers auteurs
- niveau d'investigation (1,5 rem à la thyroïde); résulte d'une charge initiale de 0,27  $\mu$ Ci dans la thyroïde
- niveau d'investigation dérivé, dans la thyroïde : 80 nCi en cas d'examen toutes les 2 semaines
- césium-137 : - rétention corporelle : 15 % T = 1 d  
(transportable) 85 % T = 115 d
- niveau d'investigation (0,25 rem dans le corps entier) : 4,1  $\mu$ Ci initial
- niveau dérivé 2  $\mu$ Ci (examen trimestriel)
- (non transportable) :
  - niveau d'investigation : 0,16  $\mu$ Ci dans les poumons
- plutonium-239 : - niveau d'investigation : 0,6 nCi dans les poumons  
(notons que par mesure directe la limite de détection se situe vers 10 nCi...)

Les notions de composés soluble et insoluble utilisées dans la publication 2 de la CIPR sont remplacées ici par celles de transportables et non transportables afin de distinguer la solubilité, telle que définie par le chimiste, du phénomène de transfert biologique du site d'incorporation (tractus gastro-intestinal, poumon ou blessure) vers l'organe considéré.

Le niveau d'investigation pour un composé non transportable localisé dans les poumons était fixé à 1/10 de la quantité déposée en 6 mois en cas d'exposition continue à 1 CMA.

3.4. La publication 12 de la CIPR recommande que la fréquence des examens de routine soit fixée en fonction de la demi-vie effective et de la possibilité de détecter les niveaux d'investigation dérivés qui en résultent. Une fréquence minimale d'un examen par an peut être suffisante pour du personnel travaillant dans des conditions bien contrôlées mais devrait être ramenée à 1 examen/3 mois dans les cas douteux. (ICRP-68 b)

3.5. Dans le cas de la contamination pulmonaire, un groupe de travail du comité II de la CIPR (GT-66) a proposé en 1966 une classification des composés chimiques en trois classes :

classe D comparable à l'appellation précédente "soluble" où les constantes d'élimination biologique sont inférieures à 1 jour

classe W constantes de l'ordre de 13 semaines

classe Y constante de l'ordre d'une année

Enfin un schéma métabolique était proposé ; on y distinguait les 3 parties du système respiratoire : zone rhino-pharyngienne (N-F), arbre trachéobronchial (T-B) et compartiment pulmonaire (P), ainsi que les ganglions lymphatiques. Des constantes de transfert entre ces compartiments, le sang et le tractus gastro-intestinal étaient fournies pour les 3 classes de composés.

3.6. En 1977 la publication 26 de la CIPR (ICRP-77) introduit une nouvelle philosophie et souligne la nécessité d'estimer pour les effets stochastiques\* une dose totale comportant aussi bien l'irradiation externe que l'irradiation interne ; les équivalents de dose reçus par chaque organe sont pondérés par des facteurs de risque (table 2) et ensuite additionnés.

Sans préjudice à la règle limitant la dose de radiations au niveau le plus faible possible (ALARA : as low as reasonably achievable), une limite d'équivalent de dose annuelle est fixée à 50 mSv (5 rem) pour les effets stochastiques, et à 0,5 Sv (50 rem) pour les effets non stochastiques au niveau de chaque organe.

\* carcinogénèse et effets génétiques

T A B L E 2

Facteurs de pondération pour le risque stochastique

<u>Organe</u>	<u>Facteur</u>
gonades	0,25
sein	0,15
moelle osseuse	0,12
poumon	0,12
thyroïde	0,03
os (surface)	0,03
autres organes	0,30

3.7. Dans la publication 30 (ICRP-79), la CIPR récuse les concepts de charge maximale admissible dans le corps ou les organes, et de concentrations maximales admissibles dans l'eau ou dans l'air, compte tenu de l'usage erroné dont ils furent fréquemment l'objet.

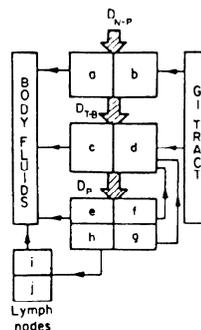
En application des normes de base édictées dans la publication 26, des limites d'incorporation annuelle (LIA), par voie orale ou pulmonaire, sont calculées pour l'homme standard.

De même des limites dérivées de concentration dans l'air sont établies pour une personne exposée à raison de 2000 h/an.

Ces calculs sont basés sur des modèles métaboliques avec échange entre compartiments. Le modèle pulmonaire illustré par la fig. 1 est proche de celui proposé par le groupe de travail précité ; la cinétique de l'excrétion est décrite par un système de 10 équations différentielles du 1<sup>e</sup> degré. D'autres modèles décrivent le transit et les échanges dans le tractus ou dans l'os.

Fig. 1 (ICRP-79)

Region	Compartment	Class					
		D		W		Y	
		T day	F	T day	F	T day	F
N-P ( $D_{N-P} = 0.30$ )	a	0.01	0.5	0.01	0.1	0.01	0.01
	b	0.01	0.5	0.40	0.9	0.40	0.99
T-B ( $D_{T-B} = 0.08$ )	c	0.01	0.95	0.01	0.5	0.01	0.01
	d	0.2	0.05	0.2	0.5	0.2	0.99
P ( $D_P = 0.25$ )	e	0.5	0.8	50	0.15	500	0.05
	f	n.a.	n.a.	1.0	0.4	1.0	0.4
	g	n.a.	n.a.	50	0.4	500	0.4
	h	0.5	0.2	50	0.05	500	0.15
L	i	0.5	1.0	50	1.0	1000	0.9
	j	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	$\infty$	0.1



Mathematical model used to describe clearance from the respiratory system. The values for the removal half-times,  $T_{R-1}$  and compartmental fractions,  $F_{R-1}$  are given in the tabular portion of the figure for each of the three classes of retained materials. The values given for  $D_{N-P}$ ,  $D_{T-B}$  and  $D_P$  (left column) are the regional depositions for an aerosol with an AMAD of  $1 \mu\text{m}$ . The schematic drawing identifies the various clearance pathways from compartments a-i in the four respiratory regions, N-P, T-B, P and L.  
n.a. = not applicable.

Nos exemples deviennent actuellement :

- iode-131 : - facteur de transmission GI  $\rightarrow$  sang : 1
- rétention selon un modèle à 3 compartiments; 30 % de l'iode ingéré est prélevé par la thyroïde d'où il est excrété avec une période biologique de 120 jours
- limite d'équivalent de dose pour les effets stochastiques (le seul organe recevant une dose notable est ici la thyroïde) :
 
$$H_{\text{Thyr}} \times 0,03 < 50 \text{ mSv} \quad (<5 \text{ rem})$$
 d'où  $H_{\text{Thyr}} < 1.67 \text{ Sv} \quad (<167 \text{ rem})$
- une limite inférieure est imposée ici par les effets non stochastiques
 
$$H_{\text{Thyr}} < 0.5 \text{ Sv} \quad (<50 \text{ rem})$$
- LIA (oral) :  $10^6 \text{ Bq}$  ou  $27 \mu\text{Ci}$
- LIA (inhalation - classe D) :  $2 \cdot 10^6 \text{ Bq}$  ou  $54 \mu\text{Ci}$

- césium-137 : - distribution uniforme dans le corps; facteur de transmission GI  $\rightarrow$  sang : 1
  - rétention selon un modèle à 2 compartiments
    - 10 % avec une période de 1 jours
    - 90 % avec une période de 110 jours
  - tous les organes du corps sont irradiés. Le supplément à la publication 30 de la CIPR fournit les équivalents de dose engagée dans les divers organes cible pour une activité unitaire (1 Bq) inhalée ou ingérée
  - les limites suivantes imposées par les effets stochastiques sont calculées :
    - LIA (oral) :  $4 \cdot 10^6$  Bq ou 110  $\mu$ Ci
    - LIA (inhalation - classe D) :  $6 \cdot 10^6$  Bq ou 165  $\mu$ Ci
  
- plutonium-239: - facteur de transmission GI  $\rightarrow$  sang :
  - $f_1 = 10^{-5}$  pour les oxydes et hydroxydes
  - $= 10^{-4}$  pour les autres composés
  - distribution : 45 %  $\rightarrow$  os
  - 45 %  $\rightarrow$  foie
  - 10 %  $\rightarrow$  autres tissus
  - les composés de Pu inhalés appartiennent aux classes Y ( $\text{PuO}_2$ ) ou W
  - les limites suivantes sont calculées :
    - LIA (oral -  $f_1 = 10^{-5}$ )  $2 \cdot 10^6$  Bq ou 54  $\mu$ Ci
    - LIA (oral -  $f_1 = 10^{-4}$ )  $2 \cdot 10^5$  Bq ou 5,4  $\mu$ Ci
    - LIA (inhalation - Y)  $5 \cdot 10^2$  Bq ou 14 nCi
    - LIA (inhalation - W)  $2 \cdot 10^2$  Bq ou 5,4 nCi

La publication 26 de la CIPR propose l'usage de niveaux d'investigation (IL) et niveaux d'investigation dérivés (DIL) calculés selon les 2 relations :

$$IL_R = \frac{3}{10} \frac{ALI}{n} \quad \text{dans le cas d'un contrôle de routine} \\ (n = \text{nombre de contrôles par année})$$

$$IL_S = \frac{1}{20} ALI \quad \text{pour un contrôle spécial (incident ou} \\ \text{exposition particulière)}$$

NENOT (Ne-80) calcule, dans le cas du  $^{239}\text{PuO}_2$ , les niveaux d'investigation dérivés (DIL) suivants :

$DIL_S$  : 4 Bq (0,11 nCi) dans les poumons, 3 jours après l'incident

$DIL_R$  : 5 Bq (0,14 nCi) dans les poumons, examen de routine trimestriel

$DIL_S$  :  $2 \cdot 10^{-4}$  Bq/24h d'urine, 3 jours après l'incident

$DIL_R$  :  $3 \cdot 10^{-5}$  Bq/24h d'urine pour un examen de routine trimestriel

Il en conclut que seule la mesure des fèces permet d'atteindre les niveaux d'investigation requis dans le cas du Pu.

#### 4. CONCLUSIONS

La mesure de la contamination interne par les méthodes directes ou indirectes, avec toutes les difficultés techniques qui leur sont inhérentes ne constituent qu'une première étape.

L'évaluation de la gravité du cas devrait pouvoir se faire dans un délai court par comparaison à des valeurs de référence (niveaux d'investigation, niveaux dérivés...) facilement accessibles et sans calculs fastidieux qui seraient sujets à contestation et interprétations multiples.

Ceci est particulièrement important pour celui qui doit interpréter des résultats comportant un large éventail de produits de fission, d'activation, transuraniens etc. comme ce peut être le cas dans un centre nucléaire.

On peut espérer qu'un tel document qui constituerait un outil de base soit publié prochainement car l'application des données du document 30 de la CIPR à un cas concret n'apparaît certes pas à la portée de tous, alors que la législation européenne (JO-80) qui sera sous peu reprise dans les diverses législations nationales se base sur les nouvelles conceptions de la CIPR.

#### B I B L I O G R A P H I E

- Co 80 J.F. COLARD, R.E. LEDUC  
Assessment of radioactive burdens in human body, by direct methods  
CEN/SCK - Internal report (April 1980)
- ICRP-59 ICRP - Publication 2 (1959)  
Recommendations of the International Commission on Radiological Protection  
Report of Committee II on Permissible Dose for Internal Radiations
- ICRP-62 ICRP - Publication 6 (1964)
- ICRP-65 ICRP- Publication 9 (1966)
- ICRP-68a ICRP - Publication 10 (1968)  
Report of Committee IV on Evaluation of Radiation Doses to Body Tissues from Internal Contamination due to Occupational Exposure
- ICRP-686 ICRP - Publication 12 (1969)  
General Principles of Monitoring for Radiation Protection of Workers

- ICRP-77 ICRP - Publication 26  
Recommendations of the International Commission on  
Radiological Protection  
Annals of the ICRP Vol 1 n° 3 (1977)
- ICRP-79 ICRP - Publication 30  
Limits for Intakes of Radionuclides by Workers  
Annals of the ICRP vol 2 n° 3/4 1979  
vol 3 n° 1/4 1979  
vol 5 n° 1/6 1981
- JO-62 Journal officiel des Communautés Européennes  
5e année n° 57 / 9 juillet 1962
- JO-66 ibid - 9e année n° 216 / 26 novembre 1966
- JO-80 ibid - 23e année n° 246 / 17 septembre 1980
- MB-63 Moniteur Belge / 16 mai 1963 / A.R. 28 février 1963
- MB-70 ibid / 17 février 1971 / A.R. 23 décembre 1970
- MB-72 ibid / 27 juin 1972 / A.R. 23 mai 1971
- Ne-80 Evaluation Methods of Internal Radiation Contamination  
(ISPRA-1980) IC/80/9  
J.C. NENOT Plutonium and bone seekers dosimetry -  
excretion and retention functions.
- TG-66 Task Group on Lung Dynamics  
Deposition and retention models for internal dosimetry  
of the human respiratory tract  
J.Health Phys. 12 n° 2 p 173-207 (1966)

SAMENVATTING.

Na herhaling van de doelstellingen en de gebruikte instrumentatie bij de rechtstreekse meting van een inwendige besmetting bij de mens worden de prestaties van een Ge(Li) en een NaI-detektor met gebruikelijke afmetingen vergeleken.

Verder wordt de evolutie van de begrippen en aanbevelingen van het ICRP onderzocht vanaf publikatie 2 van 1959 tot publikatie 30 van 1979. De normen worden toegepast voor drie bepaalde nukliden namelijk I 131, Cs 137 en Pu 239. De moeilijkheid wordt getoond afgeleide investigatiedrempels vast te leggen waarmede de uitslagen van de rechtstreekse metingen kunnen vergeleken worden.

ABSTRACT.

After a reminder of the purpose of these measurements and of the instrumentation used for direct assessment of radioactive contamination in man, performances of a Ge(Li) and a NaI detector of usual dimensions are compared.

Afterwards evolution of ICRP concepts and recommendations are discussed, since ICRP publication 2 in 1959, till publication 30 in 1979; recommended norms are applied for three particular radioelements: I 131, Cs 137, Pu 239. The difficulty to determine derived investigation levels to which results of direct measurements should be compared is pointed out.

ZUSAMMENFASSUNG.

Nach einer Wiederholung der Ziele, die bei der direkten Messung der inneren Kontamination des Menschen verfolgt werden sowie der dabei verwendeten Instrumentierung wird die Leistungsfähigkeit eines Ge(Li)- und eines NaI-Detektors von üblichen Abmessungen verglichen. Weiterhin wird die Entwicklung der Konzepte und der Empfehlungen der ICRP seit der Veröffentlichung 2 von 1959 bis zur Veröffentlichung 30 von 1979 untersucht; die Richtlinien werden auf den Fall der folgenden 3 Radionuklide angewendet: I 131, Cs 137, Pu 239.

Die Schwierigkeiten für die Festlegung abgeleiteter Untersuchungsgrenzwerte mit denen die Ergebnisse der direkten Messungen verglichen werden sollten, werden aufgezeigt.

Annales de l'Association Belge de Radioprotection, vol. 8, n° 1 (1983).

## DETERMINATION INDIRECTE DE LA CONTAMINATION INTERNE PAR LA MESURE DES EXCRETA.

Koch G., Dulcino J., Hurtgen Ch.

Section Mesures Bas-Niveaux  
Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire, C.E.N./S.C.K.  
Boeretang 200  
B-2400 Mol.

### RESUME

Justification et principe de l'évaluation de la charge corporelle par la mesure des excreta et difficultés d'interprétation de ces mesures.

Organisation des prélèvements et des mesures au C.E.N./S.C.K.

Exposé de quelques problèmes auxquels nous avons été confrontés :

- Tritium (eau tritiée, molécules marquées, insoluble)
- Phosphore-32 (délai d'intervention)
- Actinides.

### 1. JUSTIFICATION ET PRINCIPE DES MESURES INDIRECTES DE LA CONTAMINATION INTERNE

Malgré leurs performances remarquables, les méthodes de mesure directe ne permettent pas de couvrir de façon entièrement satisfaisante tous les cas d'évaluation de la contamination interne.

Cette lacune est plus au moins grave selon les cas, elle dépend de la nature et de l'énergie des rayonnements émis par le radionucléide en question. Ainsi, par exemple, la mesure directe est pratiquement impossible pour des émetteurs  $\beta$  pur de faible énergie tels que le  $^3\text{H}$ , le  $^{241}\text{Pu}$ , le  $^{14}\text{C}$  ou le  $^{35}\text{S}$  et ce, malgré le niveau relativement élevé des charges admissibles. Elle est possible, mais avec une sensibilité relativement médiocre pour des émetteurs  $\beta$  de plus haute énergie dont on détecte alors le rayonnement de freinage; ainsi, dans le cas du  $^{32}\text{P}$  on peut évaluer des charges corporelles de l'ordre de 10 % du maximum admissible en régime chronique. Lorsqu'il s'agit des actinides émetteurs  $\alpha$ , en particulier les

différents isotopes du Pu, le problème est double, la sensibilité est relativement limitée, du fait de la faible énergie et de la faible abondance du rayonnement électromagnétique émis et, d'autre part, l'interprétation des mesures en termes de charge corporelle est hasardeuse si l'on ne connaît pas la composition tant élémentaire qu'isotopique du contaminant.

On est donc obligé de faire appel à des méthodes indirectes où l'on mesurera, dans des échantillons biologiques convenables l'activité du ou des radionucléides en question, après séparation chimique. Il n'est évidemment pas question, sauf exceptions rarissimes, de prélever en vue de l'analyse des échantillons de tissus, sauf éventuellement de sang. Les analyses porteront sur des échantillons d'excreta : mucus nasal, matières fécales, urine, air expiré, selon l'occurrence.

L'interprétation des résultats de mesures en termes de charge corporelle se fera sur la base des données métaboliques et physiologiques disponibles pour les éléments en question, en fonction de leur forme chimique et de leur voie d'entrée. Cette interprétation sera hélas souvent entachée d'une incertitude qui peut être importante du fait de la variabilité individuelle des phénomènes biologiques d'excrétion.

La fréquence des analyses sera basée sur les données concernant l'excrétion et sur la sensibilité de la méthode de mesure du radionucléide. Autant que possible, on devrait pouvoir détecter des niveaux de contamination de l'ordre de 1 % de la charge admissible si la contamination a eu lieu juste après l'analyse précédente.

Les mesures indirectes peuvent aussi être un complément très utile des mesures directes, citons deux exemples.

Pour évaluer la charge corporelle en  $^{226}\text{Ra}$ , on se base généralement sur la mesure du rayonnement  $\gamma$  du  $^{214}\text{Bi}$  : on calcule alors la charge en  $^{226}\text{Ra}$  en admettant a priori une perte moyenne de 70 % du  $^{222}\text{Rn}$  via l'air expiré. Cette évaluation souffre d'une incertitude individuelle importante puisque divers auteurs ont rapporté des taux de perte du  $^{222}\text{Rn}$  allant de 45 à 90 %. Si l'on fait également une mesure du  $^{222}\text{Rn}$  dans l'air expiré, on peut calculer sans ambiguïté la charge réelle en  $^{226}\text{Ra}$  puisqu'elle sera tout simplement la somme des résultats des deux mesures.

D'autre part, lors de l'évaluation par mesure directe de la charge pulmonaire en actinides après un incident, l'analyse élémentaire et isotopique d'échantillons significatifs apportera des informations précieuses pour l'interprétation des mesures. Le meilleur substrat à soumettre à l'analyse

est généralement le mucus nasal du contaminé lui-même, pour autant que l'on puisse le prélever très peu d'heures après l'incident. C'est l'échantillon le plus représentatif de la contamination pulmonaire, éventuellement à la sélection granulométrique près.

Les matières fécales précoces constituent aussi un échantillon de choix ; cependant leur représentativité pourrait être légèrement faussée par une excrétion biliaire résultant de contaminations importantes plus anciennes. Sous les mêmes réserves quant à la représentativité, et tenant compte de ce que l'excrétion par cette voie est bien plus faible que l'excrétion fécale précoce après inhalation de poussières, l'urine est aussi un substrat dont l'analyse peut présenter un certain intérêt dans ce cadre.

On peut aussi analyser tout autre échantillon représentatif des poussières inhalées, tels des filtres de poussières de l'air, des frottis de surface, etc.

## 2. CARACTERISTIQUES DES METHODES D'ANALYSE

Le but des méthodes d'analyse est de soumettre le radionucléide en question à la mesure sous une forme convenable. Elles doivent donc concentrer ce radionucléide dans un petit volume et le débarrasser autant que possible d'autres radionucléides qui pourraient interférer.

Cette sélectivité que l'on recherche généralement pour des analyses de routine est obtenue soit en mettant en oeuvre des techniques de chimie analytique, soit en utilisant des méthodes de sélection lors de la mesure de la radioactivité : utilisation du détecteur le mieux adapté, discrimination d'énergie pour distinguer  $^3\text{H}$  de  $^{14}\text{C}$  par scintillation liquide, spectrométrie  $\alpha$  sur des coupelles électrodéposées,...

Cette sélectivité se paie généralement au prix d'un délai de 2 - 3 jours pour obtenir le résultat. Dans les cas où l'urgence prime, comme après un incident, on mettra en oeuvre des méthodes plus rapides, au détriment de la sélectivité; par exemple on fera sur le mucus nasal une mesure de l'activité  $\alpha$  globale, après une simple minéralisation rapide du substrat. On peut ainsi obtenir des résultats de mesures en un délai de 2 heures, ce qui permet de décider des actions urgentes à prendre, tant en ce qui concerne les échantillons à prélever et les mesures complémentaires à effectuer qu'en ce qui concerne les actions médicales éventuelles.

### 3. ORGANISATION GENERALE DES MESURES

Nous avons vu plus haut que l'on pouvait soumettre à l'analyse différents types d'excreta, chacun d'eux a son champ d'application et ses limitations.

- Le mucus nasal retient une partie des poussières inhalées, on le prélève par mouchage dans un papier filtre sans cendres lorsqu'on suspecte une contamination de l'air par des poussières radioactives. Etant donné la grande variabilité qui affecte la rétention des poussières dans les fosses nasales, cet échantillon biologique ne peut être considéré que comme un indicateur.
  - Les matières fécales sont, elles aussi, représentatives des poussières déposées dans les voies aériennes supérieures. Après une contamination par inhalation de particules insolubles, elles sont la voie d'une excrétion précoce massive : en première approximation, les matières fécales émises pendant les 4 jours qui suivent l'incident contiennent une activité égale à 5 fois la charge pulmonaire à long terme. On peut éventuellement affiner cette estimation sur la base des modèles dynamiques pulmonaires, si l'on connaît la granulométrie aérodynamique des particules en cause. En général cependant, cette première approximation est suffisante car les analyses fécales servent essentiellement, comme celles du mucus nasal, à orienter les actions ultérieures.
- Signalons aussi que certains éléments lourds sont partiellement excrétés à long terme par voie biliaire.
- L'urine, contrairement aux deux précédents, est essentiellement une voie d'excrétion à long terme. C'est donc sur ce type d'échantillon biologique qu'est basé le contrôle de la contamination interne.
  - L'air expiré, lui aussi, peut être une voie d'excrétion à long terme mais seulement pour des cas particuliers, tels le  $^{222}\text{Rn}$  ou le  $^{14}\text{C}$  sous forme de  $\text{CO}_2$ , le champ d'application est donc très restreint.

C'est sur la base des conditions de travail de chaque agent que le service de contrôle physique établit un plan de prélèvement d'échantillons d'excreta, en collaboration étroite avec le service médical et les services de mesures. La fréquence des analyses, variable d'un nucléide à l'autre, en constitue l'épine dorsale. On tient compte également de la répartition des agents entre les différents laboratoires, de façon telle qu'un agent au moins de chaque laboratoire soit compris dans le contingent de personnes

contrôlées chaque semaine. Selon les cas, les prélèvements d'urines consistent en une seule miction, en l'urine de 24 heures ou en l'urine de trois nuits. Ils sont recueillis dans des récipients en plastique, flacons de 250 ml ou bidons de 3 litres, qui ne servent qu'une seule fois. Cette méthode permet d'éviter le risque de contamination exogène des échantillons et constitue une garantie d'hygiène. A la réception, les échantillons sont systématiquement fractionnés en deux parties égales, l'une d'elle est soumise à l'analyse, l'autre est tenue en réserve en chambre froide pour faire face à un incident en cours d'analyse ou pour vérifier un résultat douteux.

#### 4. APPLICATION A QUELQUES RADIONUCLÉIDES

Nous avons été amenés à faire face à de nombreux problèmes de contrôle radiotoxicologique, tant pour répondre aux besoins propres du C.E.N. que pour répondre à des demandes d'organismes extérieurs. Ces problèmes concernaient tout un éventail de situations particulières et de radionucléides. Nous en avons choisi quelques uns parmi les plus représentatifs.

##### 4.1. Tritium

La mesure du  $^3\text{H}$  dans l'urine brute par scintillation liquide pose actuellement peu de problèmes, nous la faisons toujours par la technique de l'étalonnage interne. L'interprétation des résultats des mesures en termes de charges corporelles et l'évaluation des doses engagées qui en résultent dépend de la forme chimique sous laquelle le tritium a été absorbé.

##### Eau tritiée

Si le radionucléide est incorporé sous forme d'eau tritiée, on a affaire au cas le plus simple possible : le contaminant se répartit de façon homogène dans l'eau du corps - on peut en effet négliger la fraction de  $^3\text{H}$  liée par voie métabolique. Le calcul de la charge corporelle et de son évolution dans le temps sont immédiats, sachant que la masse d'eau du corps est de 42.000 g et la demi-vie biologique de l'eau du corps est de l'ordre de 10 jours sous nos climats.

### Molécules marquées

Au cours des années écoulées, en raison de l'existence à l'époque d'un laboratoire de synthèse de molécules marquées, nous avons été confrontés à des cas qui typiquement n'étaient pas dus à l'absorption d'eau tritiée : une partie importante du  $^3\text{H}$  de l'urine restait dans le résidu de distillation et la demi-vie d'excrétion était de l'ordre de 1 jour, voire même de 1/2 jour.

Nous avons ainsi été amenés à étudier sur animaux de laboratoire la dynamique de la répartition entre différents organes et tissus du  $^3\text{H}$  administré sous forme de 14 espèces chimiques différentes (1). Cette étude a été faite en collaboration avec le Service de Chimie médicale de l'Université de Liège et sous le couvert d'un contrat Euratom.

Les éléments essentiels de cette étude ont été exposés à cette tribune et publiés dans les Annales de notre Association (2).

Rappelons brièvement les enseignements que nous avons pu tirer, quant à la ligne de conduite à suivre, face à de tels types de contamination interne :

- 1) Etant donné les très grandes différences de la répartition de la radioactivité entre les divers organes, observées en fonction de la forme chimique du  $^3\text{H}$ , on doit conclure que la connaissance de l'activité de l'urine et même du sang ne permettent pas d'évaluer a priori l'équivalent de dose engagée. Il faut autant que possible connaître la nature du contaminant pour en inférer la dose dans les différents organes.
- 2) Dans la plupart des cas, le décours de la radioactivité aussi bien dans les organes que dans les urines, comporte deux composantes, l'une à décroissance rapide, l'autre à décroissance lente. L'importance relative de ces deux composantes, et par conséquent la fraction de dose en résultant, est très variable selon la forme chimique du contaminant. Pour couvrir convenablement le contrôle, il est donc nécessaire d'avoir des échantillons d'urine fréquents.

Cette situation nous a amenés à amender progressivement le programme de contrôle des travailleurs de ce laboratoire : finalement, on leur demandait un échantillon quotidien d'urine et, en cas de contamination significative de l'urine brute, on complétait l'investigation non seulement en mesurant l'activité du distillat et du résidu, mais encore en mettant en oeuvre des techniques d'analyse (hydrolyse enzymatique, séparation chromatographique, recristallisation avec entraîneur inactif) après que les responsables du laboratoire nous aient indiqué quels étaient les con-

taminants probables (3).

Lors des cas que nous avons ainsi rencontrés, les doses calculées suite aux résultats du complément d'analyse se sont révélées être largement inférieures à celles qui auraient été calculées en admettant que la contamination était due à l'eau tritiée. La figure 1 illustre à titre d'exemple un des cas auxquels nous avons eu à faire face.

Moyennant divers essais, et en particulier l'analyse radiochromatographique des métabolites excrétés, on a pu conclure qu'il s'agissait d'une contamination par la testostérone tritiée. Sur cette base et tenant compte de la demi-vie effective d'un jour observée, on a pu déduire que le foie était l'organe irradié principalement et que l'équivalent de dose engagée à cet organe était de l'ordre de  $7.10^{-4}$  Sv (70 mrem) seulement alors que si l'on avait attribué toute l'activité de l'urine brute à la présence d'eau tritiée, on aurait calculé un équivalent de dose de  $3,1.10^{-2}$  Sv (3 rem) à l'ensemble des tissus mous.

Il n'en reste pas moins vrai que certaines molécules marquées peuvent être plus radiotoxiques que l'eau tritiée, c'est en particulier le cas des substances qui entrent dans des processus anaboliques.

#### Tritium insoluble

L'hydruure de titane tritié ( $^3\text{H}_2\text{Ti}$ ) employé comme cible dans les accélérateurs peut donner lieu à une contamination par inhalation de poussières. Dans ce cas, la contamination ne sera pas détectable dans l'urine car le  $^3\text{H}$  en question n'est pas échangeable avec l'eau. Nous avons été confrontés à cette éventualité. Comme il est impossible de faire une mesure directe de  $^3\text{H}_2\text{Ti}$  déposé dans les poumons, nous avons fait des mesures de  $^3\text{H}$  dans les matières fécales. Des aliquots de quelques grammes de matière fécale étaient séchés sous vide, on mesurait le  $^3\text{H}$  dans le distillat ainsi que dans l'eau de combustion du résidu sec. *Alors que l'on ne trouvait pas de  $^3\text{H}$  dans ledit distillat, qui correspond à l'eau du corps, on trouvait du  $^3\text{H}$  dans l'eau de combustion de certaines fractions d'une même matière fécale et pas dans d'autres.* Le tableau I reprend, à titre d'exemple, une série de résultats observés.

Ceci nous a bien montré la nature particulière et insoluble du contaminant. Cette situation nous a amenés à développer un train de combustion capable de brûler des échantillons de 300 g de matière sèche, puisqu'il s'était avéré nécessaire de traiter la totalité de la matière fécale.

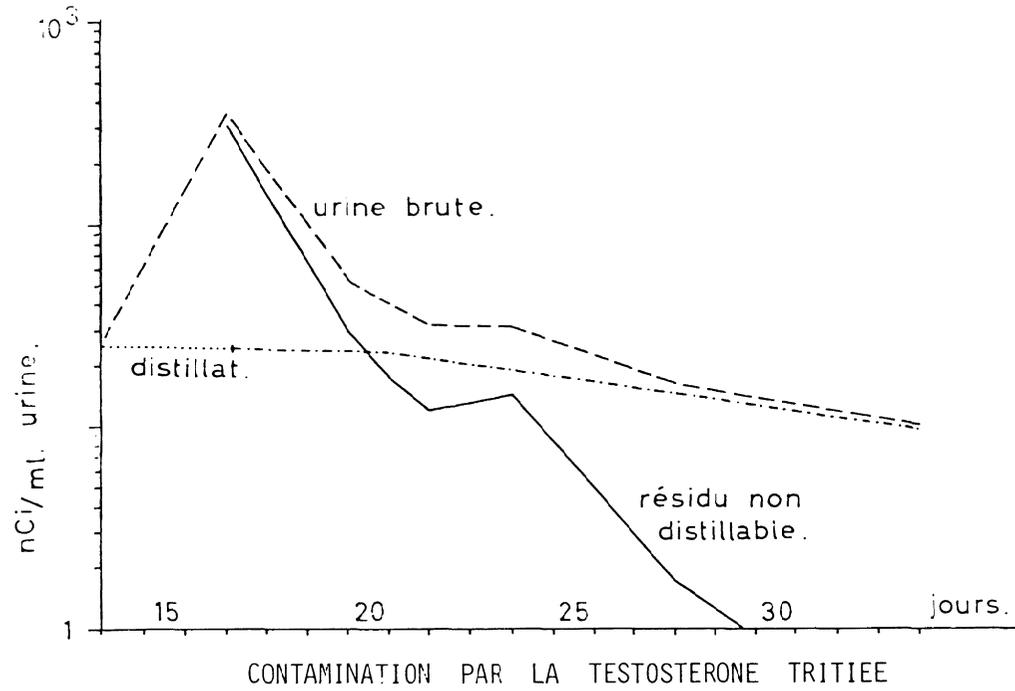


Figure 1

Poids frais	Distillat		Poids sec brûlé	Eau de combustion		
	g	Bq/ml		g	Bq/ml	Bq tot.
47,9	36,1	$9,3 \cdot 10^{-2}$	11,7	6,86	65	450
41,2	30,8	$1,1 \cdot 10^{-1}$	10,6	6,33	$1,1 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-1}$
10,9	8,2	$1,9 \cdot 10^{-1}$	2,9	1,79	$6,2 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$

Activité mesurée dans le distillat et dans l'eau de combustion des différentes fractions d'une même matière fécale

Tableau I

Les résultats des mesures des différentes campagnes de contrôle que nous avons effectuées ont montré qu'il s'agissait en fait de contaminations mineures puisque des échantillons prélevés après une période de quelques jours de vacances n'ont jamais montré d'activité, alors que les échantillons prélevés quand les intéressés étaient au travail montraient une activité mesurable. On peut donc conclure que l'on avait affaire à l'excrétion précoce et non pas à l'excrétion par voie biliaire d'une contamination chronique.

#### 4.2. Phosphore-32

Nous avons affaire à un radionucléide de demi-vie courte qui est relativement radiotoxique puisque le phosphore est un élément ostéotrope lorsqu'il est absorbé sous forme de phosphate ou de substance biotransformable en phosphate, ce qui est souvent le cas.

La mesure du  $^{32}\text{P}$  dans l'urine présente peu de difficulté, on peut faire une estimation grossière par scintillation liquide sur un aliquot de quelques millilitres d'urine brute. La sensibilité de cette méthode est cependant limitée (50 pCi/ml soit 70.000 pCi/24 h ou 2600 Bq/24 h). Si l'on désire une meilleure sensibilité, on fait une mesure du  $^{32}\text{P}$  au moyen d'un compteur  $\beta$  à bas bruit de fond, où l'échantillon est présenté sous forme d'un précipité de phosphate ammoniaco-magnésien. La limite de sensibilité s'établit ainsi à 15 pCi/24 h soit 0,56 Bq/24 h. Malgré cette

bonne sensibilité de mesure, il est indispensable d'éviter des délais trop long entre les contrôles des personnes exposées à la contamination par le  $^{32}\text{P}$ . Le coefficient effectif d'excrétion urinaire quotidienne décroît en effet très rapidement. Il passe de  $4.10^{-3}/24$  h pour un délai de 15 jours à  $10^{-3}/24$  h pour un délai d'un mois et à  $7.10^{-6}/24$  h pour un délai de 3 mois. Nous avons déjà reçu des échantillons d'urine de personnes susceptibles d'avoir été contaminées par du  $^{32}\text{P}$  3 mois auparavant il est évident que la réponse que nous aurions pu donner n'aurait eu aucun sens réel puisque l'on aurait dû dire que la charge initiale était inférieure ou égale à  $15 \times 1/7.10^{-6}$  pCi c'est-à-dire  $\leq 2$   $\mu\text{Ci}$ .

Le contrôle de la contamination par le  $^{32}\text{P}$  doit se faire avec une périodicité de l'ordre de 15 jours, si l'on ne veut pas surestimer inutilement les doses reçues.

#### 4.3. Plutonium et transplutoniens

Les contrôles concernent le plus fréquemment un risque de contamination par le plutonium. Il s'agit ici d'éléments tout à fait étrangers au milieu vivant et dont le métabolisme est encore mal connu, malgré les nombreux travaux entrepris sur le sujet depuis ceux de Langham.

L'excrétion urinaire a un décours tout à fait différent en fonction du temps selon la voie d'entrée, la nature chimique, la présence éventuelle de complexants.

La figure 2 montre l'évolution de l'excrétion urinaire résultant d'une injection directe de citrate de plutonium dans le courant sanguin (expérience de Langham) ou d'un dépôt pulmonaire de plutonium insoluble retenu dans les poumons avec une demi-vie de 50 ou de 500 jours.

On voit que l'interprétation des résultats de mesures en termes de charge corporelle peut varier considérablement. En outre, d'un jour à l'autre, on peut observer des différences considérables d'excrétion urinaire chez un même individu.

Ceci étant, le rôle des mesures de contrôle de routine ne peut être que celui d'une sonnette d'alarme. Comme niveau d'investigation nous avons choisi les valeurs basées sur les hypothèses pessimistes trouvées dans la littérature : pour une fréquence de 30 jours, le niveau d'investigation est de 7 mBq/24 h, la sensibilité de la mesure est de 1,4 mBq. D'une manière générale, les valeurs observées dans les urines sont inférieures ou égales

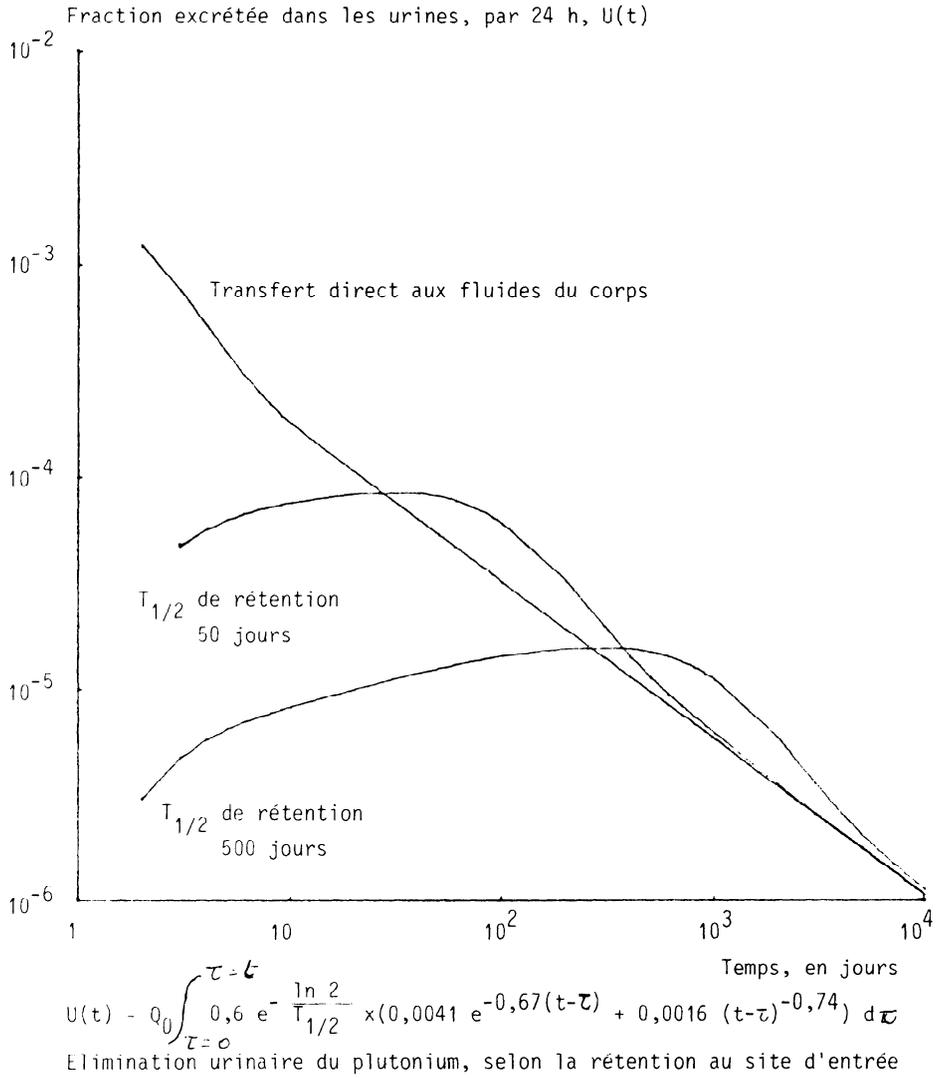


Figure 2

à cette limite de sensibilité.

En cas d'incident confirmé par une contamination significative du mucus nasal, une concertation a lieu entre les différents services concernés en vue de réunir le maximum d'informations pour cerner le problème

Un autre problème dans l'évaluation des doses consécutives à l'incorporation de plutonium résulte de la présence de plutonium-241 : d'une manière générale, on fait sans plus une mesure de l'activité  $\alpha$  que l'on attribue au plutonium-239. On néglige ainsi l'influence de l'isotope 241 qui est un émetteur  $\beta$  de 20 keV d'énergie maximale mais dont l'activité peut être égale à plus de 20 fois l'activité des isotopes émetteurs  $\alpha$ . Etant donné les radiotoxicités relatives, on peut ainsi faire une *sous-évaluation* d'un facteur de l'ordre de 2. On évite cette erreur en remettant en solution le plutonium déposé sur la coupelle en le conditionnant pour la mesure par scintillation liquide, moyennant une extraction liquide - liquide. Cette technique de mesure est pratiquement la seule utilisable étant donné la faible énergie du rayonnement  $\beta$  émis.

## 5. CONCLUSION

Pour conclure, le contrôle de la contamination interne des travailleurs est un travail d'équipe, il implique une collaboration étroite entre les services de contrôle physique, le service médical et les différents laboratoires de mesures.

## REFERENCES :

- (1) Koch, G.F., Dulcino, J.L., Mermans, J.M., Delwaide, P.A.,  
Etude expérimentale concernant l'extension à l'homme des résultats d'essais radiotoxicologiques de substances tritiées effectuées chez la souris, Contrat Euratom n° 072/73/11 PSTB
- (2) Delwaide, P.A., Dulcino, J.L., Koch, G.F.  
Radiotoxicité relative des nucléides en fonction de leur forme chimique. Annales de l'Association Belge de Radioprotection, 2, 4 (1977) 299.
- (3) Koch, G.F., Dulcino, J.L., Delwaide, P.A., Boulenger, R.R.  
Interpretation, en termes de dose d'irradiation, de cas de contamination par molécules marquées. I.R.P.A. Congress - Brighton 1970 - I.R.P.A./2/p.125.

SAMENVATTING.

Verantwoording en basisbegrippen van de evaluatie van de lichaamsbelasting door meting van de excreta en moeilijkheden bij de interpretatie van deze metingen. Organisatie van de staalnamen en metingen op het S.C.K./C.E.N. Uiteenzetting van enkele problemen waarmede wij geconfronteerd werden :

- Tritium (Tritiumwater, gemerkte moleculen, onoplosbare vormen)
- Fosfor-32 (tijdspanne voor interventie)
- Actiniden.

ABSTRACT.

Justification and underlying principles for the evaluation of the body burden by measurement of the excreta and difficulties in the interpretation of these measurements. Organization of sample collection and measurements at the C.E.N./S.C.K. Presentation of some problems to which we have been confronted :

- Tritium (tritiated water, labelled molecules, insoluble forms)
- Phosphor-32 (delay for intervention)
- Actinides.

ZUSAMMENFASSUNG.

Rechtfertigung und Prinzip der Ermittlung der Ganzkörperbelastung aus der Messung von Ausscheidungen und Schwierigkeiten bei der Interpretation dieser Messungen. Organisation der Probenahme und der Messungen im SCK/CEN. Beschreibung einiger Probleme mit denen wir konfrontiert wurden :

- Tritium (tritiertes Wasser, markierte Moleküle, in unlöslicher Form)
- Phosphor-32 (Verzögerung der Intervention)
- Aktiniden

Annales de l'Association Belge de Radioprotection, vol. 8, n° 1 (1983).

METHODES UTILISEES PAR LES UNITES MEDICALES DU GROUPE C.E.A. POUR  
LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DES TRAVAILLEURS.

J. SARBACH,

Commissariat à l'Energie Atomique,  
31-33, rue de la Fédération, Paris.

Août 1981.

RESUME.

La radioprotection des travailleurs du groupe CEA (France) fait appel dans chaque établissement nucléaire aux services de trois unités. Celles-ci sont le Service de Protection contre les Radiations (SPR), le Service Médical du Travail (SMT) et le Laboratoire d'Analyses et de Biologie Médicale (LABM). L'activité du SMT et du LABM est définie en fonction des postes de travail dont les caractéristiques figurent sur les Fiches de Poste et de Nuisances.

L'organisation actuelle de la radioprotection des travailleurs du groupe C.E.A. (France), mise au point par des années d'expérience, permet, en respectant l'esprit et la lettre d'une législation nationale particulièrement rigoureuse d'assurer, contre le risque radiologique, une sécurité d'un niveau bien supérieur à celui obtenu par les autres nuisances.

Elle fait appel dans chaque établissement nucléaire aux services de trois unités qui ont des missions spécifiques et complémentaires.

- 1) Le Service de Protection contre les Radiations (SPR) est chargé, entre autres, d'assurer sur les lieux de travail le contrôle de l'irradiation et de vérifier l'efficacité des protections utilisées. Ce service assure la distribution et l'exploitation des films dosimètres individuels dont les résultats sont adressés au médecin du travail.  
Par ailleurs, en cas d'incident ou d'accident, il transmet au service médical le résultat des mesures effectuées sur les lieux du sinistre.
- 2) Le Service Médical du Travail (SMT) doit assurer la dosimétrie de l'irradiation interne individuelle, comptabiliser et exploiter la dosimétrie totale afin de décider des aptitudes aux postes de travail.  
Ce service dispose d'un dispensaire appelé "Bloc de Décontamination" pour effectuer des soins spéciaux en cas d'incident ou d'accident radiologique.

3) Le Laboratoire d'Analyses de Biologie Médicale (LABM) réalise, à la demande du médecin du travail, tous les examens nécessaires, aussi bien dans les domaines biologiques que toxicologiques ou radio-toxicologiques.

Ces trois unités collaborent étroitement pour assurer, grâce à leur coordination, la meilleure protection possible du personnel.

Le sujet exposé ici ne concernant que les unités médicales, le rôle du S.P.R. ne sera pas décrit.

#### PRINCIPES SUR LESQUELS SONT FONDÉES LES MÉTHODES DE SURVEILLANCE.

La législation française concernant la médecine du travail et la protection des travailleurs contre le risque radiologique prévoit qu'il appartient au médecin du travail de déterminer la nature et la fréquence des examens nécessaires pour assurer la surveillance systématique individuelle. D'autre part, en cas d'accident radiologique, il échoit au Service Médical du Travail, compte tenu de la spécificité du risque, d'assurer les soins adéquats, même en l'absence de danger immédiat.

#### APPLICATION DE CES PRINCIPES.

L'application de ces principes nécessite pour la pratique :

- A) Une bonne connaissance du poste de travail pour choisir les examens à pratiquer et déterminer leur fréquence.
- B) La réalisation des examens prescrits et la transmission des résultats au médecin du travail qui devra les exploiter.
- C) Une procédure exceptionnelle en cas d'incident ou d'accident radiologique, pour assurer, dans les meilleurs délais, le diagnostic et la thérapeutique de l'irradiation externe ou des incorporations radioactives.

#### A) Connaissance du poste.

La connaissance du poste de travail sur le plan radiologique (type de rayonnement, et/ou nature et forme physico-chimique des radionucléides manipulés) est indispensable au médecin du travail pour déterminer les examens à pratiquer en surveillance systématique.

A cette fin, un groupe de médecins du C.E.A. a étudié et mis au point une fiche spéciale dite "Fiche de poste et de nuisances" conforme à la législation, décrivant le poste de travail et fournissant, grâce à un code adéquat

une appréciation objective et systématique des conditions de travail et des caractéristiques du poste. \*

Elle comprend les rubriques suivantes :

- conditions de travail
- activités particulières
- nuisances non radiologiques
- nuisances radiologiques (exposition externe et interne).

Participent à son élaboration grâce à un mode d'emploi largement diffusé : le chef de service, l'ingénieur de sécurité, le responsable SPR.

Elle est signée par l'intéressé.

Une rubrique supplémentaire, réservée au médecin du travail permet d'inscrire les exigences sensorielles, motrices, dynamiques et neuropsychiques du poste. Un code médical inscrit par le médecin détermine la surveillance médicale découlant de l'exploitation de cette fiche.

Conçue pour être informatisée, son exploitation par ordinateur permet :

- d'établir les convocations médicales
- de faire des évaluations prévisionnelles des examens à réaliser,
- de facturer éventuellement le coût des prestations
- d'établir des statistiques sur les postes de travail de l'entreprise
- de par son intégration au dossier médical informatisé, de réaliser une épidémiologie des travailleurs affectés par les mêmes risques.

L'exploitation de cette fiche par le médecin du travail permet donc le choix des examens à pratiquer, en fonction des émissions radioactives ou des radionucléides en cause : mesures directes (ex. : anthroporadiométrie) ou indirectes (ex. : analyses d'excréta).

Le choix des examens étant fait, il est nécessaire d'en déterminer la fréquence. Celle-ci s'établit en prenant en compte la pondération d'exposition au risque inscrite par le responsable dans les cases prévues à cet effet.

L'utilisation, pour les nuisances radioactives, d'un code à quatre chiffres (0, 1, 2, 3) permet une quantification du niveau du risque par l'employeur. A cet effet ce dernier consulte le mode d'emploi de la fiche et fait appel, en cas de besoin, aux conseils du service de protection contre les radiations.

\* Les dimensions de cette fiche ne permettent pas la reproduction dans le texte ci-dessus. Ceux qui le souhaitent peuvent en obtenir un exemplaire auprès des auteurs.

Dès réception de la fiche, le médecin du travail peut, en comparant la cotation des nuisances radioactives aux modèles de surveillance mis au point par des groupes de travail, sélectionner un modèle de surveillance radiotoxicologique.

Ce système facilite la tâche du médecin et assure, au niveau du groupe CEA, une homogénéité de la surveillance médicale, très appréciable sur le plan psychologique.

Il est bien évident que cette systématisation de la surveillance ne peut s'appliquer intégralement à tous les postes de travail.

Cependant, grâce à cette méthode, on peut immédiatement mettre en place une surveillance de base assurant une excellente protection, qui pourra ensuite être affinée par des études particulières des postes de travail.

#### B) Mise en oeuvre pratique.

Elle dépend de la taille de l'établissement et de la nature de ses activités.

Nous prendrons l'exemple d'un établissement industriel nucléaire de grande taille, occupant plus de 2500 personnes, sans compter le personnel des entreprises extérieures soumis aux mêmes règles de surveillance radiologique.

Grâce à l'exploitation de l'ensemble des fiches de postes et de nuisances, il a été possible de réaliser un planning annuel des convocations aux examens de laboratoire.

Pour la surveillance par méthode indirecte, examen radiotoxicologique d'excrétas par exemple, on personnalise à l'avance les flacons de prélèvement et ceux-ci sont déposés dans des endroits précis, aux dates prévues par les avis individuels.

Si un poste est occupé par des agents en équipes alternées, on peut augmenter le niveau de surveillance en répartissant et en alternant les prélèvements des titulaires.

La transmission des résultats des examens au médecin du travail est assurée par l'utilisation d'une fiche spéciale (cf. par exemple fig. n° 1, la fiche mise au point par le directeur du LABM de Marcoule\*) qui est intégrée au dossier médical du travailleur.

\* M. J. Mercier, pharmacien biologiste.

Dans l'exemple donné, les croix figurant dans les colonnes NE et NI correspondent à l'atteinte des Niveaux d'Enregistrements et des Niveaux d'Investigation, et sont une aide précieuse pour le médecin.

L'utilisation généralisée de l'informatique au niveau des SMT et des LABM, en cours d'établissement permettra une édition automatisée des convocations et des résultats.

C) Procédure en cas d'incident radiologique.

Les principes généraux

- mesures préventives immédiates sur les lieux de travail
  - description de l'incident en utilisant une fiche de liaison SPR/SMT spécialement conçue
  - prise en charge complète des agents par le SMT et le LABM
- sont illustrés par un film qui a été tourné dans l'établissement COGEMA de la Hague et intitulé "Que faire en cas de contamination".



SAMENVATTING.

De stralingsbescherming van de werknemers van de groep CEA (France) doet beroep in elke kerninstelling op de diensten van drie eenheden. Deze zijn : de Service de Protection contre les Radiations (SPR), de Service Médical du Travail (SMT) en het Laboratoire d'Analyses et de Biologie Médicale (LABM). De activiteiten van de SMT en van het LABM worden bepaald volgens de werkposten waarvan de karakteristieken op de Fiche van Werkpost en Blootstellingen voorkomen.

ABSTRACT.

The radioprotection of workers of the CEA group (France) is dealt with in each nuclear establishment by the services of three units. These are : the Service de Protection contre les Radiations (SPR), the Service Médical du Travail (SMT) and the Laboratoire d'Analyses et de Biologie Médicale (LABM). The activities of the SMT and the LABM are defined in function of the workpost of which the characteristics appear on the Workpost and Nuisances Sheet.

ZUSAMMENFASSUNG.

Der Strahlenschutz für die Mitarbeiter der CEA-Gruppe wird in jedem kerntechnischen Betrieb durch die Dienste von drei verschiedenen Einheiten realisiert. Diese sind : der Service de Protection contre les Radiations (SPR), der Service Médical du Travail (SMT) und das Laboratoire d'Analyses et de Biologie Médicale (LABM). Die Tätigkeit der SMT und des LABM wird festgelegt in Abhängigkeit von der Funktion des Arbeitsplatzes, die in Arbeitsplatz- und Gefährdungs-Blättern charakterisiert wird.