ÉTUDE ET RÉSULTATS D'EXAMENS EFFECTUÉS A LA SUITE D'UNE INHALATION DE COMPOSÉS DITS SOLUBLES D'URANIUM NATUREL

par J. CHALABREYSSE *

1^{re} PARTIE **

INTRODUCTION

Cette étude est basée sur l'exploitation des renseignements obtenus à la suite d'un incident survenu en mai 1965 dans l'usine pilote du centre de Pierrelatte. Cet incident n'a eu heureusement aucune conséquence fâcheuse pour le personnel. Celui-ci était alors en service de jour, et bien qu'il n'y ait pas eu d'agents sérieusement atteints, il a été décidé, afin de parfaire nos connaissances dans le domaine de la protection, de contrôler un nombre très large de personnes. Cette méthode avait en outre l'avantage d'éviter qu'il y eût par hasard un individu non contrôlé et susceptible à l'extrême limite d'avoir été intoxiqué.

Les nombreux contrôles opérés sur ce nombre relativement élevé d'agents ont permis l'établissement de statistiques intéressantes sur l'élimination de l'uranium inhalé par certaines personnes à des doses légères. Il a donc paru utile de tirer des enseignements de cette expérience et de les publier.

*
* *

En présence d'eau ou de la moindre trace d'humidité, l'hexafluorure d'uranium se décompose en oxyfluorure d'uranium et acide fluorhydrique selon la réaction suivante :

L'inhalation d' UF_6 provoque deux types de manifestations :

- *effets immédiats* : atteinte chimique des voies respiratoires due à la libération de l'acide fluorhydrique, avec suffocation, douleurs rétrosternales et risques d'œdème aigu du poumon;
- *effets retardés* : altérations rénales provoquées par l'uranium si la quantité inhalée était suffisante, avec anurie, albuminurie, cylindrurie, urémie, etc.

* Section Médicale et Sociale, Centre de Pierrelatte, B.P. n° 16, 26-Pierrelatte.

** Les calculs et bilans individuels de contamination interne sont décrits ici tels qu'ils ont été effectués en 1965; l'étude théorique ayant servi de base en fut publiée en 1968.

Dans la 2^e partie, qui paraîtra dans un prochain numéro de la Revue, ces calculs et bilans sont repris et complétés à l'aide des Recommandations de la C.I.P.R. parus en 1968.

I - BILAN GÉNÉRAL DES CONTRÔLES EFFECTUÉS

Schématiquement quatre catégories d'individus furent contrôlées.

I.1. PERSONNEL DIRECTEMENT EXPOSÉ

115 personnes étaient susceptibles d'avoir inhalé accidentellement à 16 h de l'UF₆. Pour cette catégorie, il fut possible d'effectuer un prélèvement des urines immédiatement après l'inhalation (17 h) en vue d'établir un diagnostic et un pronostic de la contamination individuelle, et d'apprécier rapidement l'importance de l'incident. Un flacon pour recueillir les urines des 24 heures leur fut remis dans le but ultérieur d'évaluer la contamination individuelle.

Des examens de selles et de sang furent pratiqués pour certains de ces individus. L'excrétion urinaire d'une personne fut suivie durant 22 jours.

I.2. PERSONNEL INDIRECTEMENT EXPOSÉ

Le 2^e et le 3^e jours suivant l'incident, 323 personnes qui n'étaient pas présentes sur les lieux mêmes, mais qui auraient pu être contaminées, effectuèrent le prélèvement d'un échantillon d'urines pour contrôle.

I.3. VISITEURS ET PERSONNEL AYANT EFFECTUÉ LA DÉCONTAMINATION DES LOCAUX

Le risque de contamination interne de 358 personnes entrant dans le local considéré, ou effectuant sa décontamination, fut apprécié en exigeant des prélèvements d'urines à la fin de la journée de travail.

I.4. PERSONNEL AYANT EFFECTUÉ LA DÉCONTAMINATION DU MATÉRIEL CONTAMINÉ

Pendant une période de 42 jours, 38 personnes chargées de la décontamination du matériel proprement dit effectuèrent un prélèvement d'urine journalier.

TABLEAU I
BILAN GÉNÉRAL DES CONTRÔLES EFFECTUÉS

	Nombre de personnes contrôlées	Nombre d'examens effectués sur			
		Les urines		Les selles des 72 heures	Le sang
		Suivant immédiatement l'inhalation	des jours suivant l'inhalation		
Personnel directement exposé	115	109	395	7	11
Personnel indirectement exposé	323	—	361	—	—
Visiteurs et décontamineurs du local	358	—	1 463	—	—
Décontamineurs du matériel	38	—	326	—	—

II - RAPPELS DE LA TOXICOLOGIE ET DU MÉTABOLISME DES COMPOSÉS DITS SOLUBLES D'URANIUM NATUREL

Le danger dû à l'introduction dans l'organisme de composés dits solubles (tels l'hexafluorure, UF_6 , ou l'oxyfluorure, UO_2F_2 , provenant de sa décomposition au contact de l'eau ou de l'humidité de l'air) est d'ordre purement chimique, avec le rein comme organe critique, quelle que soit la voie d'entrée.

Les normes professionnelles (quantité maximale admissible, concentration maximale admissible) ont été établies sur ces bases.

Dans l'organisme, l'uranium se comporte comme un élément étranger; il n'est pas métabolisé.

Si la pénétration de composés dits solubles s'effectue par inhalation, on peut considérer schématiquement que, de la quantité inhalée, 25 % sont exhalés; 50 % sont déposés dans les voies respiratoires supérieures, ils sont avalés ultérieurement et ont le même sort que si le composé avait été directement ingéré (l'absorption de cette fraction par le tractus gastro-intestinal est pratiquement négligeable); 25 % sont retenus dans le poumon, d'où ils passent dans le sang et se répartissent dans les différents tissus de l'organisme. S'il s'agit de composés à la valence 6, la concentration s'effectue principalement sur le squelette et dans le rein.

Le passage de l'uranium sous forme de composés solubles dans le courant sanguin est rapide, environ une ou deux heures. En 4 ou 5 heures, tout le poumon est débarrassé du toxique; celui-ci est passé dans la circulation sanguine, puis s'est réparti dans les différents tissus, en particulier dans le rein.

L'excrétion débute donc très rapidement dans les urines : au cours des premières 24 heures suivant l'absorption, 70 % environ de la totalité du composé absorbé sont excrétés pour les composés U^{6+} solubles. Les jours suivants, l'élimination urinaire se fait beaucoup plus lentement selon la loi de puissance suivante, établie par BERNARD et STRUXNESS [1] :

$$Y = 0,343 h^{-1,50} \quad (1)$$

Y = taux d'excrétion ou vitesse d'excrétion

h = temps exprimé en heures.

Le résultat trouvé dans les urines des premières 24 heures qui suivent l'inhalation est donc particulièrement important.

III - PRINCIPES DE L'ÉVALUATION DE LA CONTAMINATION INTERNE

La contamination interne avec des composés dits solubles d'uranium naturel ne peut être évaluée que par la mesure des quantités éliminées dans les urines ou les selles.

La spectrométrie gamma localisée au niveau du poumon n'est pas utilisable pour ce type de composés, car d'une part l'uranium disparaît très rapidement du poumon et d'autre part l'activité gamma n'est pas suffisante.

Il faut donc utiliser une méthode indirecte portant sur les excréta (urines et selles).

Le dosage de l'uranium naturel dans ces milieux biologiques s'effectue après traitement approprié, selon le principe suivant : les sels d'uranium sont fluorescents quand ils sont exposés aux rayonnements ultraviolets. Cette fluorescence présente une sensibilité considérable lorsque les sels d'uranyle sont incorporés par fusion avec du fluorure de sodium et du carbonate de sodium.

La quantité inhalée est évaluée d'après l'analyse des matières fécales des 48 ou 72 heures suivant l'inhalation, en considérant que 50 % de la quantité inhalée correspondant à la quantité d'abord déposée dans les voies respiratoires supérieures, puis avalée, sont éliminés dans les selles en totalité.

La quantité retenue au niveau du poumon peut être appréciée en admettant qu'il y a eu rétention de 25 % de la quantité inhalée (préalablement évaluée par l'analyse des matières fécales), ou en considérant qu'au cours des premières 24 heures il s'élimine 70 % de la quantité absorbée.

Les jours suivants, la charge corporelle au temps de l'absorption peut être évaluée de la façon suivante. Pour une période b_1 à b_2 exprimant en heures le temps depuis l'absorption, le taux moyen d'excrétion urinaire est, d'après l'équation (1) :

$$Y_u = \frac{0,343}{1 - 1,50} b_2^{(1-1,50)} - \frac{0,343}{1 - 1,50} b_1^{(1-1,50)}$$

$$Y_u = 0,686 (b_1^{-0,50} - b_2^{-0,50}) \quad (2)$$

b_1 = temps exprimé en heures, comptées depuis l'absorption, correspondant au début de la période d'échantillonnage urinaire;

b_2 = temps exprimé en heures, comptées depuis l'absorption, correspondant à la fin de la période d'échantillonnage urinaire.

La quantité incorporée à l'origine peut être déduite de l'équation suivante qui donne la quantité excrétée dans les urines pendant la période de temps considérée :

$$U = Y_u \times D$$

U = quantité excrétée pendant la période b_1 à b_2

Y_u = taux moyen d'excrétion pendant la période b_1 à b_2

D = quantité incorporée à l'origine

soit
$$D = \frac{U}{0,686 (b_1^{-0,50} - b_2^{-0,50})} \quad (3)$$

D et U doivent être exprimés dans les mêmes unités.

La quantité restant dans l'organisme au jour j de l'examen peut être appréciée d'après l'équation de FISH [2].

$$Q_r = U \times 3j^{1,3} \quad (4)$$

U = excrétion urinaire de la journée du jour de l'examen

j = temps de l'examen exprimé en jours comptés depuis l'absorption

Q_r et U sont exprimés dans les mêmes unités.

IV - LIMITES A L'EXCRÉTION URINAIRE APRÈS UNE INHALATION UNIQUE DE COMPOSÉS SOLUBLES D'URANIUM NATUREL

D'après le décret du 20 juin 1966, la quantité maximale pouvant être inhalée en une seule fois, lorsqu'il s'agit de composés solubles, ne doit pas dépasser 2,5 mg d'Uranium. De ces 2,5 mg, il n'en est retenu que 25 % au niveau du poumon, soit 625 microgrammes.

Sachant qu'il s'en élimine 70 % dans les urines au cours des premières 24 h, on pourra donc retrouver dans ces mêmes urines 438 microgrammes, c'est-à-dire environ 310 microgrammes par litre d'urine.

On peut donc considérer cette excrétion comme correspondant à une inhalation respectant les normes professionnelles.

V - ÉTUDE DÉTAILLÉE DE QUELQUES CAS INDIVIDUELS

V.1. PERSONNEL DIRECTEMENT EXPOSÉ AYANT SUBI UNE CONTAMINATION INTERNE

V.1.1. Résultats des prélèvements immédiats.

TABLEAU II

Résultat en microgrammes d'uranium par litre d'urine	Nombre de prélèvements ayant ces valeurs
0 à 10	50
10 à 50	28
50 à 100	15
100 à 200	9
200 à 300	0
300 à 400	0
400 à 500	1
500 à 600	1
600 à 700	2
Supérieur à 1 000	3 { 1 030 microgrammes 1 211 — 1 750 —

Ces prélèvements avaient pour but de se faire une idée de l'importance de l'incident sans que l'on soit obligé d'attendre les urines des 24 heures.

Ils donnaient une indication de l'importance de la contamination, mais ils ne permettaient pas d'en apprécier le niveau individuel.

Pour cela il était nécessaire de connaître les éliminations au cours des 24 heures suivant l'incident.

V.1.2. Résultats des urines des premières 24 heures.

TABLEAU III

Résultat en microgrammes d'uranium pour les urines des 24 h	Nombre de prélèvements ayant ces valeurs
0 à 10	44
10 à 50	27
50 à 100	9
100 à 200	8
200 à 300	0
300 à 400	1
400 à 500	0
500 à 600	1 (596 microgrammes)

V.1.3. Etude des contaminations individuelles

Nous ne retiendrons que les contaminations les plus importantes.

TABLEAU IV

Sujet N°	Urines								
	Prélèv. immédiat à 17 h	Prélèv. urines 24 h après inhalation	Prélèv. fin du 1 ^{er} j. 16 h au 4 ^e j 6 h	Contrôle échan- tillon urines du 4 ^e j.	5 ^e	6 ^e	7 ^e	8 ^e	9 ^e
1	544		144	13					
2	1 211	129	66	45	13	10	5	5	
3	614	596	40	13		12	7	9	4
6	106	123				6			5
21	300	94	9	6	0		5	0	0
30	1 030	155	13	3	4	6	8		
72	3	104		12	3	2			
74	118	19	20	12		7		0	4
80	1 750	315	7	3		4	9	7	4
104	21	16	6	0					
111	100	93	19	7		4	5	0	5
115	630	116	5	0				3	

Les résultats sont exprimés en microgrammes :

- par litre d'urine pour le prélèvement immédiat et pour le contrôle du 4^e jour;
- pour la totalité des urines des 24 heures suivant l'inhalation, compte tenu de la diurèse;

2. PETITE PLACE — 78 VERSAILLES

Tél. 951-29-30

FICHE D'INFORMATION

ETALON SECONDAIRE DE DOSIMETRIE

- FARMER -

APPLICATION : DOSIMETRE CONÇU POUR LA MESURE PRECISE DES DOSES EMISES PAR LES TUBES A RAYONNEMENT X ET LES SOURCES RADIOACTIVES, AINSI QUE POUR L'ETALONNAGE DES APPAREILS DE DOSIMETRIE .

DESIGNATION**FARMER NE 2502 - NUCLEAR ENTERPRISES****FONCTIONNEMENT**

Le courant d'ionisation d'une chambre miniature charge une capacité reliée à la grille d'un tube électromètre. La tension d'entrée du tube électromètre augmente avec la charge de la capacité. A la fin du temps d'exposition, la tension d'entrée est compensée jusqu'à sa valeur initiale par application d'une contre tension dont la valeur est lue sur un voltmètre gradué en rads. Cette lecture indique directement la dose intégrée reçue par la chambre d'ionisation.

PRESENTATION

- Alimentation par piles
- Coffret bois verni avec couvercle amovible
- Dimensions : 28 cm × 28 cm - Hauteur hors tout : 24 cm

SPECIFICATIONS

(Avec la chambre d'ionisation standard 0,6 cm³)

- Gamme de mesure : 0 à 60 rads (sur demande tous multiples de 60 rads - maximum 1800 rads)
- Précision : 1 %

**CHAMBRE
D'IONISATION**

La chambre d'ionisation, avec capuchon en Perspex, est utilisée normalement pour le contrôle des tubes à rayonnement X : gradients, courbes isodoses et épaisseurs de demi-absorption. Le capuchon est destiné à la compensation de la réponse en fonction de l'énergie des rayonnements à mesurer.

Volume : 0,6 cm³ - Diamètre utile : 0,7 cm - Longueur utile : 2,5 cm
Diamètre maximum de l'ensemble : 1,2 cm - Longueur de l'ensemble : 13,4 cm
Longueur du câble : 6 m - Epaisseur de la paroi du capuchon en Perspex : 0,46 cm

**ACCESSOIRES
OPTIONNELS**

- Chambre 0,2 cm³ avec capuchon Perspex
- Autres modèles de chambres spéciales
- Capuchon Latex pour chambre 0,6 cm³, pour utilisation dans des liquides.
- Câble prolongateur
- Source radiologique de référence
- Fantôme à absorption.

En règle générale, l'élimination urinaire de l'uranium fut suivie le plus longtemps possible pour établir une courbe d'excrétion individuelle, bien que ceci ne soit pas absolument indispensable pour définir le niveau individuel de contamination. Cela fut fait par prudence, dans le but réel de voir si pour certains individus ne se produiraient pas une accumulation initiale anormale, puis secondairement une décharge risquant d'entraîner une lésion rénale.

Les résultats les plus élevés et les plus caractéristiques sont présentés sous forme de tableau (*cf.* Tableau IV), en ne retenant pas les agents pour lesquels il était manifeste que l'absorption d'uranium était négligeable et que, compte tenu des quantités éliminées et de l'allure générale de la courbe d'excrétion, aucune suite fâcheuse n'était à redouter. On retint ainsi 12 personnes. Pour chacune, furent déterminées les quantités théoriques inhalées, puis retenues au niveau des poumons.

0 ^e	11 ^e	12 ^e	13 ^e	14 ^e	15 ^e	16 ^e	17 ^e	18 ^e	19 ^e	20 ^e	21 ^e	22 ^e	Selle des 72 h suivant inhalation
4 4 0	4 0 0	6 2,5 0	6 2	5	4	3		3					375 125
3 5	5 5	5	4,7	1,7	0	5	4		3		4	6	13 92
4	5	0	0	3	4	1	4,7		4				500 62
													166

— pour la totalité des urines apportées au laboratoire correspondant à la fin du 1^{er} jour 16 h au 4^e jour 6 h et pour les examens du 5^e au 22^e jour compte tenu des volumes fournis;

— pour la totalité des selles fournies au laboratoire.

5.1.3.1. *Valeurs déduites des examens des selles des 48 à 72 heures suivant l'inhalation*

En raison de la faible absorption de l'uranium par le tractus gastro-intestinal, on peut considérer que la quantité retrouvée dans les selles équivaut d'une part à 50 % de la quantité inhalée et d'autre part à 2 fois la quantité retenue au niveau des poumons après les processus initiaux d'épuration.

On peut donc en déduire le tableau ci-dessous :

TABLEAU V

N° du sujet	Microgrammes d'uranium pour la totalité des selles apportées au laboratoire	Quantité inhalée	D_1 quantité retenue à l'origine
		supposées, exprimées en microgrammes, déduites des résultats des selles	
2	375	750	187
3	125	250	63
30	13	26	7
72	92	184	46
80	500	1 000	250
104	62	124	31
115	166	232	83

5.1.3.2. *Valeurs déduites des examens des urines des 24 heures suivant l'inhalation*

En considérant qu'il s'excrète, dans les urines des premières 24 heures suivant une inhalation de composés d'uranium dits solubles, 70 % de la quantité retenue au niveau des poumons après les processus initiaux d'épuration, on peut dresser le tableau suivant :

TABLEAU VI

N° du sujet	Excrétion des premières 24 heures (en microgrammes par 24 h)	Quantité inhalée	D_2 quantité retenue à l'origine
		supposées, exprimées en microgrammes d'après les résultats des premières 24 heures	
1	N'a pas fourni de prélèvement		
2	129	740	185
3	596	3 400	850
6	123	704	176
21	94	536	134
30	155	884	221
72	104	596	149
74	19	108	27
80	315	1 800	450
104	16	92	23
111	93	532	133
115	116	664	166

5.1.3.3. *Valeurs déduites des examens des urines des jours suivant les premières 24 heures*

Ces examens permettent d'apprécier d'une part la quantité retenue initialement d'après l'équation (3), d'autre part la quantité restant dans l'organisme au jour de l'examen d'après l'équation (4).

Deux remarques s'imposent pour ce type de prélèvements. En premier lieu, il faut noter qu'ils ne purent être fractionnés, comme nous l'aurions désiré, sur des périodes de 24 heures; en réalité, pour des raisons matérielles, les urines du 1^{er} jour à 16 heures au 4^e jour à 6 heures, durent être recueillies dans le même flacon.

En second lieu, pour faire une interprétation valable de ce type d'examen, il est nécessaire d'utiliser les résultats sûrs du point de vue analyse, c'est-à-dire des résultats supérieurs à 7 microgrammes.

Pour cette raison, il faut éliminer :

- des prélèvements du 1^{er} au 4^e jour, les sujets n^{os} 6, 21, 72, 80, 104, 115;
 - pour la 5^e journée, les sujets n^{os} 1, 3, 6, 21, 30, 72, 74, 80, 104, 111 et 115;
 - pour la 6^e journée, les sujets n^{os} 1, 6, 21, 30, 72, 74, 80, 104, 111 et 115,
- qui n'ont pas fourni de prélèvements urinaires ou bien qui ont excrété de l'uranium en quantité insuffisante pour obtenir un dosage valable.

Ces remarques préliminaires étant faites, on peut établir le tableau VII qui résume les résultats que l'on obtient à partir des urines des jours suivant les premières 24 heures.

V.1.4. *Comparaison des résultats*

Trois valeurs furent appréciées pour chaque individu : quantité inhalée, quantité retenue après les processus initiaux d'épuration, quantité restant dans l'organisme le jour de l'examen.

Elles sont présentées dans le tableau VIII. Une première observation peut être faite : des prélèvements sont incomplets.

5.1.4.1. *Prélèvements incomplets*

Sur la vue de tous les résultats pour le même individu, on peut constater que les sujets n^{os} 3 et 30 n'ont pas probablement respecté la consigne de prélever la totalité des selles des 72 heures suivant l'inhalation, ou bien leur transit intestinal était perturbé (constipation ou diarrhée). Ainsi, en voulant analyser la totalité des selles des 72 heures suivant l'inhalation, on ne dispose en fait que de prélèvements soit incomplets par manque de coopération du patient, soit non représentatifs du transit intestinal.

Pour ces diverses raisons, les résultats trouvés dans les selles ne recoupent pas toujours les résultats des urines.

5.1.4.2. *Comparaison des différentes valeurs obtenues*

Pour les sujets n^{os} 2, 72, 80, 104, 115, les quantités inhalées et les quantités retenues initialement après les processus initiaux d'épuration calculées d'une part à l'aide des examens des selles et d'autre part à partir des prélèvements des urines des premières 24 heures sont voisines à un facteur 2 près (sujets 80 et 115), à un facteur 3 près (sujet 72) et identiques (sujets 2 et 104).

TABLEAU VII

Sujet N°	Excrétion du 1 ^{er} j. à 16 h au 4 ^e à 6 h	D_3 calculée	Q_r du 2 ^e j. à 16 h	Excrétion du 5 ^e j.	D_4 calculée		Q_r calculée		Excrétion du 6 ^e j.	D_6 calculée	Q_r calculée
		d'après les résultats du 1 ^{er} au 4 ^e j exprimés en microgrammes			d'après les résultats du 5 ^e j. exprimés en microgrammes		d'après les résultats du 6 ^e j. exprimés en microgrammes				
1	144	2 180	1 058		pas de prélèvement						
2	66	1 000	485	13		1 770		312	10	182	300
3	40	606	294		pas de prélèvement						
30	13	197	96		pas de prélèvement				12	940	144 *
											
74	20	303	147		pas de prélèvement						
111	19	287	140		pas de prélèvement						

* D'après le dépouillement statistique effectué (cf. § 6), ce prélèvement semble correspondre à une période de 48 h, et ici il est donc considéré comme tel.

TABLEAU VIII

N° du sujet	Quantité inhalée		Charge corporelle à l'origine					Quantité restant dans l'organisme		
	à partir des selles	à partir des urines des 24 h	D_1 à partir des selles	D_2 à partir des urines des 24 h	D_3 à partir des urines du 1 ^{er} au 4 ^e j.	D_4 à partir des urines du 5 ^e j.	D_5 à partir des urines du 6 ^e j.	2 ^e j. 16 h à partir des urines du 1 ^{er} au 4 ^e j.	5 ^e j. à partir des urines du 5 ^e j.	6 ^e j. à partir des urines du 6 ^e j.
1	750	740	187	185	2 180			1 058		
2	250	3 400	63	850	1 000	1 770	1 820	485	312	300
3		704		176	606		940	294		144
6		536		134						
21		884		221	197					
30	26	596	7	149				96		
72	184	108	46	27	303			147		
74		1 800		450						
80	1 000	92	250	23						
104	124	532	31	133	287			140		
111		664		166						
115	232		83							

— Pour les *sujets* nos 1, 6, 21, 80, 104, 115, il n'est pas possible d'effectuer des comparaisons entre les résultats calculés à partir des urines des premières 24 heures et ceux obtenus à partir des urines des jours suivant les premières 24 heures (un seul prélèvement d'urine).

— Pour le *sujet* no 2, on obtient 3 groupes de résultats : D_1 (obtenu à partir des selles) et D_2 (à partir des urines des premières 24 h), respectivement 187 et 185 microgrammes; D_3 (obtenu à partir des urines du 1^{er} au 4^e jour) correspondant à 1 000 microgrammes; D_4 (à partir des urines de 5^e jour) et D_5 (à partir des urines du 6^e jour) respectivement 1 770 et 1 820 microgrammes. Il est probable que des prélèvements soient incomplets pour cet individu. Par prudence nous ne retiendrons que les résultats les plus péjoratifs (D_4 et D_5) pour interpréter ultérieurement la contamination de cet agent.

— Pour le *sujet* no 3, les résultats obtenus pour D à partir des urines sont assez homogènes : 850, à partir des urines des premières 24 h; 606 et 940 à partir respectivement des urines du 4^e et du 6^e jours.

— Pour le *sujet* no 30, les quantités retenues initialement sont très homogènes à partir des urines : 221 microgrammes (urines des premières 24 heures) et 197 microgrammes (urines du 1^{er} au 4^e jour).

— Le *sujet* no 74 a deux résultats très discordants concernant les quantités retenues initialement : 27 microgrammes (à partir des urines des premières 24 heures) et 303 microgrammes (à partir des urines du 1^{er} au 4^e jour). Ceci tient au fait que cet agent n'a certainement pas respecté les consignes et n'a pas uriné en totalité dans le récipient qui lui avait été confié.

L'ensemble de ces résultats peut être considéré comme satisfaisant compte tenu du fait que nous opérons sur des *prélèvements biologiques*, ce qui sous-entend des variations individuelles physiologiques ou pathologiques dans le mode d'excrétion, et des conditions de prélèvement différentes d'un sujet à un autre sans qu'il soit possible de vérifier la bonne observation des consignes du recueil de la totalité des excréta, et d'autre part suffisant pour ces individus, étant donné que ce qui est nécessaire en définitive est de savoir si un sujet a dépassé ou non les normes professionnelles.

V.1.5. *Interprétation des résultats*

La limite maximale admissible d'absorption pour l'uranium naturel sous forme de composés solubles est 625 microgrammes.

Ainsi, d'un point de vue théorique, tous les sujets qui ont une charge corporelle initiale calculée supérieure à cette valeur ont donc absorbé de l'uranium de façon anormale et dépassant les normes professionnelles, ce qui est le cas pour trois personnes (nos 1, 2, 3).

Les sujets 1 et 2 présentèrent les signes classiques d'irritation dus à l'acide fluorhydrique.

Le no 3 n'eut pas de manifestations cliniques très évidentes.

Le *sujet* no 1 (sur la vue d'un seul résultat : les urines du 1^{er} au 4^e jour) a dû retenir initialement environ 2 000 microgrammes d'uranium, soit environ 3 fois la quantité tolérée en une seule fois.

Le sujet n° 2 :

— si l'on considère son résultat à partir des urines du 1^{er} au 4^e jour, aurait retenu 1 000 microgrammes, soit 1,6 fois la quantité tolérée;

— si l'on considère les résultats correspondant aux urines du 5^e et du 6^e jours, la quantité retenue à l'origine aurait été d'environ 1 800 microgrammes, soit 3 fois la quantité tolérée absorbable en une seule fois.

Le sujet n° 3 (à partir des résultats des urines des premières 24 heures : 850 microgrammes et des urines du 6^e jour : 940 microgrammes, soit en moyenne 900 microgrammes) a dû absorber environ 1,4 fois la norme tolérée.

V.2. RÉSULTATS CONCERNANT LES AGENTS INDIRECTEMENT EXPOSÉS

Ces mesures furent effectuées sur un prélèvement de contrôle sans exiger la totalité des 24 heures.

Résultats en microgrammes d'uranium/litre d'urine	Nombre de prélèvements ayant ces valeurs
0 à 10	323
10 à 20	36
20 à 30	3
30 à 40	1
40 à 50	2

Ainsi, parmi ces 323 personnes un certain nombre avait incontestablement absorbé de l'uranium, mais leur contamination était malgré tout peu importante et restait dans les limites des normes professionnelles (70 sujets eurent un résultat positif dans les urines).

V.3. PERSONNEL AYANT EFFECTUÉ DES TRAVAUX OU AYANT PÉNÉTRÉ DANS LA ZONE CONTAMINÉE

Ces mesures furent effectuées sur des prélèvements de contrôle, sans exiger la totalité des 24 heures.

Résultats en microgrammes d'uranium/litre d'urine	Nombre de prélèvements ayant ces valeurs
0 à 10	1 211
10 à 50	72
50 à 100	8
100 à 200	0
200 à 300	0
300 à 400	0
400 à 500	1
	(425 microgrammes)

Comme on peut le voir, plusieurs examens successifs furent effectués pour ces 332 personnes.

Parmi tous ces examens, 14 dépassaient la limite maximale admissible pour les composés d'uranium soluble en excrétion continue (c'est-à-dire 70 microgrammes d'uranium par litre).

En fait pour un de ces résultats (425 microgrammes) il semble à la vue des prélèvements ultérieurs, que l'échantillon d'urines fourni au laboratoire, avait dû être contaminé lors du prélèvement.

En ce qui concerne les 13 autres résultats supérieurs à 70 microgrammes il s'avéra qu'ils représentaient pour chaque individu l'excrétion maximale et ne correspondaient pas à une excrétion continue supérieure à 70 microgrammes.

V.4. PERSONNES CHARGÉES DU NETTOYAGE

Ces mesures furent effectuées sur des prélèvements de contrôle sans exiger la totalité des 24 heures.

Résultats en microgrammes d'uranium/litre d'urine	Nombre de prélèvements ayant ces valeurs
0 à 10	157
10 à 50	8
50 à 100	0
100 à 200	1
	(113 microgrammes)

Un sujet élimina lors de son premier prélèvement de contrôle 113 microgrammes d'uranium par litre.

Les échantillons ultérieurs firent la preuve qu'il s'agissait d'une absorption unique, donc restant dans les normes, puisque inférieures à 310 microgrammes.

V.5. PERSONNEL AYANT EFFECTUÉ LA DÉCONTAMINATION DU MATÉRIEL

Résultats en microgrammes d'uranium/litre d'urine	Nombre de prélèvements ayant ces valeurs
0 à 10	309
10 à 50	17

Ainsi, pour ces agents, les 326 examens effectués durant toute la période de décontamination ne révélèrent jamais d'absorption importante et incompatible avec les normes professionnelles.

Ceci était logique étant donné que chaque décontamineur travaillait avec un masque autonome.

VI - ÉTUDE STATISTIQUE DES RÉSULTATS

Nous avons cherché à vérifier par dépouillement statistique l'exactitude de l'équation d'excrétion expérimentale (1) obtenue par BERNARD et STRUXNESS [1] chez des sujets cancéreux ayant subi des injections intra-veineuses d'uranium et qui a servi de base pour l'établissement des équations (2) et (3), donc à l'interprétation des excrétions urinaires.

Deux sujets seulement furent retenus comme semblant avoir le mieux respecté les consignes de prélèvements et ayant des taux d'excrétion suffisants. Ce sont les sujets n^{os} 3 et 111.

Le calcul permet d'établir les coefficients suivants :

$$\begin{aligned} \text{— Pour le sujet 3} & \dots\dots\dots \left\{ \begin{array}{l} a = 0,21 \\ b = 1,43 \end{array} \right. \\ \text{— Pour le sujet 111} & \dots\dots\dots \left\{ \begin{array}{l} a = 0,39 \\ b = 1,54 \end{array} \right. \end{aligned}$$

Ces résultats sont extrêmement proches des valeurs obtenues aux U.S.A. ($a = 0,343$ et $b = 1,50$).

VII - CONCLUSION

L'étude des résultats des examens effectués après cette inhalation d'UF₆ a permis une vérification très approchée de l'équation qui sert de base à l'interprétation de la contamination interne et de la norme d'excrétion urinaire après ce type d'absorption. Il faut noter l'importance du coefficient de sécurité qui a été utilisé lors de l'établissement des normes professionnelles, en particulier de la quantité maximale pouvant être inhalée en une seule fois pour ce type de composés.

En effet, aucune lésion organique, aucun phénomène d'intoxication, et aucune manifestation biologique, ne furent constatés chez ces individus. Ceci ne doit pas surprendre car il ne faut pas assimiler obligatoirement le dépassement des normes professionnelles à l'apparition d'un phénomène toxique étant donné justement l'importance de ce coefficient de sécurité.

Nous tenons à remercier très vivement M. CHIRAC Jean pour l'aide qu'il a bien voulu nous apporter lors du dépouillement statistique et du calcul des coefficients de l'équation expérimentale (cf. § 6).

BIBLIOGRAPHIE

- (1) BERNARD, S.R. and STRUXNESS, E.G. — A study of the distribution and excretion of uranium in man. ORNL 2304, 1957, June 18.
- (2) FISH, B.R. — Estimation of body burden and internal dose based upon urinary uranium. HASL 58.
- (3) CHALABREYSSE, J. — Toxicologie de l'uranium naturel; essais d'évaluation de la contamination interne chez l'homme. Rapport CEA, 1967, n° 3361.