

# **Suivi de l'arrêt de l'activité du CEA au Centre d'Etudes de Vaujours (CEV)**

## **RAPPORT DU GROUPE SANTE**

Etude menée entre mars 2001 et avril 2002

### **Rapporteurs :**

Docteur DEJOUR SALAMANCA D., DDASS 93

Docteur SALVIO C., DDASS 77

Docteur COUDURIER F., DRTEFP

### **Correspondants du CEA**

Docteur SCHOULZ D., CEA/DAM,

Docteur GIRAUD JM., CEA/Conseiller médical,

**Avec la participation du Département Santé-Travail**

**De l'Institut de Veille sanitaire (InVS) :**

Dr E. IMBERNON

J.L. MARCHAND

Juillet 2002



<b>I</b>	<b><u>INTRODUCTION – HISTORIQUE</u></b>	<b>1</b>
<b>II</b>	<b><u>OBJECTIF DE L'ETUDE</u></b>	<b>5</b>
	<b>A - Principal</b>	<b>5</b>
	<b>B – Hypothèse retenue</b>	<b>5</b>
<b>III</b>	<b><u>METHODE</u></b>	<b>6</b>
	<b>A – Répertorier les sources de données</b>	<b>6</b>
	<b>1 – Données provenant du CEA</b>	<b>6</b>
	<b>2 – Autres sources d'information</b>	<b>7</b>
	<b>B – Effectuer une recherche bibliographique et documentaire</b>	<b>7</b>
	<b>1 – Réaliser une étude des dangers</b>	<b>7</b>
	<b>2 – Rechercher les seuils réglementaires</b>	<b>7</b>
	<b>C – Analyser l'état de santé de la population des travailleurs</b>	<b>8</b>
	<b>D – Evaluer rétrospectivement les expositions et les risques</b>	<b>8</b>
	<b>E – Calendrier de travail</b>	<b>8</b>
<b>IV</b>	<b><u>LES DANGERS LIES A L'URANIUM</u></b>	<b>10</b>
	<b>A – L'uranium naturel</b>	<b>10</b>
	<b>B – L'uranium appauvri</b>	<b>10</b>
	<b>C – Cinétique de l'uranium dans l'organisme</b>	<b>11</b>
	<b>1 – Voie digestive</b>	<b>11</b>
	<b>2 – Voie respiratoire</b>	<b>11</b>
	<b>D – Effets sur la santé de l'uranium</b>	<b>12</b>
	<b>1 – Toxicité chimique : principaux effets</b>	<b>13</b>
	<b>a) – Chez l'animal</b>	<b>13</b>
	<b>b) – Chez l'homme</b>	<b>15</b>
	<b>2 – Radiotoxicité</b>	<b>16</b>
	<b>a) – Exposition externe</b>	<b>17</b>
	<b>b) – Exposition interne</b>	<b>17</b>
	<b>3 – Balance entre toxicité chimique et radiologique</b>	<b>18</b>
	<b>4 – les moyens théoriques de la surveillance des personnes exposées</b>	<b>19</b>

	<b>5 – L'exposition des populations aux Radiations Ionisantes</b>	<b>19</b>
	a) – Exposition générale aux RI	19
	b) – Exposition à l'uranium naturel	20
	c) – Exposition à l'uranium appauvri	20
	d) – Evaluation des niveaux d'exposition à l'U. appauvri	21
<b>V</b>	<b><u>RESULTATS</u></b>	<b>22</b>
	<b>A – Description des travailleurs du CEV</b>	<b>22</b>
	1 – Effectifs des travailleurs	22
	2 – Les modalités d'exposition des travailleurs de VAUJOURS	22
	<b>B – Données d'exposition sur VAUJOURS</b>	<b>25</b>
	1 – Quantités d'uranium utilisées	25
	2 – Résultats des mesures environnementales	25
	<b>C – La surveillance des travailleurs du CEV</b>	<b>25</b>
	1 – Réglementation	25
	2 – Description de la surveillance médicale	26
	a) – Les sources d'information consultées	26
	b) – Reconstitution de la surveillance médicale	27
	3 – Résultats issus de la surveillance médicale	30
	a) – Concernant les travailleurs exposés	30
	- dosimétrie externe	30
	- fluorimétrie urinaire	32
	- maladies professionnelles : tableau 6	37
	b) – Concernant l'ensemble du personnel	37
	- maladies professionnelles tous tableaux	38
	- Données de mortalité	39
	- Données agglomérées de la surveillance	40
<b>VI</b>	<b><u>DISCUSSION</u></b>	<b>41</b>
	<b>A – Le choix de la méthode</b>	<b>41</b>
	1 – L'hypothèse de départ	41
	2 – Les limites d'un tel choix	41
	<b>B – La nature et la qualité des données sanitaires</b>	<b>42</b>
	1 – La disponibilité des données est en soi un facteur limitant	42
	2 – Limites à l'interprétation de ces données	42
	- concernant les maladies professionnelles	42
	- concernant les données de mortalité	43

- concernant les données du monitoring biologique	43
<b>C – Quelles expositions pour les populations riveraines ?</b>	<b>43</b>
1 – Voie respiratoire	44
2 – Voie digestive	45
<b>D – Conséquences en terme de risque pour les riverains</b>	<b>45</b>
1 – Concernant l'exposition passée	45
2 – Concernant l'exposition actuelle	46
<b>E – Y-a-t-il des suites à donner ?</b>	<b>46</b>
<b>VII <u>CONCLUSIONS</u></b>	<b>47</b>
<b><u>ANNEXES</u></b>	<b>48</b>

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88  
89  
90  
91  
92  
93  
94  
95  
96  
97  
98  
99  
100

## I - INTRODUCTION – HISTORIQUE

Le Fort de VAUJOURS a été utilisé de 1957 à 1997 par le Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) pour des essais de détonique utilisant notamment de l'uranium naturel et de l'uranium appauvri. Le dossier déposé lors de la cessation de l'activité a mis en évidence une contamination résiduelle du site par des substances radioactives et pyrotechniques. Pour répondre aux préoccupations des élus locaux et des riverains des communes avoisinantes, une Commission Interdépartementale de Suivi, présidée par messieurs les préfets des départements de la Seine-Saint-Denis et de la Seine et Marne, a été créée le 25 janvier 2001. L'objectif principal de cette commission est de compléter, en toute transparence, le diagnostic de la contamination résiduelle des sols dans le cadre du complément à l'enquête publique. Cette commission comprend des représentants des communes, des associations de protection de l'environnement, les propriétaires du site, l'OPRI et des services de l'état (DDASS, Préfecture, DRIRE).

Elle a mis en place un groupe technique, sous la présidence du Pr. GUILLAUMONT, professeur à l'Université de Paris-Sud ORSAY, chargé de l'expertise radiologique et hydrogéologique du site. Ce groupe a désigné les sociétés SUBATECH et BURGEAP, pour compléter les connaissances sur la contamination résiduelle des sols et des nappes, respectivement dans les domaines radiologique et hydrogéologique.

De leur côté, les associations ont sollicité une co-expertise de la CRIIRAD.

Les représentants des communes, les associations et certains professionnels de santé ont fait part également de préoccupations d'ordre sanitaire :

- Les populations des communes de COUBRON, COUNTRY et VAUJOURS sont-elles susceptibles de présenter des effets sanitaires en lien avec l'activité exercée sur le site jusqu'en 1997 ou en lien avec une contamination environnementale résiduelle ?
- Une demande a été formulée de la part des associations pour obtenir des données relatives à la santé des travailleurs du site de Vaujours.
- A COUBRON, un professionnel de santé a signalé des cas des pathologies thyroïdiennes (nodules et cancers).

La commission de suivi a alors confié aux Directions Départementales des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS) des deux départements la gestion du volet sanitaire de ce dossier. Un groupe de travail « santé » a été créé pour apporter à la commission de suivi des éléments d'information complémentaires sur les conséquences potentielles de l'activité du site sur la santé des riverains. Ce groupe est constitué des représentants des services de l'Etat et du CEA. Les médecins inspecteurs de santé publique des deux DDASS ont souhaité associer à ce groupe un médecin inspecteur régional du travail, représentant de la Direction Régionale du Travail, de l'Emploi et de la Formation Professionnelle (DRTEFP Ile-de-France).

Le groupe est composé par :

- le Dr Carole SALVIO, médecin inspecteur de santé publique de la DDASS de Seine et Marne,
- le Dr Dominique SALAMANCA, médecin inspecteur de santé publique de la DDASS 93,
- le Dr COUDURIER, médecin inspecteur régional du Travail, de la DRTEFP Ile de France
- le Dr. SCHOULZ, assistant radioprotection à la Direction de la Qualité et de la Sécurité du CEA/DAM
- le Dr GIRAUD, conseiller médical du CEA.

Ce groupe a bénéficié de l'appui du Département Santé-Travail de l'Institut de Veille Sanitaire (InVS), qui a réalisé l'analyse des données de mortalité des travailleurs de Vaujours.

## **A - Quel danger<sup>1</sup> étudier ?**

Dans l'attente des résultats environnementaux commandités par le groupe technique, il a été acté, en commission plénière, que le groupe « santé » limiterait ses recherches aux risques pour la santé exclusivement liés à l'utilisation de l'uranium naturel et de l'uranium appauvri sur le site (cf compte-rendu de la commission de suivi du 25 mars 2001). Les effets recherchés ont donc été centrés sur ceux liés à la toxicité chimique et radiologique de l'uranium naturel et appauvri.

En ce qui concerne les interrogations exprimées sur les pathologies thyroïdiennes de COUBRON, le CEA a confirmé à plusieurs reprises qu'aucune réaction de fission nucléaire<sup>2</sup> n'avait eu lieu sur le site de Vaujours, information vérifiée par les analyses environnementales du groupe technique. Les données scientifiques relatives à la toxicité de l'uranium naturel et appauvri confirment l'absence d'affinité de cet élément pour la glande thyroïde. En l'état actuel des connaissances sur le site, il n'existe aucun argument affirmant la présence d'isotopes radioactifs présentant une toxicité thyroïdienne tels l'Iode<sup>131</sup>, ou le Technétium.

En conséquence, il convient de dissocier le problème des pathologies thyroïdiennes de celui concernant le groupe santé de cette commission. Ce point a également été acté en commission de suivi du mois de mars 2001.

En revanche, il a été proposé que la DDASS 93 se rapproche des professionnels de santé de la commune pour une analyse conjointe mais séparée du problème. L'augmentation de l'incidence des pathologies thyroïdiennes fait l'objet d'un travail national<sup>3</sup> mené conjointement par l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) et l'ex -I.P.S.N. à la demande de la Direction Générale de la Santé<sup>4</sup>.

## **B - Plan du document**

Après avoir exposé les objectifs (chapitre II) et la méthode utilisée pour élaborer ce travail (chapitre III), les dangers de l'uranium naturel et appauvri seront exposés au chapitre IV ; le chapitre V décrira ensuite les résultats de ce travail et le chapitre VI, une discussion qui s'attachera à analyser les limites et la validité de la méthode pour approcher les risques (passés et résiduels) pour la populations des riverains et proposera des recherches complémentaires le cas échéant. Enfin, ce travail s'achèvera par une conclusion.

---

<sup>1</sup> Le mot **danger** utilisé dans tout ce qui va suivre est défini de la façon suivante : il s'agit de la capacité intrinsèque d'un agent chimique, biologique ou physique à générer un dysfonctionnement cellulaire ou organique, ou un effet sanitaire indésirable tel qu'une maladie, un handicap, un traumatisme ou un décès.

<sup>2</sup> la doctrine française a toujours été de séparer physiquement sur des centres différents, explosifs et matières nucléaires ; le CEV n'a jamais été équipé pour pratiquer des fissions ou manipuler de la matière susceptible de fissionner.

<sup>3</sup> P. VERGER, L. CHERIE-CHALLINE « Evaluation des conséquences sanitaires de l'accident de Tchernobyl en France . Dispositif de surveillance épidémiologique, état des connaissances, évaluation des risques et perspectives ». IPSN – InVS Mai 2001

<sup>4</sup> L. LEENHARDT, P. GROSCLAUDE, L. CHERIE-CHALLINE et al « Mise en place d'un dispositif de surveillance épidémiologique nationale des cancers thyroïdiens » - InVS – Novembre 2001.

## II - OBJECTIFS DE CETTE ETUDE

En préambule, il faut souligner que les résultats de la démarche du groupe santé sont subordonnés à ceux des analyses environnementales diligentées par le groupe technique (études radiologiques et hydrogéologiques) qui préciseront la nature et l'ampleur des risques radiologiques et chimiques à documenter.

### A - Objectif principal :

Evaluer l'impact sanitaire sur la population riveraine d'une contamination potentielle par l'uranium liée aux activités du CEA sur le site de VAUJOURS, en se basant sur les informations disponibles.

### B - Hypothèse retenue :

Utiliser les données issues de la surveillance médicale des personnels de Vaujourns (1956-1997) comme un indicateur indirect des effets sur la santé d'une éventuelle exposition environnementale de la population autour du site.

Le facteur d'exposition alors étudié correspond au fait d'avoir travaillé sur le site, **indépendamment de celui d'avoir été spécifiquement exposé à l'uranium.**

En effet :

- si globalement les travailleurs ont été exposés, ils l'ont été à des concentrations plus élevées que la population des riverains, par inhalation ou par contact cutané (voies d'exposition) du fait d'une proximité géographique des zones de tirs ;
- la population des travailleurs est suivie sur le plan médical : il existe des données qui peuvent être utilisées, et en particulier celles concernant les données de mortalité de tous les travailleurs du Centre d'Etude de Vaujourns (CEV), données que le CEA a proposé d'extraire de la base élaborée pour une étude internationale de l'I.A.R.C.<sup>5</sup> sur les travailleurs du nucléaire et à laquelle le CEA participe.

---

<sup>5</sup> I.A.R.C. : International Agency for Research on Cancer ou CIRC en français pour Centre International de Recherche contre le Cancer

### III - METHODE

#### A - Répertoire des sources de données :

Dans un premier temps, le groupe santé a listé les différentes sources à consulter concernant les données de santé et de surveillance des travailleurs du site de Vaujourn. Un classement a été ensuite réalisé en fonction de la facilité d'accès à ces données. Les informations ont été sollicitées sous une forme agglomérée et entièrement anonyme (il n'a donc pas été nécessaire de solliciter une autorisation de la Commission Nationale Informatique et Liberté). Les archives du Service Médical du Travail (SMT) de VAUJOURS ont toutes été transférées à Bruyères-le-Chatel après la fermeture du site.

Ce travail préliminaire a servi de base à l'élaboration d'un cahier des charges (cf annexe 1). Ce cahier des charges, après validation par le CEA, a été exposé en Commission plénière de juin 2001 puis validé par la Commission de Suivi d'octobre 2001.

Les sources d'information sont les suivantes :

#### 1 - Données provenant du C.E.A. :

##### a) - Des données sanitaires, schématiquement classées en deux types :

- Des données de surveillance spécifiques concernant les travailleurs exposés à l'uranium naturel, l'uranium appauvri. et plus généralement aux Radiations Ionisantes (RI) (risque radiologique du personnel pendant la période d'activité, chez les personnes classées comme « exposées »). Dans cette rubrique, sont incluses les déclarations en maladies professionnelles du tableau 6 (pathologies en lien avec l'exposition aux RI).
- Des données de la surveillance médicale concernant l'ensemble des travailleurs à Vaujourn :
  - ✎ portant sur la fonction rénale essentiellement, à utiliser comme indicateur d'un éventuel risque chimique à l'uranium, lié au fait d'être présent sur le site.
  - ✎ les autres maladies professionnelles (hors tableau 6) avec les limites inhérentes à cette source de données.
  - ✎ Les données de mortalité de la cohorte des travailleurs du CEV ; ces données intègrent l'ensemble des risques correspondant à toute la période d'activité du CEV (jusqu'en 1994).

Les informations fournies par les médecins du CEA figurent à l'annexe 2.

##### b) - Des données complémentaires pouvant aider à évaluer rétrospectivement l'exposition :

- Quantitatives : sur les quantités d'uranium ou d'uranium appauvri utilisées sur le site par année.
- Qualitatives : résultats des mesures environnementales d'aérosols effectuées lors des tirs. Ces informations peuvent renseigner sur le volume des rejets environnementaux annuels et éventuellement mieux approcher rétrospectivement les expositions (sur un plan qualitatif : granulométrie, composition chimique des aérosols – et quantitatif : concentration en Uranium. par m<sup>3</sup> à proximité des tirs).

## 2 - Autres sources d'information :

- La CRAMIF (Caisse Régionale d'Assurance maladie de l'Ile-de-France) : pour les données relatives aux maladies professionnelles.
- l'O.P.R.I. : pour les données sur les accidents et incidents radiologiques (le CEA assurait le suivi des dosimètres de ses employés avec transmission des résultats à l'OPRI.), ainsi que pour le suivi des travailleurs des entreprises extérieures qui ont pu être amenés à pénétrer dans la zone du fort central.

## B - Effectuer une recherche bibliographique et documentaire :

### 1 - Réaliser une étude des dangers :

Cette étude préalable visait à documenter les effets sur la santé à rechercher parmi les employés du CEV puis, au sein des populations riveraines le cas échéant.

La recherche a été centrée sur la toxicité chimique et radiologique de l'uranium naturel et de l'uranium appauvri. Des recherches ont été réalisées dans les bases de données internationales suivantes :

- I.A.R.C. (ou Centre International de Recherche sur le Cancer) de l'OMS
- IRIS (Integrated Risk Information System) : de l'US-EPA (The United States Environmental Protection Agency, USA).
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) du Center for Diseases Control (C.D.C. d'Atlanta, USA)
- CHEMIDplus : bases de données de la « National Library » - United Kingdom (UK).

Ont été également consultés des documents spécifiques sur l'uranium élaborés par des experts internationaux de l'OMS<sup>6</sup> et la Commission Européenne<sup>7</sup> ainsi que des articles, ou documents de la littérature médicale (LANCET<sup>8</sup>, Revue d'Epidémiologie et de Santé Publique<sup>9</sup>, l'I.P.S.N<sup>10</sup>, Fulco et al, 2000<sup>11</sup>).

### 2 - Rechercher les seuils réglementaires applicables aux travailleurs :

Les références proviennent de la brochure n°1420 – Editions du Journal Officiel, Législation et Réglementation « Protection contre les rayonnements Ionisants » - Edition mise à jour au 31 août 2000.

<sup>6</sup> OMS/SDE/PHE/01.1 – « **Depleted Uranium : sources, exposure and Health effects** » - Department of Protection of The Human Environment, World Health Organisation, Geneva, April 2001 – 209 pages site [http://www.who.int/environmental\\_.../radiation/...](http://www.who.int/environmental_.../radiation/...)

<sup>7</sup> Commission Européenne – Direction Générale Environnement – unité C4 – Radio protection « **Avis du groupe d'experts établi conformément à l'article 31 du traité EURATOM – Uranium appauvri** » 6 mars 2001. Téléchargé sur INTERNET.

<sup>8</sup> PRIEST N.D. « Toxicity of Depleted Uranium » - The lancet – Vol. 357 – January 27, 2001

<sup>9</sup> En particulier, les 3 articles sur les rayonnements ionisants (Spira *et al*, Sugier *et al*, Cardis) publiés dans le Volume. 50 – janvier 2002, n°1. ainsi que l'article de GOLDBERG M, et D. LUCE « Les effets de sélection dans les cohortes épidémiologiques : nature, causes et conséquences » - Rev. Epidemiol Santé Publique, 2001 ; 49 : 477-492.

<sup>10</sup> AIGUEPERSE J., BOUVIER C. *et al* – « **Etat des connaissances sur les risques potentiels associés à l'uranium appauvri utilisé dans les armes** » - Rapport DPHD/2001-01 - Février 2001 – 25 pages.

<sup>11</sup> Fulco C. E., Liverman C.T., ans Sox H. C. (editors) (2000) : *Gulf War and Health*. Vol. 1. Depleted uranium, sarin, pyridostigmine, bromide, vaccines. National Academy Press, Washington DC. pp. 89-168. <http://books.nap.edu/catalog/9953.html>.

### **C - Analyser l'état de santé de la population des travailleurs**

Le groupe santé s'était réservé la possibilité de saisir des experts, le cas échéant. Une Saisine de l'Institut de Veille Sanitaire a été réalisée en octobre 2001 pour l'analyse des données de mortalité de la cohorte des travailleurs de Vaujours (voir copie des courriers en annexe 3). Le Département Santé Travail a été chargé de faire cette étude pour le groupe santé.

Les analyses ont consisté à comparer la mortalité des employés ayant travaillé au moins 1 an sur le site de VAUJOURS entre 1957 et 1994 à celle de la population générale dans le but de rechercher l'existence éventuelle d'un excès de mortalité (toutes causes confondues et par cancers) chez ces personnes.

### **D - Evaluer rétrospectivement les expositions et les risques**

A partir des données produites par le groupe technique, des informations fournies par le CEA sur les quantités d'uranium impliquées et des données bibliographiques, le groupe s'est proposé d'estimer rétrospectivement les expositions des travailleurs puis, par déduction des riverains. A partir des niveaux d'exposition des riverains, il est en effet possible d'estimer les niveaux de risque encourus par la population riveraine.

Les mesures de contamination résiduelle effectuées à l'extérieur du site intègrent l'ensemble des activités réalisées par le CEA sur la période étudiée. De fait, ces mesures objectives permettent à elles seules de connaître les niveaux d'exposition des populations et constituent le point de départ d'une évaluation des risques le cas échéant.

### **E - Calendrier du travail :**

De nombreuses réunions de travail ont été nécessaires. Un récapitulatif du calendrier des réunions du groupe médical est joint en annexe 4.

D'une façon générale, la recherche d'informations relatives à la période de fonctionnement du CEV, a constitué, pour toutes les institutions que nous avons sollicitées une difficulté objective. Il convient de souligner que :

- L'avancée des travaux a été grandement conditionnée par la capacité du CEA à fournir les données sollicitées (cf annexes 2 vs 1). Le calendrier initial n'a pas été respecté. Aussi, des résultats parcellaires ont été présentés, chaque fois que possible, en Commission Locale. A ce jour, le CEA n'a pas pu fournir toutes les informations sollicitées.
- La CRAMIF n'a pu fournir aucune donnée concernant les maladies professionnelles déclarées et reconnues (cf annexe 12).
- L'OPRI n'a pas été en mesure d'identifier formellement les résultats des personnels titulaires de Vaujours et des entreprises extérieures. Les raisons expliquant cette situation sont exposées dans la réponse de l'OPRI (cf annexe 12).

En dépit de ces limites, un rapport préliminaire a été remis à la DRIRE au milieu du mois de mai 2002 afin d'être distribué aux membres du groupe technique pour discussion.

Ce présent rapport intègre toutes les remarques qui ont été présentées au groupe santé par les différents partenaires soit dans leur intégralité soit au niveau de la discussion (chapitre VI)

lorsque le groupe santé ne souhaitait pas les reprendre à son compte. Dans un souci de transparence, les remarques écrites des associations de riverains ont été annexées dans ce rapport final (voir annexe 16).

## IV - LES DANGERS LIES A L'URANIUM NATUREL ET A L'URANIUM APPAUVRI

### A - L'Uranium naturel

Le numéro atomique de l'uranium est 92. C'est un métal de couleur blanc argenté, brillant, et très dense : environ  $19 \text{ g/cm}^3$ . Il est présent naturellement dans l'environnement : roches, sols, eau, mers et océans, air, plantes, animaux ainsi que dans les êtres humains. Il est considéré comme faiblement radioactif, dans sa forme naturelle<sup>12</sup>.

Celle-ci se présente comme un mélange de trois isotopes :

- $^{238}\text{U}$ , 99,27%, (période radioactive de 4 500 millions d'années), correspondant à 48,9% de la radioactivité.
- $^{235}\text{U}$ , 0,72%, (période radioactive de 710 millions d'années), correspondant à 2,2% de la radioactivité.
- $^{234}\text{U}$ , 0,0054%, (période radioactive de 244 000 années), correspondant à environ 48,9% de la radioactivité.

Sous forme de fines particules, l'uranium métallique est très pyrophorique<sup>13</sup> à température ambiante. La combustion de l'uranium produit un mélange d'oxydes d'uranium aux propriétés chimiques variées.

### B - L'uranium appauvri :

L'uranium appauvri se distingue de l'uranium naturel par une teneur plus faible en  $^{235}\text{U}$  et  $^{234}\text{U}$ . Classiquement sa composition est la suivante :

- $^{238}\text{U}$  : 99,8%
- $^{235}\text{U}$  : entre 0,6 et 0,2% de la masse (généralement 0,2%)
- $^{234}\text{U}$  : 0,003 à 0,01 % (il convient de signaler que l'OMS et l'IPSN situent se pourcentage à 0,0006 et 0,0008% respectivement<sup>14</sup>).

L'activité spécifique de l'uranium naturel est de 50 Bq/g et celle de l'uranium appauvri de 40 Bq/g.

Il existe deux grandes origines pour la fabrication de l'uranium appauvri :

- soit il s'agit d'un sous produit de l'enrichissement de l'uranium naturel pour l'industrie nucléaire
- soit il provient du retraitement des combustibles irradiés issus de cette même industrie. Dans ce cas, il contient des impuretés, sous la forme de traces d'autres isotopes radioactifs incorporés pendant le processus et en particulier de  $^{236}\text{U}$ , des traces de produits de fission et des transuraniens (plutonium, américium et neptunium.). « Ces traces entraînent une augmentation de dose de moins de 1%, ce qui est sans conséquence chimiotoxique ou radiotoxique »<sup>15</sup>.

Les utilisations de l'uranium appauvri résultent de ses propriétés mécaniques très intéressantes (densité élevée, grande résistance) et aussi de son faible coût.

<sup>12</sup> OMS (2001) et PRIEST (2001)

<sup>13</sup> Pyrophorique : se dit d'un composé qui s'enflamme spontanément à l'air.

<sup>14</sup> OMS, (2001) ; IPSN , (2001).

<sup>15</sup> OMS, (2001)

- Parmi les **utilisations civiles**, on trouve notamment la production de contrepoids pour les avions, les écrans de protection contre les radiations ionisantes dans les services de radiothérapie et les containers pour le transport des matières radioactives.
- Parmi les **utilisations militaires**, l'uranium rentre dans la constitution des blindages de chars d'assaut, de munitions antichar et de missiles.

Les uraniums naturel et appauvri sont des émetteurs de rayonnements  $\alpha$  et  $\beta$  avec une très faible quantité de radiations  $\gamma$  et X.

Sur le plan chimique, physique ou toxicologique, **l'uranium appauvri a les mêmes propriétés que l'uranium naturel** (avec une radioactivité restreinte à 60% pour une masse identique). Les connaissances relatives à l'uranium appauvri sont en partie déduites des études scientifiques concernant l'uranium naturel (maximisation du risque radiologique).

### **C - Cinétique de l'Uranium dans l'organisme.**

Schématiquement, le comportement de l'uranium dans l'organisme dépend de la voie d'exposition, du composé chimique de l'uranium (soluble ou insoluble) et de la taille des particules (par inhalation). Les deux grandes voies qui seront abordées sont la voie digestive et la voie respiratoire, la voie cutanée étant très marginale et considérée comme négligeable<sup>16</sup>.

#### **1 - Voie digestive**

Après ingestion, l'absorption de l'uranium (c'est à dire son passage dans le sang) au niveau du tube digestif est estimée généralement entre 1 à 2 % pour les formes solubles d'uranium. Pour les formes insolubles d'oxydes d'uranium, le taux d'absorption est de **0,2%** (selon la CIPR 78) de la dose ingérée. L'expérimentation chez l'animal a montré une influence de l'âge et de certaines carences alimentaires telles celle du fer comme des facteurs influençant l'absorption digestive.

#### **2 - Voie respiratoire**

D'après la CIPR 66 (1994), le dépôt dans l'appareil pulmonaire est fonction du diamètre aérodynamique des particules :

- Pour des particules de diamètre  $> 10 \mu\text{m}$  : le dépôt s'effectue dans les voies aériennes supérieures. Les particules sont ensuite éliminées en quelques heures.
- Pour des particules de diamètre égal à  $5 \mu\text{m}$  : 5% atteignent les alvéoles pulmonaires.
- Pour des particules de  $1 \mu\text{m}$  de diamètre : 11% atteignent les alvéoles pulmonaires.
- Les particules de diamètre égal à  $0,1 \mu\text{m}$  : 29% atteignent les alvéoles pulmonaires.

L'organisme dispose de moyens d'épuration :

- Les particules déposées dans la région nasale antérieure ne pénètrent pas dans l'organisme et sont rejetées en totalité.
- Les particules déposées dans l'oropharynx et au niveau du larynx sont dégluties. Elles se retrouvent dans le tractus digestif (taux d'absorption de 0,2 à 2%) et sont éliminées par les selles en quelques heures.
- Les particules déposées au niveau des bronches sont en partie captées (10%) par le système d'épuration mucociliaire qui les remonte le long de l'arbre bronchique jusqu'au carrefour aéro-digestif où elles sont également dégluties et rejoignent le tractus digestif pour être éliminés dans les selles.

<sup>16</sup> OMS (2001)

- Au niveau des bronchioles, seules 2% des particules rejoignent l'étage supérieur par le mécanisme mucociliaire. Les particules restantes ainsi que celles parvenues jusqu'au fond des alvéoles vont avoir un devenir différent selon leur solubilité.
    - Les composés solubles sont rapidement absorbés ; ils franchissent la barrière alvéolo-capillaire et passent dans le sang.
    - Les composés insolubles sont captés par les macrophages alvéolaires qui vont les concentrer en leur sein. Plusieurs mécanismes peuvent alors survenir :
      - soit le macrophage emprunte la voie mucociliaire pour rejoindre le tractus intestinal,
      - soit il gagne les vaisseaux lymphatiques où il sera stocké dans les ganglions,
      - soit le macrophage est détruit par l'uranium lui même (action toxique propre). Dans ce cas, le contenu de la cellule lysée est déversé dans les espaces intercellulaires où il peut exercer une action toxique sur les cellules environnantes.
- Dans les deux derniers cas, les particules d'uranium insolubles persistent dans le tissu pulmonaire ou les ganglions lymphatiques.

Une fois passé dans le sang, le devenir de l'uranium est schématiquement le suivant :

- 40 à 60% sont excrétés très rapidement par les urines (en 24 heures<sup>17</sup>).
- 20 à 30% se fixent au niveau du rein puis sont éliminés progressivement.
- 15 à 20% se fixent sur le squelette (50% sont éliminés en 50 jours et 50% en 350j environ).

**Plus de 95% de l'uranium incorporé dans l'organisme par inhalation ou par ingestion ne sont pas absorbés mais éliminés par les selles.**<sup>18</sup>

L'absorption digestive de l'uranium est très faible (0,2% à 2% selon la forme)

5 à 15% des particules inhalées parviennent au niveau des alvéoles pulmonaires. Le composé inhalé sera d'autant plus toxique pour le rein qu'il passe facilement dans le sang (composé soluble). Il exercera une action d'autant plus longue sur le poumon et les ganglions lymphatiques qu'il est insoluble.

L'excrétion rénale est très rapide : 40 à 60% (voire 80%) de l'uranium arrivant dans le sang est éliminé en 12 heures

#### **D - Les effets sur la santé de l'uranium naturel et appauvri.**

D'une façon générale, il convient de dissocier deux types d'effet :

- les effets dits déterministes : il s'agit d'effets n'apparaissant qu'à partir d'une certaine dose administrée c'est à dire un seuil. En deçà de cette dose, le risque est considéré comme nul. Au delà du seuil, l'intensité de l'effet croît avec l'augmentation de la dose administrée.
- Les effets dits stochastiques (aléatoires) : ou encore effets sans seuil qui se définissent comme des effets susceptibles d'apparaître quelle que soit la dose reçue. La probabilité de survenue croît avec la dose, mais l'intensité de l'effet n'en dépend pas. Les effets

<sup>17</sup> IPSN, 2001

<sup>18</sup> WHO, 2001.

cancérogènes rentrent pour l'essentiel dans cette catégorie. Pour ces effets, il existe généralement une période de latence entre l'exposition et la survenue du cancer. Ces périodes de latence sont variables en fonction des cancers (minimum 2 ans pour les leucémies, de 5 à 10 ans pour les autres cancers, la période de latence peut atteindre 40 à 50 ans pour les cancers osseux par exemple).

Les effets de l'uranium naturel ou appauvri sur la santé sont complexes et varient selon la forme chimique du composé (taille et solubilité des particules), selon les voies d'exposition (inhalation, ingestion, contact cutané) et le niveau d'exposition. Les connaissances relatives à la toxicité proviennent de l'expérimentation animale et des données épidémiologiques (cohorte des travailleurs des mines d'uranium, suivi des cohortes de travailleurs de l'industrie de l'uranium).

L'uranium présente deux types de toxicité :

- Toxicité chimique,
- Toxicité radiologique, liée à la radioactivité émise.

## 1 - Toxicité chimique : principaux effets

### a) - Chez l'animal

#### - En exposition aiguë :

- Selon l'IPSN : la DL<sup>50</sup> (dose létale pour 50% de l'espèce étudiée) varie de 0,1mg d'U./kg pour le lapin à 20 mg d'U./kg pour la souris<sup>19</sup> (*voie d'exposition non précisée*). La létalité est due à une néphrite tubulaire aiguë.  
Les reins constituent la cible principale : lésions à type de nécroses accompagnées d'anomalies fonctionnelles telles que glycosurie, protéinurie, enzymurie, diminution de la filtration glomérulaire et augmentation de la créatinine et de l'urée sanguines.
- L'OMS fait référence à une DL<sup>50</sup> pour des doses de 114 à 136 mg d'U./kg pour des rats et des souris<sup>20</sup> (par *gavage* d'acétate de dihydrate d'uranyle). Cette donnée confirme la faible absorption intestinale.

#### - En exposition chronique (supérieure à 1 an) :

##### *Par inhalation :*

- Sur le poumon : lors des études dans lesquelles l'exposition est supérieure à un an, avec différentes espèces animales et différents composés d'uranium, aucun changement pulmonaire n'a été observé à des concentrations variant de 0,05 à 10 mg d'U/m<sup>3</sup>. Pour des expositions plus longues (1 à 5 ans) de dioxyde d'uranium à la dose de 5 mg d'U/m<sup>3</sup> aucune lésion histologique n'a été mise en évidence chez les animaux testés. Le suivi à plus long terme des animaux a montré le développement d'une légère fibrose interstitielle et vasculaire, interprété comme relevant plus de la radiotoxicité que de la toxicité

<sup>19</sup> IPSN – rapport DPHD/2001-01- Il n'est pas précisé de références bibliographiques ni les voies d'administration empruntées pour ces expérimentations ni la nature chimique de l'uranium impliqué. Il est probable qu'il s'agisse d'injection intraveineuse de composé soluble d'uranium. (Galle .P, « toxiques nucléaires », chapitre VIII, uranium, 1997)

<sup>20</sup> OMS, 2001.

chimique de l'uranium. La toxicité chimique pulmonaire de l'uranium n'est pas très décrite. On peut en revanche penser qu'il s'agit d'une pathologie "mécanique" de type pneumoconiose par empoûssièremment.

- Effets rénaux : une exposition intermédiaire et chronique, dans différentes espèces, produit des effets sur le rein qui sont fonction de la dose et du composé utilisé. Les lésions observées peuvent aller des altérations histologiques minimales jusqu'à la nécrose tubulaire.

*Par ingestion :*

- Effets rénaux : ceux-ci varient selon la dose administrée et la sensibilité des espèces. A titre d'exemple, sur la souris, les données expérimentales (Ortega et al, 1989) montrent :
  - Sur les paramètres urinaires : Pas de modification des paramètres urinaires pour une administration orale d'acétate d'uranyle (forme soluble), pour une quantité allant de 0 à 8,9 mg/kg/j pendant 64 jours.
  - Pour les paramètres sanguins : augmentation de la glycémie à partir de 4 mg/kg/j, augmentation des protéines totales à partir de 2 mg/kg/j, augmentation du nombre de globules rouges, de l'hématocrite et de l'hémoglobine à partir de 16 mg/kg/j. Par contre l'auteur ne retrouve pas de modification de l'urée, de la créatinine et de l'albumine pour toute la gamme de doses étudiée.
- Sur le système nerveux central (SNC)<sup>21</sup> : l'uranium est neurotoxique pour le lapin à forte dose (1,7 à 3,6 grammes de nitrate d'uranyl en 3 à 5 mois).
- Sur le système reproducteur (souris)<sup>22</sup> : des modifications histologiques n'apparaissent sur la fonction testiculaire et la spermatogenèse que pour des doses très importantes (80 mg/kg/j pendant 64 jours). L'OMS signale une diminution de la fertilité.
- Effets tératogènes<sup>23</sup> : pour des femelles souris contaminées par ingestion durant toute la gestation à des doses de 25 à 50 mg/kg/j, ont été observées des malformations et une toxicité fœtale à type de diminution du poids et de la taille du fœtus. Aucun effet n'a été observé pour des concentrations inférieures à 5 mg/kg j. Une mortalité embryonnaire a été constatée pour une dose de 25 mg/kg j. Par contre, Domingo et al, (1989) n'ont pas observé de létalité embryonnaire pour des doses inférieures à 28 mg/kg/j.
- Cancérogénèse : des cancers de l'os ont pu être induits expérimentalement par injection ou inhalation de composés solubles<sup>24</sup>. Il convient de préciser qu'il s'agit d'uranium 232 qui a une activité spécifique de  $8,15 \cdot 10^{11}$  Bq/g (à comparer à celle de l'uranium 238,  $1,25 \cdot 10^4$  Bq/g). Cet effet a été observé après injection de 370000 Bq chez la souris (Galle, 1997). Il n'a cependant pas été observé d'effet cancérogène par ingestion de composés solubles ou insolubles d'uranium naturel (Wrenn et al, 1994).

---

<sup>21</sup> IPSN, 2001.

<sup>22</sup> OMS, 2001

<sup>23</sup> IPSN, 2001

<sup>24</sup> OMS, 2001

b) Chez l'homme<sup>25</sup> :

- Par inhalation :

- Affections respiratoires chroniques non cancéreuses : il est plausible que les poussières d'uranium inhalées peuvent être responsables d'une augmentation de l'incidence et la mortalité pour des affections respiratoires chroniques non cancéreuses. Fulco et al, 2000, révisant les études existantes ne relèvent pas cependant pas d'augmentation de ce risque.
- Toxicité rénale : différentes études épidémiologiques n'ont pas montré d'excès de mortalité due à des pathologies rénales parmi les mineurs de l'uranium. Des travailleurs exposés accidentellement à des doses élevées d'uranium et suivis pendant plusieurs décennies n'auraient pas soufferts de dommages rénaux. D'autres travailleurs exposés accidentellement auraient présentés des anomalies de la fonction rénale à type de protéinurie modérée.

L'OMS signale une étude récente (Dupree-Ellis *et al*, 2000) qui aurait trouvé une augmentation significative de la mortalité par néphropathies chroniques parmi une cohorte de 2.514 travailleurs de l'uranium (fondés sur un effectif de 6 décès). Il convient de signaler que les informations relatives à la morbidité (« personnes malades») sont beaucoup plus rares que celles concernant la mortalité (« personnes décédées »).

- Par ingestion :

- Toxicité rénale : Là encore les études sont peu nombreuses et leur puissance statistique souvent insuffisante pour conclure. Fulco et al (2000) présentent 7 études s'étalant de 1981 à 1999. Parmi elles, deux études portant sur un grand nombre de travailleurs (18.900 travailleurs dans l'étude de Polednak et Frome 1981 et 28.000 dans celle de Frome et al de 1990 ne retrouvent pas d'augmentation de la mortalité pour affections rénales non cancéreuses (SMR<sup>26</sup> à 77 - IC 95% [45-109] dans le premier cas et 99 - IC 95% [71-126] dans le second).

Cependant, la mortalité ne constitue pas nécessairement le meilleur indicateur de santé pour refléter la toxicité rénale éventuelle de l'uranium. D'après la revue de la littérature effectuée par l'OMS, 2 études auraient signalé une augmentation des cas de néphropathies chroniques ainsi que des cas de cancer du rein dans une cohorte de 2.514 travailleurs (résultats non significatifs, sur un petit nombre de cas).

Fulco *et al*, 2000 pour leur part concluent que, s'il est certain que l'uranium est un métal lourd présentant une toxicité rénale, les données expérimentales et épidémiologiques indiquent peu d'effets, voire l'absence d'effets sur la fonction rénale.

---

<sup>25</sup> *ibid*

<sup>26</sup> **SMR** : Standardized Mortality Ratios ou Ratio Standardisé de Mortalité est utilisé pour comparer la mortalité d'une population à celle d'une population de référence. Un SMR égal à 100 signifie que la population étudiée possède la même mortalité que la population de référence. Un SMR inférieur à 100 signifie que la population étudiée présente une mortalité inférieure à celle de la population de référence. A l'inverse, un SMR supérieur à 100 signifie qu'il existe un excès de mortalité dans la population étudiée par rapport à la population de référence. **IC 95%** [ ; ] : Intervalle de Confiance à 95%. ce qui signifie : il y a 95 % de chances pour que le résultat se situe dans la fourchette des valeurs indiquées entre crochets.

Par ailleurs, l'exposition accidentelle à des doses importantes d'un travailleur aurait montré des troubles de la fonction rénale, ces troubles étant rapidement réversibles. Parmi les troubles urinaires observés, une corrélation aurait été retrouvée entre l'augmentation du glucose, des phosphatases alcalines et de la  $\beta_2$ microglobuline - mais pas de l'urée et de la créatinine - et l'exposition à l'uranium (entre 1  $\mu\text{g}$  et 781  $\mu\text{g}$  d'U./j. - Zamora *et al*<sup>27</sup>).

L'étude des paramètres rénaux pour suivre ou rechercher une éventuelle contamination à faible niveau par l'uranium ne semble pas un indicateur pertinent (en terme de sensibilité et de spécificité).

#### - Par incorporation de fragments sous cutanés

- Le suivi de plusieurs années d'une cohorte de vétérans de la guerre du golfe présentant des fragments d'uranium insérés dans les tissus, n'aurait pas montré d'altération de la fonction rénale en dépit d'une excrétion urinaire d'uranium parfois supérieure à 30,7  $\mu\text{g}$  d'U / g de créatinine<sup>28</sup>.
- Le Centre International de Recherche pour le Cancer (CIRC = IARC) propose une classe III (« Non classable ») pour une exposition à des fragments d'uranium dans les tissus.

**En résumé :** d'après ces études, les effets de la toxicité chimique rénale de l'uranium s'observent lors d'exposition aiguë et à fortes doses ; en revanche, lors d'exposition chronique et à faible doses, on n'observe peu ou pas de perturbation fonctionnelle rénale.

Dès 1959, la CIPR (2) a fixé le seuil de toxicité rénale à 3  $\mu\text{g}$ /gramme de rein. Cette valeur longtemps admise, semble aujourd'hui contestée et devoir être ramenée à 1  $\mu\text{g}$  d'uranium par gramme de rein.

## **2 - Radiotoxicité**

L'uranium naturel n'est pas classé comme cancérigène par le CIRC ni l'US-EPA. Toutefois les radionucléides émetteurs  $\alpha$  incorporés dans l'organisme ont été classés en groupe I (cancérigène certain pour l'homme) par le Centre International de Recherche sur le cancer. C'est pourquoi, dans ce travail, on ne peut exclure que les oxydes d'uranium inhalés sont potentiellement cancérigènes.

La radioactivité spécifique de l'uranium appauvri (UA) est faible (moins d'une particule  $\alpha$  est émise chaque minute dans 1  $\mu\text{g}$  d'UA<sup>29</sup>).

---

<sup>27</sup> Zamora *et al*, "Chronic ingestion of uranium in drinking water : a study of kidney bioeffect in human", *Toxicol. Sci*, 43(1), 68-77, 1998

<sup>28</sup> WHO, 2001

<sup>29</sup> IPSN, 2001

**a) Exposition externe :**

On considère généralement qu'elle se limite à des doses localisées à la peau lors de contacts physiques directs et résulte principalement des émissions  $\beta$  et  $\gamma$ . Les particules  $\alpha$  ne pénètrent pas dans les couches inférieures de l'épiderme. Les rares effets qui pourraient résulter d'une manipulation prolongée de l'uranium consistent en une rougeur de la peau et une chute des poils. Cependant, l'érythème ou d'autres effets cutanés ne semblent pas devoir se produire même au contact de l'uranium appauvri pendant une longue période (plusieurs semaines).

Les cancers cutanés ont très rarement été observés parmi 11 cohortes de travailleurs dans les mines d'uranium (en dépit d'une exposition concomitante à l'arsenic).

**b) - Exposition interne :**

C'est celle qui est susceptible d'exposer des tissus fixant l'uranium pendant de longues années (poumons, ganglions lymphatiques, os principalement).

Les connaissances actuelles reposent sur deux grands types d'étude :

- Les études concernant les travailleurs des mines d'uranium.
- Les études concernant les travailleurs du cycle du combustible (à usage civil et militaire).

Dans le premier cas, il existe une exposition forte et concomitante au radon, substance classée cancérigène certain.

Les secondes études permettent de mieux cerner l'effet propre de l'uranium, en dépit de la persistance de facteurs de confusion (cancérigènes connus et non contrôlés tels le tabac ou d'autres polluants). Les informations fournies par ces dernières sont cependant plus pertinentes pour la problématique qui s'applique à Vaujourns.

- Concernant les travailleurs des mines d'uranium : un excès de cancers du poumon est retrouvé de façon constante dans les études. Le risque est proportionnel à la dose reçue. Il est associé à l'exposition aux particules  $\alpha$  émises par le radon<sup>30</sup>. Ces mêmes études n'ont pas observées d'augmentation du risque de leucémie.
- Les travailleurs du cycle du combustible : les particules déposées au niveau des alvéoles pulmonaires irradient en premier lieu le poumon et les ganglions lymphatiques hilaires. En fonction de la solubilité des particules, les doses délivrées concernent également d'autres organes tels le foie, le rein et l'os.
  - Cancer du poumon : les résultats des études sont contradictoires. Certaines études montrent une légère augmentation des cancers (Etude Checkoway *et al*, 1988, sur 6.781 travailleurs – SMR = 136 IC 95% [109-167] et Frome *et al*, 1990, sur 28.000 travailleurs, SMR = 127 IC 95% [120 – 135])<sup>31</sup>. D'autres ne retrouvent pas d'augmentation significative.  
La nécessité de poursuivre le suivi de ces cohortes d'employés semble faire l'unanimité parmi la communauté scientifique avec une meilleure classification des expositions individuelles réelles et la prise en compte des facteurs de confusion (autres expositions, tabac en particulier).

<sup>30</sup> OMS, 2001.

<sup>31</sup> Fulco *et al* : « Gulf War and Health », Volume 1, chapitre 4, pp. 89-168.

- **Cancer du système lymphatique** : Le système lymphatique constitue une cible potentielle importante lors d'expositions chroniques par inhalation d'oxydes d'uranium insolubles. En raison de la moins grande fréquence de ce type de cancer, les études réalisées possèdent rarement la puissance nécessaire pour permettre de conclure. En 1973, Archer et al, sur une cohorte de 662 travailleurs ont observés 4 décès pour 1,02 cas attendus, soit un SMR de 392 – IC 95%[194 – 590]. Par contre, Poldnak and Frome en 1981, sur 18 869 travailleurs n'ont observé que 37 cas sur 64 cas attendus – SMR 61 [35 – 86] et Frome et al, en 1990, sur 28 000 travailleurs ont trouvé un SMR à 83 [54 – 112]<sup>32</sup>. Là encore, des résultats contradictoires confirment la difficulté de mettre en évidence, s'ils existent, des effets sur la santé pour des faibles doses d'exposition dans le cas de pathologies peu fréquentes.
- **Cancer de l'os** : c'est un cancer encore plus rare. Les études réalisées n'ont pas montré d'augmentation de survenue de cancers de l'os. Les études portant sur les plus grosses cohortes de travailleurs permettent d'affirmer que, s'il existe, le risque d'augmentation du cancer de l'os n'est pas très important.<sup>33</sup>

Le groupe d'experts de la Commission Européenne (point 43) estime qu'après inhalation d'uranium insoluble, le risque calculé de leucémie est de plusieurs ordres de grandeur inférieurs au risque d'induction du cancer du poumon.

#### **Conclusion sur les études épidémiologiques concernant le risque cancérigène :**

- L'uranium appauvri incorporé, comme tout émetteur  $\alpha$ , pourrait entraîner un risque radiologique (effet aléatoire, sans seuil de dose). Il n'est cependant pas classé comme cancérigène par les grandes agences internationales (CIRC, US-EPA).
- Dans le cas de l'uranium naturel et appauvri, l'association entre une exposition à l'uranium et l'augmentation des cas de cancers (poumon, système lymphatique et os) est très insuffisamment étayée, les études souffrant d'imprécisions tant dans la caractérisation des expositions que dans le contrôle de facteurs de confusion.

### **3 - Balance entre toxicité chimique et radiologique**

Concernant l'uranium appauvri, l'IPSN<sup>34</sup> a calculé la dose équivalente à la moelle osseuse correspondant à la quantité d'uranium à incorporer pour observer une toxicité rénale (3 $\mu$ g/g de rein). Cette dose à la moelle osseuse serait de 0,17 mSv en trois ans. L'IPSN conclut alors qu'avant qu'une personne exposée à l'uranium appauvri soit atteinte de leucémie, elle devrait présenter une pathologie rénale aiguë.

#### **Conclusion sur la dangerosité de l'uranium**

Les effets de l'uranium sur la santé résulte d'un double mécanisme : toxicité chimique et radiotoxicité. L'U, faiblement radioactif, est considéré avant tout comme un toxique chimique comme le sont la plupart des métaux lourds, le rein constituant alors la première cible.

<sup>32</sup> Fulco, 2000

<sup>33</sup> Fulco, 2000

<sup>34</sup> IPSN, 2001

#### 4 - Les moyens théoriques de la surveillance des personnes exposées à l'uranium naturel ou appauvri jusqu'en 1997.

Dans le cadre de la surveillance médicale des travailleurs, on distingue :

- des examens non spécifiques comme le bilan rénal et hépatique : à l'embauche ou lors de la prise de poste.

- Des examens spécifiques de radiotoxicologie, à savoir :

- La fluorimétrie urinaire : les résultats des dosages d'uranium dans les urines des 24 heures est l'examen le plus couramment utilisé pour la surveillance de l'exposition à l'uranium. Pratiquée sur les urines de 24 heures ou sur échantillon, cet examen possède une sensibilité suffisante pour détecter une exposition aiguë ou chronique dans le cadre d'une surveillance médicale systématique. La quantité d'uranium absorbée peut être déterminée par extrapolation si l'on connaît la nature de l'exposition (aiguë ou chronique) et la période où elle est survenue.
- La fluorimétrie des selles : cet examen permet de retrouver dans les selles les particules d'uranium qui ont été dégluties et qui sont en cours d'élimination (non absorbées par l'organisme). Ce dosage est soumis à la difficulté de réalisation de tout examen de cette nature (selles). Le prélèvement est moins facile que celui de l'urine. Son interprétation est plus difficile.
- La spectrométrie alpha (sur urine et selle) est une technique qui permet d'affiner la composition isotopique du composé uranium.
- L'anthroporadiométrie : c'est un examen préconisé pour la surveillance à l'exposition aux composés insolubles (S = Slow) ou moyennement solubles (M) et qui peut être complété par des examens fécaux semestriels. C'est un examen qui permet d'évaluer la contamination pulmonaire par l'uranium. Dans le cas de la surveillance de l'exposition à l'uranium naturel et appauvri, cet examen ne se révèle efficace qu'en cas de contamination pulmonaire importante (limite de détection 150 Bq soit 12 mg d'uranium naturel).

Cet examen est utilisé en surveillance systématique pour les expositions à l'uranium enrichi qui contient des quantités importantes d'uranium 235.

#### 5 - L'exposition des populations aux Rayonnements Ionisants

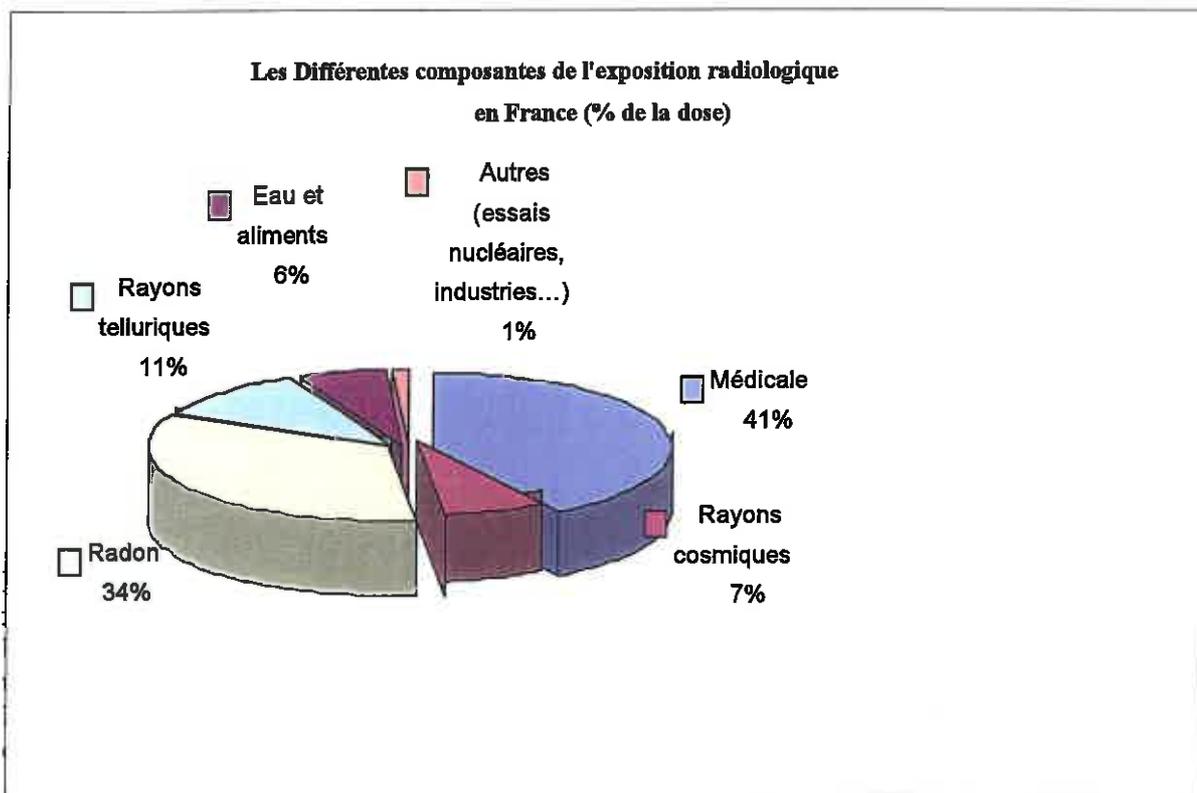
##### a) - Concernant l'exposition générale aux rayonnements ionisants

Le schéma présenté à la page suivante et tiré de la Revue d'Epidémiologie et de Santé Publique <sup>35</sup>, présente la répartition du niveau d'exposition de la population française par sources d'exposition.

L'exposition médicale représente 41% du total des expositions du public. A titre indicatif :

- une radiographie du thorax représente : 0,1 mSv
- un scanner abdominal : 2,6 mSv
- un scanner thoracique : 4,8 mSv.

<sup>35</sup> A. SUGIER et P. HUBERT « Dans le domaine des rayonnements ionisants, les données dosimétriques sont-elles suffisantes ? » présenté au 2<sup>ème</sup> colloque de la RESP – Rayonnements ionisants » - RESP, 2002 ; 50 : 13-26



*b) Concernant l'exposition à l'uranium naturel*

La principale voie d'exposition est alimentaire (eau et aliments), le voie respiratoire restant marginale. Elle peut être très variable selon les habitudes alimentaires et les régions. L'OMS<sup>36</sup> fournit les données suivantes :

- On trouve en moyenne 90 µg d'uranium dans le corps humain, 66% stockés dans le squelette, 16% dans le foie, 8% dans les reins et 10% dans les autres tissus.
- L'UNSCEAR<sup>37</sup>, en 2000, a estimé que le total d'apport annuel pour un adulte est de 460 µg par ingestion (eau et aliments) et de 0,59 µg par inhalation. A titre d'exemple, fumer 2 paquets de cigarette par jour expose à une inhalation supérieure à 50 ng (nanogramme soit  $10^{-9}$  gramme) d'uranium par jour.
- On rappelle que plus de 95% de l'uranium incorporé dans l'organisme par inhalation ou par ingestion n'est pas absorbé mais éliminé par les selles.<sup>38</sup>

*c) Concernant l'exposition à l'uranium appauvri*

L'exposition de la population générale à l'uranium appauvri survient à l'occasion de circonstances exceptionnelles comme le sont le crash de certains avions (pas tous) et l'utilisation de l'uranium appauvri dans un contexte de conflit militaire. L'exposition résulte de la production d'aérosols (lors de l'impact et l'incendie) ou par la remise en suspension des particules d'uranium déposées sur le sol.

<sup>36</sup>OMS, 2001

<sup>37</sup> UNSCEAR : Comité scientifique des Nations Unies pour l'Etude des Rayonnements Ionisants.

<sup>38</sup>OMS, 2001.

Pour la population générale, que ce soit pour les usages civiles comme militaires, les niveaux d'exposition à l'uranium se situent généralement très en dessous de ceux pour lesquels on observe des effets.

*d) Evaluation des niveaux d'exposition à l'uranium appauvri à travers 2 exemples :*

- Concernant le crash d'un avion, l'évaluation détaillée de la catastrophe de Bijlmer (Pays-Bas) en 1992 a abouti au calcul d'une dose pour les personnes proches de l'accident de 1  $\mu$  Sv<sup>39</sup>.

- Dans le cadre du conflit au Kosovo, l'avis du groupe d'experts<sup>40</sup> sollicités par la Commission Européenne évalue de 0,1 à 10  $\mu$ Sv la dose reçue pour un séjour de 2 heures dans une zone contaminée. Selon le scénario d'exposition majorant, la dose annuelle reçue par un civil aux environs immédiats de l'impact d'un projectile ou d'un tank serait de 1 mSv.

*e) Limites annuelles d'incorporation par inhalation pour atteindre les doses limites d'expositions des travailleurs et du public (de 20 et 1 mSv par an).*

Les Limites Annuelles d'Incorporation (LAI) **par inhalation** pour l'uranium naturel et l'uranium appauvri, en milligrammes, pour les travailleurs et le public adulte en général, et correspondant à la limite annuelle d'exposition de 20 mSv et 1mSv respectivement, sont fournies dans le tableau suivant :

Type chimique	Travailleurs (5 $\mu$ m, dose limite 20 mSv)		Public (1 $\mu$ m, dose limite 1 mSv)	
	U. nat. (en mg)	U.A. (en mg)	U. nat. (en mg)	U.A. (en mg)
Composés Solubles	1290	2270	75	133
Composés Intermédiaires	430	800	13	23
Composés Insolubles	130	230	4,5	8,1

Source : OMS, 2001, chapitre 10.

Toutefois, la limite de 20 mSv/an pour les travailleurs n'est pas encore inscrite en droit français, mais figure dans la directive européenne 96/29 du 13 mai 1996. Par contre, la limite de 1 mSv /an pour la population générale est inscrite en droit français par le décret 2002-460 du 04 avril 2002.

<sup>39</sup> Commission Européenne, Direction Générale Environnement « Avis du groupe d'experts établi conformément à l'article 31 du traité EURATOM – URANIUM APPAUUVRI » 6 mars 2001 – point (point 25)

<sup>40</sup> Commission Européenne, « Avis du groupe d'experts...– URANIUM APPAUUVRI » 6 mars 2001.(point 24)

## V - RESULTATS

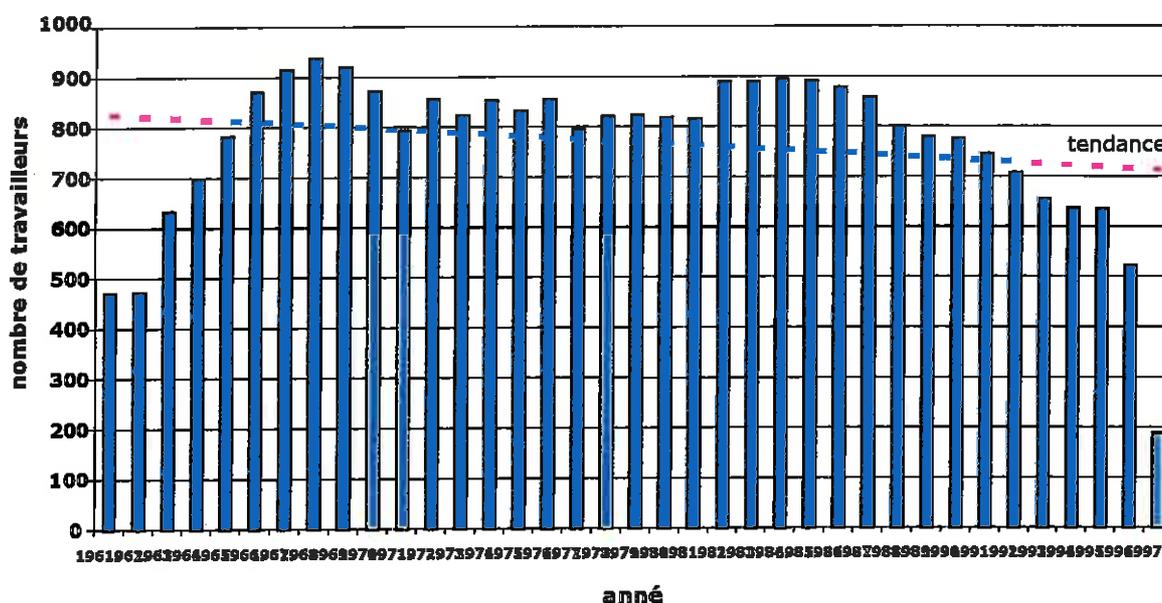
### A - Description des travailleurs du CEV

#### 1 - Les effectifs des travailleurs

Les effectifs globaux annuels des travailleurs du CEV qui nous ont été fournis par le CEA portent sur la période 1961-1997, les données antérieures n'étant plus disponibles.

Ils sont représentés dans le graphique ci-dessous.

Effectifs des travailleurs du CEV - 1961 à 1997



On observe une période de montée en charge entre 1961 et 1965 durant laquelle l'effectif va passer de 480 à environ 800 en 1965. L'effectif moyen se maintiendra autour de 800 travailleurs par an, entre 1965 et 1992. Ensuite, il diminue régulièrement jusqu'en 1997, année de l'abandon du site de Vaujours.

On ne dispose pas de la répartition des travailleurs par sexe, ni de leur classification au regard de l'exposition aux rayonnements ionisants ou à l'uranium.

#### 2 - Les différentes modalités d'exposition des travailleurs de Vaujours à l'uranium naturel et appauvri.

Vis à vis de l'exposition à l'uranium naturel et appauvri, on peut classer les agents de Vaujours en 3 catégories :

- les agents exposés au risque uranium : agents intervenants dans les zones de tirs ou qui effectuaient des manipulations avec production de poussières d'uranium (expérimentateurs). Ces agents bénéficiaient d'une surveillance début et fin de chantier (examens d'urines spécifiques) en plus de la surveillance systématique.

- Les agents potentiellement et faiblement exposés : ces agents pouvaient passer dans la 1<sup>ère</sup> catégorie en cas de besoin. Ils bénéficiaient d'une surveillance systématique (1 à 2 examens par an).
- Les agents non exposés : ils ne bénéficiaient pas d'une surveillance urinaire uranium.

Les modalités d'exposition à l'uranium des travailleurs de Vaujours s'effectuaient de différentes façons :

- Par une proximité physique avec les stocks de métal, source potentielle d'une irradiation externe. Les stocks d'uranium étaient situés en zone contrôlée, restreinte à la partie centrale du fort.
- Au cours des activités d'ajustement de pièces, productrice de copeaux<sup>41</sup> et de poussières susceptibles de se déposer sur les vêtements et sur les parties corporelles découvertes, ou d'être inhalées. Ces activités étaient réalisées en milieu humide (« arrosage abondant ») pour limiter les risques d'explosion et d'incendie. Ceci avait l'avantage de diminuer la production de poussières.

Selon le CEA : « ..l'usinage *en tant que tel* de l'uranium n'avait pas lieu à Vaujours. Les pièces en uranium usinées étaient livrées finies par une société spécialisée, la CERCA, sise à Bonneuil (94). Les quelques opérations qui ont pu avoir lieu étaient limitées à des ajustements de pièces et perçage ».

De plus, les travailleurs disposaient de moyens de protection : des gants en caoutchouc pour manipuler le métal et des vêtements de travail pour éviter de rapporter chez eux des poussières de métal. Cette activité était une source potentielle de contamination interne par inhalation.

- Lors des tirs, situations durant lesquelles des oxydes d'uranium étaient produits. Sur la période d'activité, 2000 tirs ont été effectués dont :
  - 800 tirs en casemate : le port du masque était recommandé. Un délai de 10 minutes après tir était conseillé, jusqu'à dissipation des fumées. Les déchets d'uranium étaient récupérés et stockés. La casemate était lavée et les eaux usées récupérées dans une cuve. « L'eau est analysée à B.III. Les résultats ne donnent à peu près rien »<sup>42</sup>.
  - 1.200 tirs à l'air libre : le procès verbal ne décrit pas les mesures de protection. Il signale « cinq à dix minutes après les tirs, les contrôles ne donnent rien ; les retombées au sol sont minimales. »<sup>43</sup>. Sur le terrain c'est la pluie qui élimine les traces d'uranium.

Selon les données techniques fournies par le CEA, six zones de tir (voir plan page suivante) ont été activées sur le site du fort central :

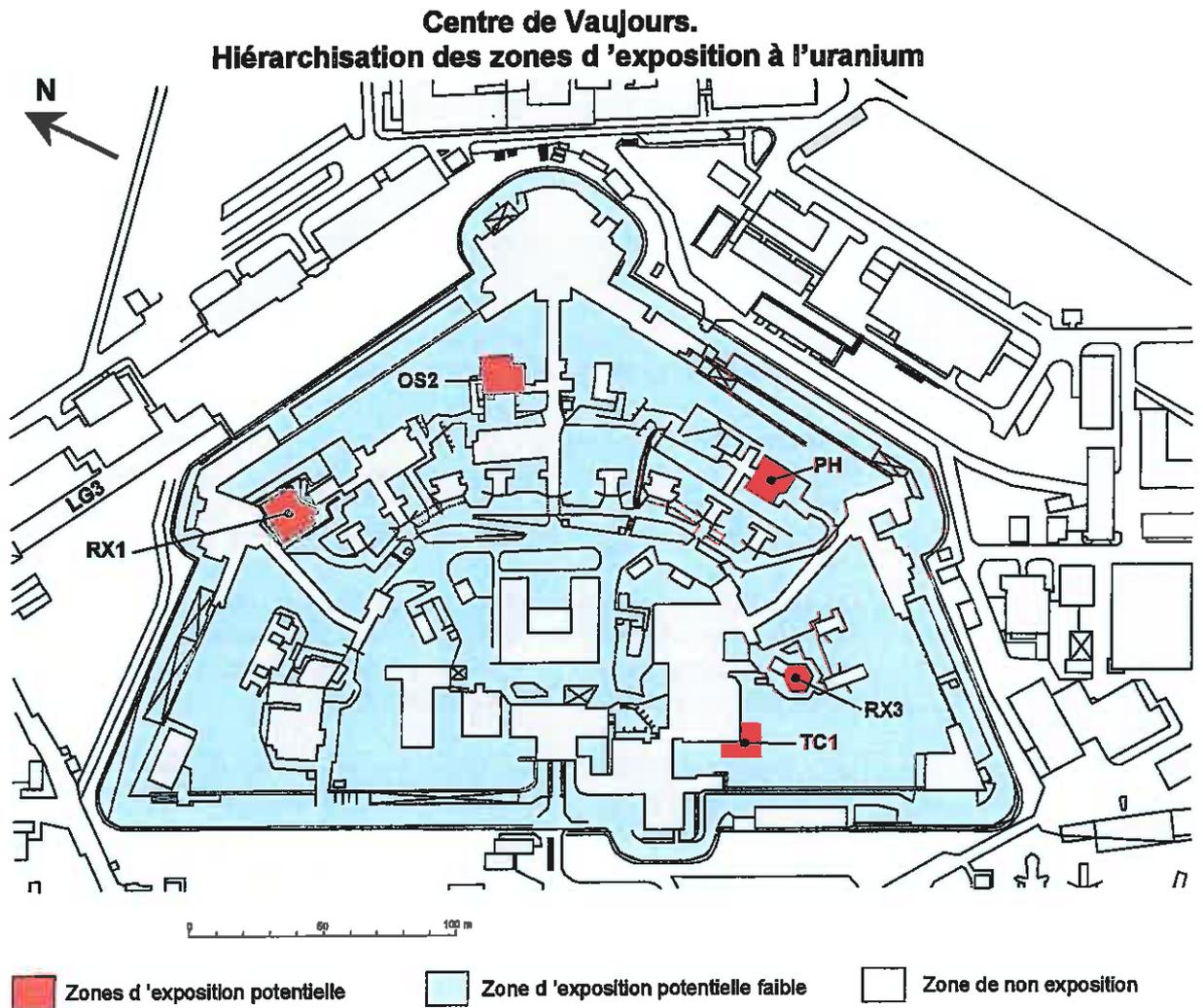
- Quatre zones ont fait l'objet de tirs en casemates (OS2, PH, RX1 et TC1) et une de tirs à l'air libre (RX3). On peut considérer que ces lieux constituent les zones où le risque d'inhalation des oxydes d'uranium a été le plus important (zones en rouge sur le plan). Les 4 zones de tir en casemate sont toutes dans une structure voire une double structure de protection (hauts murs et toit). D'une manière générale, les particularités du relief (relief vallonné, monticules, merlons) et la couverture arbustive (6 à 7 mois par an) ont pu contribuer à la limitation de la

<sup>41</sup> PV de la commission d'hygiène et de sécurité du 17 juillet 1964.

<sup>42</sup> idem

<sup>43</sup> idem

dispersion éventuelle d'un nuage. Une sixième zone (LG3), située à l'extérieur du fort central, a été utilisée pour des tirs en cuve, avec confinement total des produits de tir (LG3 figure en gris à l'extérieur du fort en regard de RX1).



(Document CEA 2002, D. Schoulz)

- La partie du site périphérique au fort central peut être considérée comme une zone de moindre exposition (zone verte sur le plan). En travaillant sur le site (mais à l'extérieur du fort où s'effectuaient les tirs), les autres personnels ont pu être éventuellement soumis à une exposition environnementale « diluée », à l'occasion des tirs et lors de la remise en suspension dans l'air des particules d'uranium générées lors des tirs réalisés à l'air ambiant (et dans une moindre mesure par ceux réalisés en casemate pour lesquels la dispersion des oxydes était fonction de la capacité de filtrage du système d'aération).

Ces tirs, qui avaient lieu dans l'enceinte du Fort, pouvaient exposer les travailleurs et l'ensemble des employés de Vaujours à une éventuelle contamination interne par inhalation.

## **B - Données d'exposition sur Vaujours**

### **1 - Les quantités d'uranium utilisées**

Selon les informations fournies en mai 2002 par le CEA, environ 1200 Kg d'uranium ont été utilisés durant les 40 années de fonctionnement du CEV, dont 150 Kg dispersés et présents sur le site avec une quantité maximale expérimentée de 10 Kg par tir. Les essais ont eu lieu pour l'essentiel avant 1961 ; 500 tirs ont été réalisés entre 1961 et 1991. Il n'y aurait plus eu de tirs à l'uranium après 1992.

### **2 - les résultats des mesures environnementales.**

*Sur les Aérosols* : Les résultats des prélèvements d'aérosols après tirs n'ont pas été communiqués, malgré plusieurs demandes et sans explication officielle du CEA. Peut-être n'étaient-ils plus disponibles (problème d'archivage...), mais nous n'avons pas réussi à avoir une réponse concluante.

*Les mesures environnementales réalisées dans les sols* : La totalité des résultats d'analyses de sols après remise en état du site a été rendue publique par le CEA. Par ailleurs, le groupe santé dispose des mesures complémentaires effectuées par le groupe technique, données qui ont été présentées en CLIS.

## **C - La surveillance des travailleurs du CEV**

Il s'agit ici d'exposer les particularités de la surveillance médicale liées à une exposition aux rayonnements ionisants (RI), étant entendu que les éléments classiques du contrôle médical des travailleurs tels que définis par le Code du Travail s'appliquaient à Vaujours, comme dans toute entreprise.

### **1 - Réglementation concernant les travailleurs exposés aux rayonnements ionisants : (un document plus détaillé figure à l'annexe 5)**

#### **La surveillance médicale des travailleurs exposés aux RI dans la réglementation française :**

■ entre 1966 et 1986, elle repose sur l'appréciation par le médecin du travail (en fonction du type d'exposition), des examens qu'il jugera utiles.

■ En 1991, c'est l'arrêté du 28 août qui fixe les dispositions relatives à l'information individuelle et collective, à la surveillance médicale (modalité, examen clinique général, examens spécialisés complémentaires, surveillance de l'exposition individuelle) ainsi qu'aux documents médicaux (dossier médical, transmission des documents...) des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants.

## 2 - La surveillance médicale des travailleurs du CEV :

### a) Description des sources d'information consultées :

L'activité du CEV ayant pris fin au début de l'année 1997, après une quarantaine d'années de fonctionnement, la recherche s'est orientée sur les pièces pouvant décrire l'organisation de cette surveillance ; il a fallu les replacer dans le temps pour prendre en compte l'évolution de la réglementation pendant ces mêmes années. Or, les indices sont d'autant plus difficiles à retrouver et à comprendre que l'on remonte dans le passé...

Par ailleurs, cette période couvre le passage historique des documents archivés uniquement sous forme papier à l'archivage informatique.

Enfin, la fermeture du centre de Vaujours s'est accompagnée d'un déménagement des archives du CEV au CEA de Bruyères-le-Châtel (Essonne), source de difficultés pour retrouver certains documents anciens.

Les éléments sur lesquels le groupe a pu travailler sont les suivants :

- Des témoignages oraux (notamment par le Docteur Giraud qui a été l'avant dernier médecin chef du service médical du CEV, entre 1980 et 1988, et par le Docteur SCHOUZ qui a pu interroger d'anciens salariés de Vaujours)
- Les PV des rapports des CHS, et les témoignages retrouvés dans « *Si Vaujours m'était conté...* »
- Les différents modèles de fiches de poste et de nuisance élaborées par le SMT.
- Des résultats d'examens complémentaires (dosimétrie et fluorimétrie urinaire), sous diverses formes et couvrant différentes périodes.
- Différents documents concernant la description de la surveillance médicale des travailleurs exposés au risque Uranium élaborés par le Dr GIRAUD, le Dr SCHOUZ et le Dr Xavier MILLOT (biologiste, responsable du Laboratoire de Bruyères-le-Châtel)
- Les moyens techniques nécessaires à cette surveillance et l'histoire de leur développement.

Ces éléments de natures diverses constituent les pièces d'un puzzle d'autant plus complexe à reconstituer qu'il s'est étalé sur quarante années. Grossièrement on distingue deux périodes :

- De 1957 à 1982 : les données du Service Médical du Travail (S.M.T.) se trouvent sous une forme « papier », correspondant aux dossiers médicaux individuels des agents. Les informations que ces dossiers renferment sont donc difficilement accessibles. Il a été décidé, dans cette phase préliminaire, et compte tenu que l'on disposera de l'extraction des données vitales des travailleurs de Vaujours pour cette période, de travailler sur des éléments indirects retrouvés dans les rapports des réunions du CHSCT.
- De 1983 à 1997 : le service médical dispose de données informatisées. Des difficultés de bascule sur le nouveau système informatique du CEA n'ont pas permis toute l'exploitation souhaitée ; au CEV, 3 systèmes informatiques se seraient succédés. Néanmoins, les données de 1983 à 1997 de la fluorimétrie urinaire ont été manuellement transférées sur un fichier EXCEL par M. Xavier MILLOT, responsable du laboratoire de Bruyères-le-Châtel.

### **b) - Reconstitution de la surveillance médicale des travailleurs :**

Pour les premières années, et sur la base des documents dont nous disposons, il est difficile de savoir s'il existait une systématisation des examens médicaux.

Le service médical du travail (SMT) s'installe à Vaujours en 1958 ; néanmoins, des « prélèvements et analyses nécessaires à la surveillance médicale » ont été réalisés à Vaujours dès 1957 (*in* PV CHS du 05/07/1957 et du 18/07/1958). Le SMT et le laboratoire d'analyses médicales (LAM) se structurent véritablement à partir de 1959.

Si on se réfère à l'ouvrage « *Si Vaujours m'était conté* », il semble que, tant en matière de surveillance médicale que de protection radiologique, le CEV ait bénéficié du soutien du centre de Bruyères-le-Châtel au début de ses activités.

#### **■ La Surveillance médicale des travailleurs est conduite en fonction des nuisances auxquelles sont exposés les agents : une première hiérarchisation est réalisée.**

Les archives du CEA permettent de retrouver l'existence d'une fiche de poste et de nuisance (FPN) dès 1962 (rappel : la réglementation n'introduira cette obligation qu'à partir du 15 mars 1967<sup>44</sup>). Cette fiche a été très rapidement élargie à toutes les nuisances par les médecins du travail du CEA. Elle répertorie un certain nombre de risques auxquels un agent peut être soumis en fonction de son poste de travail. Des exemples de fiches sont joints à l'annexe 6 ; elles reflètent l'évolution de la forme même de l'imprimé et des items pris en compte en 1962, 1963, 1965 et 1977.

La fiche remplie par le responsable du service où va travailler l'agent est adressée au médecin du travail qui, à partir des risques décrits pour le poste, prescrit la surveillance médicale appropriée. Selon l'importance des risques, les visites médicales ont lieu tous les 3 mois, 6 mois ou sont annuelles.

Cette fiche sert à l'aptitude initiale et à la surveillance médicale ultérieure. Elle est modifiée lors d'un changement de poste ou d'une modification des risques.

Vers 1965, une nouvelle FPN introduit la distinction entre les risques dits « conventionnels » et les risques radioactifs. L'importance de l'exposition est codifiée de 0 à 3, selon que l'exposition est nulle à importante. La fiche est élaborée par le service puis visée par l'Ingénieur de sécurité et le chef du groupe de radioprotection (GPR). On voit également apparaître une première classification des travailleurs : Directement Affectés à des Travaux sous Rayonnements (DATR), Non Directement Affectés à des Travaux sous Rayonnements (NDATR) et Non Exposés (NE).

En 1972, une autre FPN est élaborée par l'ensemble des médecins du travail du CEA pour l'ensemble des personnels de l'entreprise. Officialisée en 1975, elle est très proche de celle en vigueur aujourd'hui. Elle comporte désormais, en plus des visas précédents, la signature des intéressés.

#### **■ Les pratiques au CEV ont souvent devancées la réglementation en radioprotection.**

Dans le domaine de la radioprotection, les règles de surveillance n'existent pas avant 1966. Le CEA avait, jusqu'à la publication du décret du 20 juin 1966, réalisé la protection de ses agents en s'appuyant sur les recommandations de la CIPR (PV de CHS du 23/09/1969).

---

<sup>44</sup> Décret 67-228 du 15 mars 1967 portant règlement d'administration publique relatif à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants.

En 1968, divers arrêtés du ministre des affaires sociales sont publiés en application du décret n°66-450. Les premières recommandations faites aux médecins chargés de la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants sont contenues dans l'arrêté du 22 avril 1968.

Il nous est rapporté que le CEA a fait paraître, fin 1968, 4 notes d'application internes relatives notamment au port du dosimètre, à la visite médicale d'embauche et à la catégorisation des travailleurs (DATR, NDATR, NE), cette dernière déterminant les modalités et la périodicité des visites médicales : le délai maximum entre deux visites est de 6 mois pour les DATR et de un an pour les NDATR et les NE.

Au CEV, l'application des notes du CEA est effective en mars 1969 (PV du CHS du 23.09.1969). En liaison avec le SMT et le GPR<sup>45</sup>, le directeur du centre a arrêté pour l'année 1969 la liste des agents classés : 37 DATR (exposés RX et / ou Uranium) et 88 NDATR sur un effectif total de 920 salariés.

### **■ Séparation des risques liés à l'uranium de ceux liés aux rayons X (émis lors de radiographies effectuées dans le cadre des expérimentations).**

Dès 1957, elle apparaît au CEV dans le PV du CHS du 13 décembre. Il en découle une surveillance par dosimétrie externe pour l'exposition aux RX et une surveillance spécifique aux risques chimiques et radiotoxiques de l'uranium.

#### ***La surveillance générale aux RI par dosimétrie externe :***

- Elle a été réalisée à Vaujours dès 1957, comme en témoigne l'existence de résultats de dosimétrie externe dès cette année.
- Le premier dosimètre film, destiné à la défense, apparaît en 1954 (le FER 701); en 1958, apparition du premier « dosimètre pour tous » destiné à la surveillance dosimétrique des personnels exposés aux RX (le DMA-X).
- Les techniques des dosimètres externes s'affinent au cours du temps, le seuil de détection passant de 0,3 mSv pour les premiers films à 0,2 mSv dès 1970. L'emploi de ces appareils va faire progressivement l'objet de dispositions réglementaires : cf décrets n°66-450/ n°75-306 (en INB<sup>46</sup>) / n° 86-1103 (hors INB).
- Le dosimètre actuel est apparu aux alentours des années 1970 et n'a pas évolué dans son principe depuis (voir annexe 7).
- La dosimétrie obligatoire individuelle par film photographique a été imposée à tous les agents de Vaujours travaillant en zone surveillée et contrôlée dès 1971 (PV du CHS du 22/10/1971).
- Il a été mis en place, en outre, une dosimétrie « non obligatoire » comme la dosimétrie des extrémités (dosimètres poignet) et une dosimétrie complémentaire comme les pastilles thermoluminescentes et le stylo dosimètre, précurseurs des dosimètres électroniques actuels selon les informations recueillies dans le PV du 30 mars 1977.

<sup>45</sup> GPR : Groupe de Protection Radiologique.

<sup>46</sup> INB : Installation Nucléaire de Base, définie par l'article 2 du décret n°63-1228 du 11 décembre 1963, modifié par le décret n°73-405 du 27 mars 1973

### ***La surveillance spécifique aux risques de l'uranium :***

- **Risque radiologique :**

Au CEV, la surveillance repose essentiellement sur la fluorimétrie urinaire (FU) ; cette technique a d'ailleurs été mise au point par le CEA et la COGEMA en France puis commercialisée dans les années 60. Le principe en est qu'un échantillon d'urine exposé à un rayonnement ultra-violet en réfléchit une quantité proportionnelle à sa concentration en uranium. Le seuil de sensibilité de cette technique est de 5 microgrammes d'uranium par litre d'urine (5µg/l). (voir fiche sur le fluorimètre en annexe 8).

Un document rédigé par le CEA en date du 30 octobre 2001 (annexe 9) justifie la pertinence de cette technique pour assurer la surveillance médicale des travailleurs exposés à l'uranium, quels que soient sa forme chimique (soluble et insoluble) et le mode d'exposition (aiguë ou chronique).

Dès 1959, le CEV décide de systématiser les analyses d'urines par cette technique pour les personnels manipulant de l'uranium et de mettre en œuvre des contrôles systématiques *à posteriori* pour tous les personnels ayant participé à un tir et /ou à l'extinction des feux de broussailles<sup>47</sup> : « Certains tirs sur l'annexe du CEV pourraient incidemment entraîner une contamination des personnels ». La possibilité d'une contamination accidentelle est évoquée. Elle conduit à la formalisation d'une surveillance médicale des travailleurs de type « post-exposition » en complément de la surveillance systématique établie sur la base des risques notés dans la fiche de poste et de nuisance. Aussi des dispositions sont prises pour que des flacons destinés à recueillir les urines des travailleurs dans les plus brefs délais après un incident soient stockés au niveau de l'annexe du CEV.

Concernant le niveau d'investigation en vigueur au CEV<sup>48</sup> (résultat de la fluorimétrie urinaire évoquant une incorporation en mode aigu ou chronique, pouvant conduire à des altérations des fonctions rénales), il a été établi - par sécurité - pour un taux de 70µg/l d'urine. Cette valeur seuil ne signait pas l'atteinte rénale mais imposait un bilan rénal et une recherche de la source d'incorporation.

Les recommandations en vigueur s'appuient sur un seuil de toxicité rénale de 3µg/grammes de rein. Sur cette base, pour l'exposition professionnelle chronique, les limites d'incorporation journalière ont été fixées à 2,5 mg par inhalation et 150 mg par ingestion par la CIPR (CIPR 2 et 78, toujours en vigueur), pour les composés solubles uniquement. Il n'y a pas de valeurs pour les composés intermédiaires et insolubles de l'uranium. Ces valeurs, si elles existaient, seraient beaucoup plus élevées du fait qu'une moindre solubilité impose une incorporation de quantités plus importantes pour obtenir une même concentration sanguine.

- **Risque chimique :**

La surveillance de paramètres rénaux (albuminurie, glycosurie..) concerne tous les agents et s'inscrit dans le cadre des examens systématiques annuels de médecine du travail au CEA. Elle est souvent réalisée au moment de la visite médicale, par bandelette réactive trempée directement dans l'urine de l'agent et confirmée par analyse biochimique en cas d'anomalie. Néanmoins, seule une exposition importante, en général accidentelle, et qui marque alors fortement l'environnement, peut entraîner une altération des paramètres rénaux.

---

<sup>47</sup> Dans le PV du CHS du 23/07/1959 figure la prise de cette décision.

<sup>48</sup> Note du Dr SCHOULZ du 30 octobre 2001.

Enfin, les analyses urinaires telles qu'elles sont réalisées aujourd'hui au niveau du Laboratoire d'Analyses Médicales sont des analyses par séries. Dans chaque série est introduit un échantillon de référence (procédure de validation) issu du commerce (sorte d'étalon contenant les quantités standards d'urée, de créatinine, d'albumine) et qui permet de vérifier les éventuelles anomalies détectées. Une très forte contamination dans un secteur géographique du centre et susceptible d'avoir provoquée des altérations de la fonction rénale chez les agents aurait pu être détectée par l'observation d'un nombre anormalement élevé d'individus de ce même secteur (regroupés dans la même série) ayant simultanément une altération des fonctions rénales.

### **3 - Résultats issus de la surveillance médicale :**

#### **a) Concernant les travailleurs exposés**

##### *- Données de dosimétrie externe des agents permanents du CEA :*

Les premiers résultats de lecture des dosimètres externes apparaissent dès 1957. Le CEA nous a fourni le 8 mars 2002 un tableau résumant les nombres de dosimètres lus par an pour la période 1957-1995, avec, par année, le nombre de fois où le résultat lu est supérieur au seuil d'enregistrement et les doses *cumulées* par année pour les agents de Vaujours (voir tableau du CEA en annexe 10). On rappelle que le seuil de détection est de 0,2 mSv. Un résultat négatif correspond à un résultat inférieur à ce seuil.

Il n'est cependant pas possible d'en déduire le nombre de travailleurs exposés aux RI. En effet, au début de l'utilisation des dosimètres externes, les lectures étaient très fréquentes : toutes les semaines, puis tous les 15 jours. C'est le décret de 1975 qui a codifié la fréquence de lecture de ces appareils en fonction de la classification des travailleurs face au risque radiologique, à savoir tous les mois pour les personnels DATR (ou catégorie A selon la terminologie en vigueur depuis le décret n°86-1103 du 2 octobre 1986) et tous les trimestres pour les personnels non DATR (ou catégorie B).

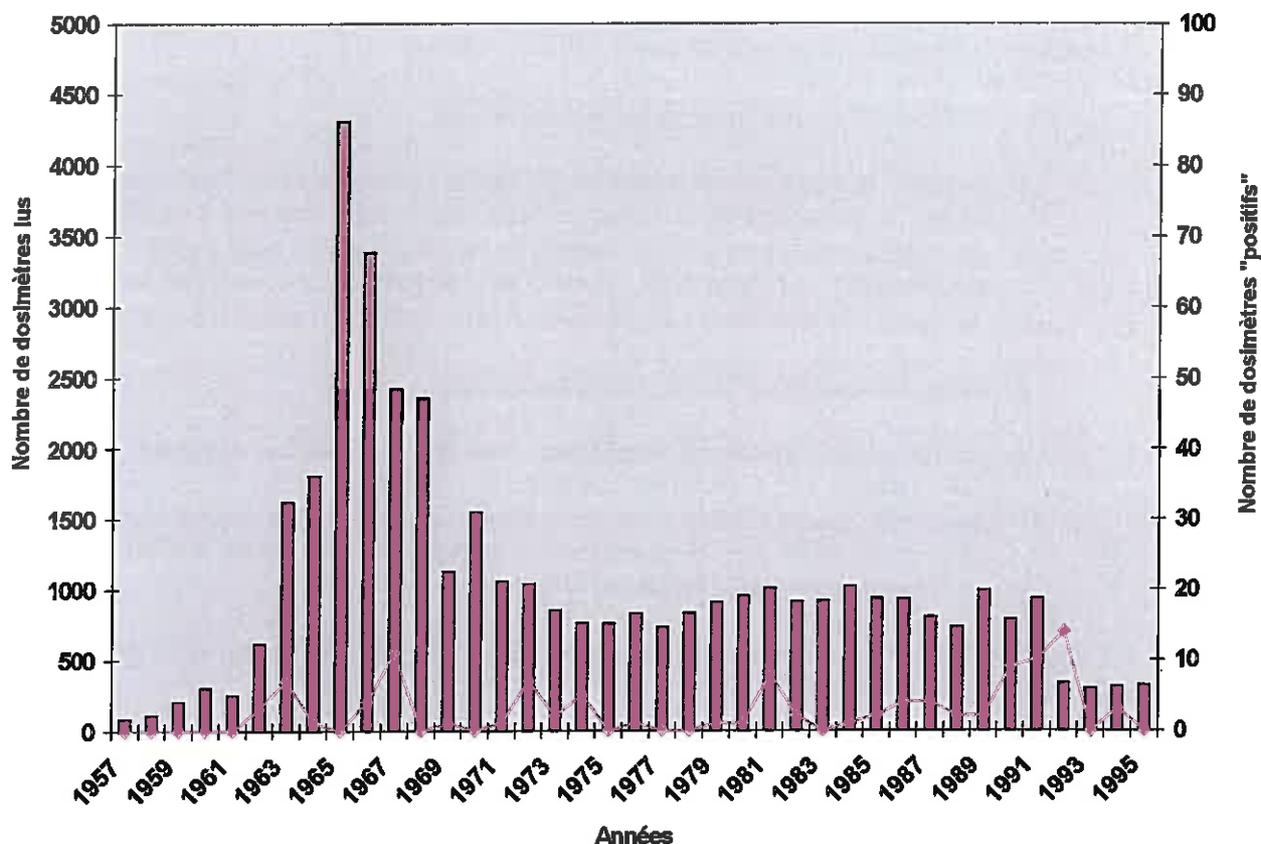
Ces données transmises par le SPR de Bruyères-le-Châtel sont présentées dans le graphique page suivante (attention : les 2 axes des ordonnées n'ont pas la même échelle pour des raisons de lisibilité).

##### *- Données de dosimétrie externe concernant les travailleurs des entreprises sous traitantes*

Ces données ont été sollicitées auprès de l'ex-OPRI qui a apporté les explications suivantes : « toutefois, pour les travailleurs extérieurs – s'ils existent et s'ils ont été exposés – les dossiers devraient être accessibles à l'OPRI qui assure le suivi dosimétrique ; mais il faudrait connaître le nom des entreprises ou celui des intéressés pour y accéder. En effet, pour ces personnels souvent itinérants, l'entrée dans la banque de données OPRI ne se fait pas par le biais des entreprises utilisatrices qui sont, par hypothèse, variables. Une demande auprès du service médical du CEA permettra peut être de fournir quelques indications supplémentaires mais qui ne permettra pas, sauf exception, d'attribuer les doses éventuellement enregistrées à une exposition sur le site de VAUJOURS » (cf annexe 12).

Les entreprises sous traitantes sont apparues dans les années 70, en nombre limité en raison du caractère « secret défense » des activités du site. Par ailleurs la surveillance médicale des entreprises extérieures a été réalisée conformément au décret 77-1321 puis du décret 92-158. A ce titre le CEA a réalisé au profit des agents exposés de ces entreprises la surveillance dosimétrique externe et la surveillance uranium. Les résultats ont été transmis aux services médicaux chargés de la surveillance des entreprises.

### Résultats de la dosimétrie externe



Sur 39 années de suivi, les 40.010 dosimètres lus ont révélé une dose cumulée de 90,5 mSv (correspondant à 106 dosimètres positifs).

Dans le cadre des faibles doses, les effets biologiques dus à une exposition chronique sont essentiellement les cancers par altération de l'ADN sous l'effet des radicaux libres. L'effet cancérigène des RI est classiquement admis comme un effet sans seuil.

Pour mémoire, la CIPR propose (1990) un « excès de risque de cancer vie entière<sup>49</sup> » de  $4,8 \cdot 10^{-2}$  par Sievert, chez l'homme.

En France, l'irradiation externe naturelle (rayons cosmiques et rayonnement terrestre) moyenne reçue par un individu est de l'ordre de 2,4 mSv par an. Sur 39 ans, la dose cumulée peut être estimée à 93,6 mSv.

<sup>49</sup> les évaluations de risque de cancers sont exprimées en « excès de risque vie entière » calculés sur une période de 50 ans (réf CIPR 60, Directive européenne 96/29, réglementation française : décret 86-1103, 2002-460)

- *Données de la fluorimétrie urinaire (FU):*

Les résultats des FU des travailleurs du CEV sont informatisés à partir de 1984. Ils ont été fournis sous forme anonyme sur fichier EXCEL (chaque ligne correspond à un examen et son résultat). Ce fichier a été constitué par le Docteur Millot, pharmacien au LAM du SMT du CEA de Bruyères-le-Châtel, par une transcription manuelle des dossiers médicaux informatisés des personnels du CEV ; en effet, le système informatique ancien ne permettait pas une extraction de données. Ce fichier EXCEL a été retravaillé sous ACCESS.

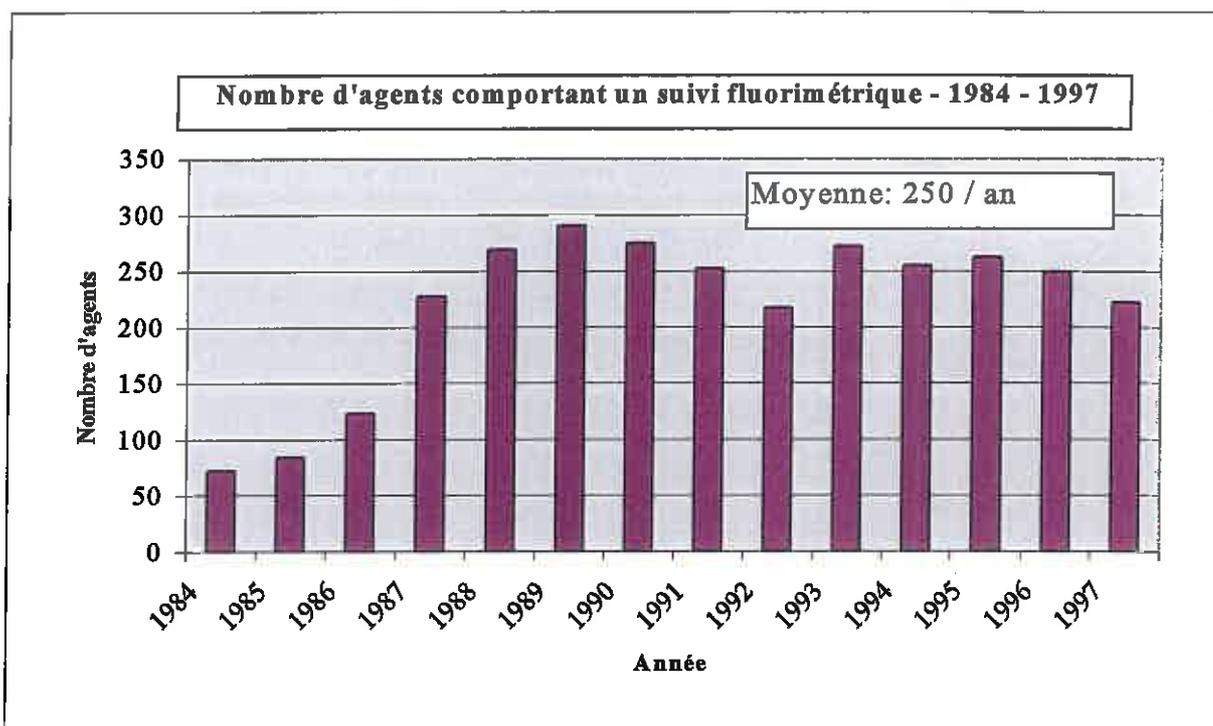
Le tableau de données comporte 6 colonnes intitulées comme suit :

1. *Individu n° x* (anonymisé par le docteur Millot)
2. *Service* : irrégulièrement renseigné (2768/5331 examens soit 52%), sous forme de sigles, la traduction de ces sigles n'étant pas fournie ; certains sont identifiables (ex : SPR pour Service de Protection Radiologique ; FLS pour Formation Locale de Sécurité ; LAM pour Laboratoire d'Analyses Médicales ; .../PEM évoquant un service à Moronvilliers) ; d'autres sont perdus dans la mémoire collective....
3. *Date de l'examen urinaire* : toujours renseigné
4. *Motif* : parfois renseigné, également sous forme de sigles, explicités cette fois (BL= blanc ; DC = début de chantier ; FC = fin de chantier ; C = contrôle ; I = incident) ; quand le motif n'est pas précisé il s'agit soit d'un examen systématique (suivant la FPN) soit d'un examen sans motif retrouvé voire non prescrit mais effectué en auto-surveillance par le travailleur lui-même.
5. *Résultat* : « <5 » si en dessous du seuil de détection, et valeur réelle mesurée sinon.
6. *Poste de travail* : très rarement renseigné (données manquantes dans 4744 cas ; 343 « annexe » ; 62 « TC1 » ; 23 « RX1 » ; 13 « CGL » ; 11 « CAGL »...sans traduction des sigles).

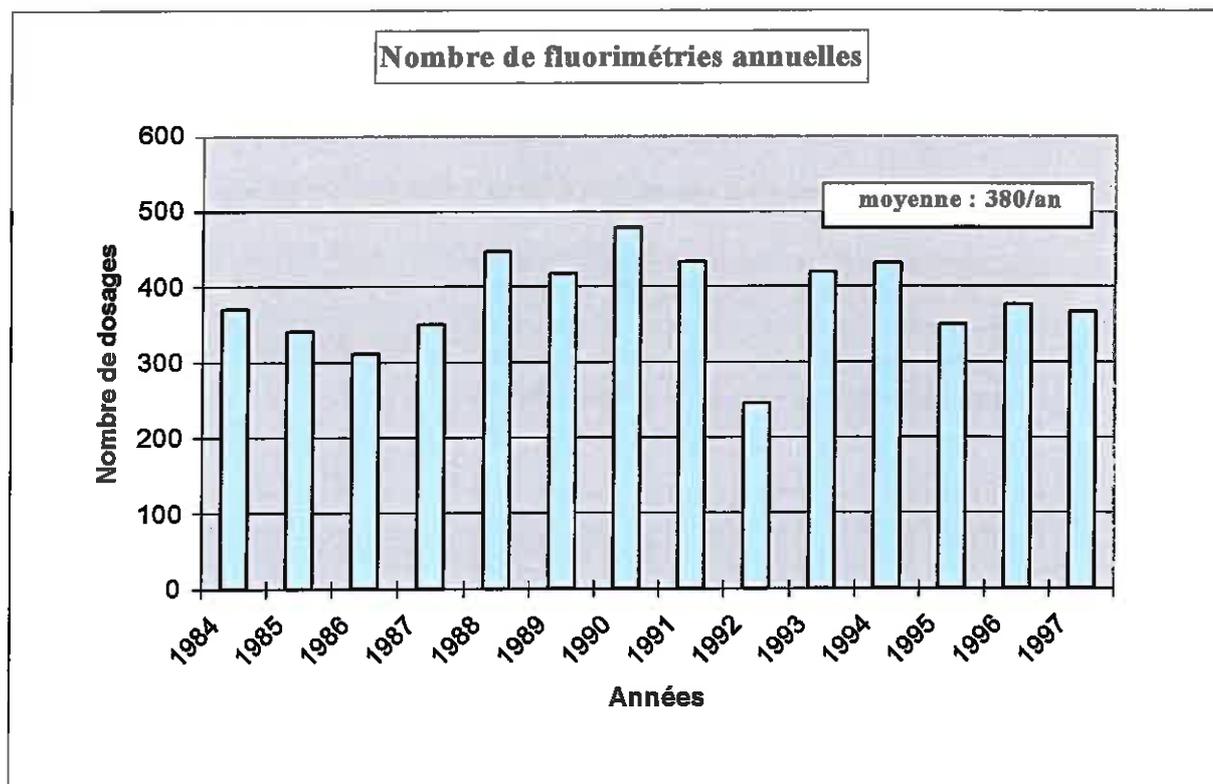
Ces données ne permettent pas toujours de distinguer des dosages qui auraient été pratiqués de façon systématique (tous les 3 ou 6 mois) de ceux liés à une exposition.

Pour la période (1984-1997), on dénombre **830 individus suivis**.

Les résultats sont présentés dans les graphiques suivants :



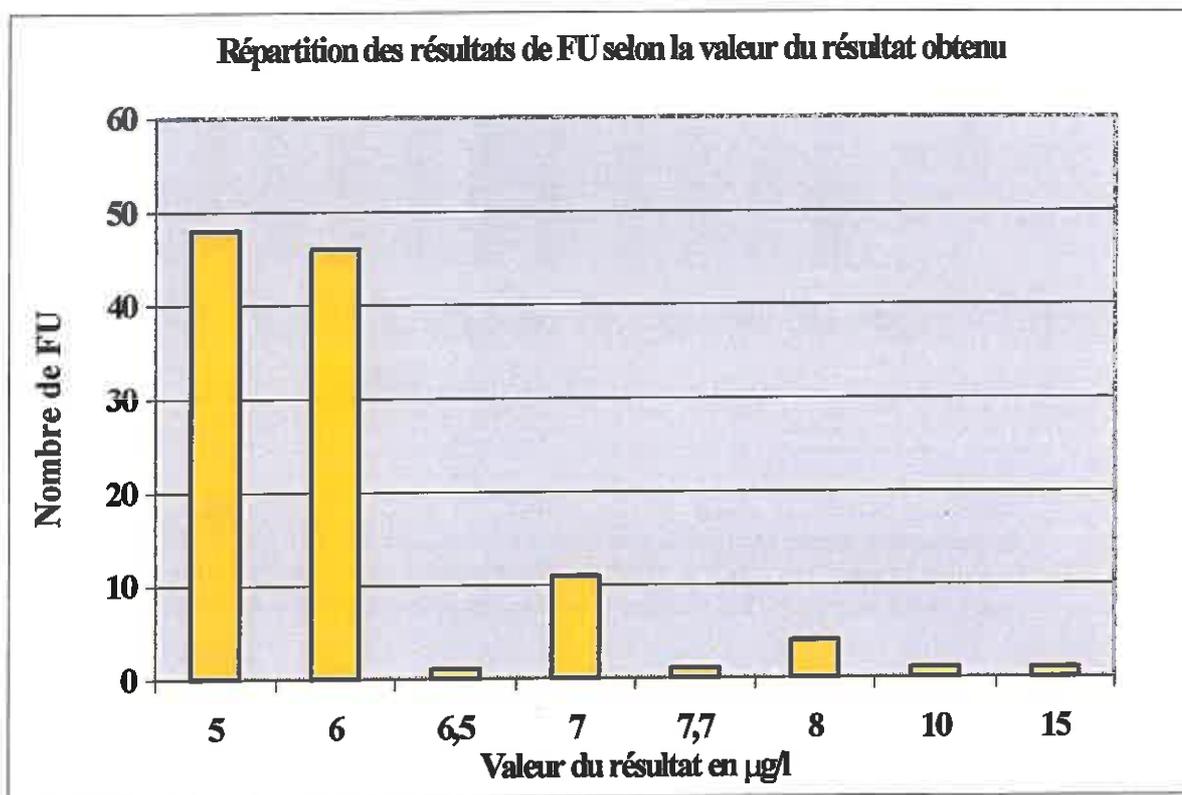
Après une montée en charge sur les années 1984-1988 (peut être liée à l'informatisation ?), la moyenne des agents surveillés par cette technique est de 250 agents environ par an. On note une petite baisse sur l'année 1992 qui correspond à une restructuration du CEV : départ d'un important service (le TEF : Transformation des explosifs) d'où une baisse d'activité.



On observe en moyenne 380 fluorimétries urinaires par an, avec également une baisse du nombre de dosages en 1992 (aux alentours de 250 pour cette année-là).

Pour la période 1984-1997 au CEV, sur 5331 analyses urinaires pratiquées, on note :

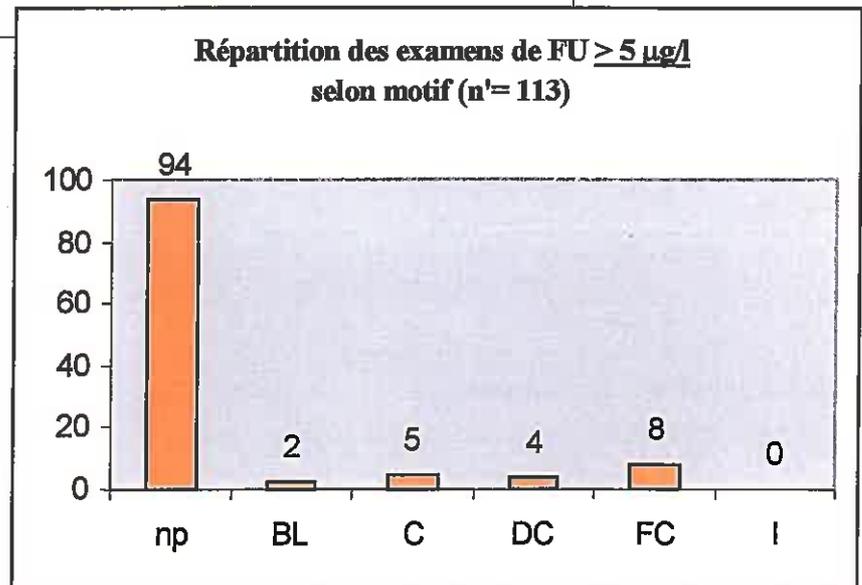
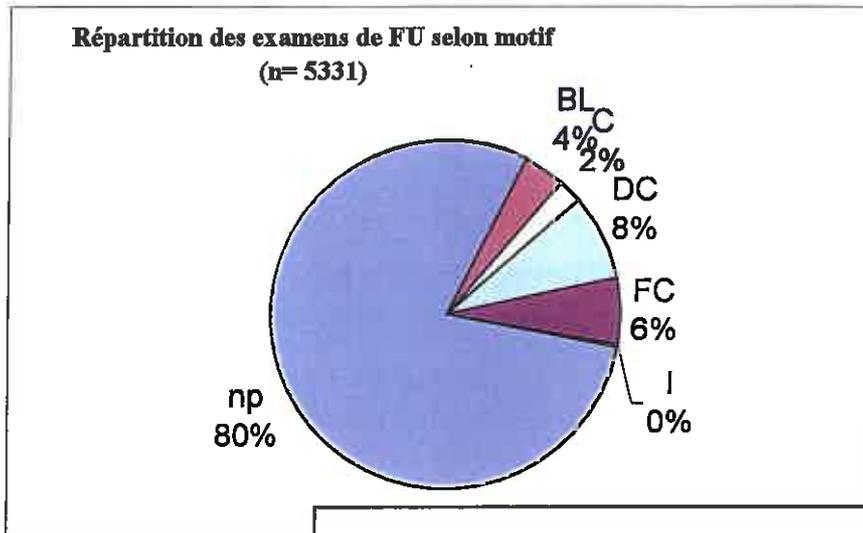
- 5218 (soit 98%) résultats inférieurs à 5 µg/l, le seuil de détection de la méthode
- 113 (2%) résultats supérieurs à 5 µg/l, répartis comme suit :



Aucun résultat n'est supérieur ou égal à 70 µg/l, niveau d'investigation utilisé au CEA.

Le commentaire suivant accompagnait ces résultats : «bien que le niveau d'investigation n'ait jamais été atteint, une recherche de la source d'incorporation a été réalisée pour les plus forts taux relevés. Dans tous les cas, il s'agissait d'une incorporation par consommation d'eaux de boisson (eaux minérales à teneur en uranium significative). Il n'a jamais été trouvé d'incorporation liée à l'activité professionnelle».

Enfin, une étude par « motifs d'examen » de fluorimétrie urinaire indique la répartition suivante :



Légende des sigles :

- BL= blanc      - DC = début de chantier      - FC = fin de chantier
- C = contrôle   - I = incident                      - np = non précisé

Dans 80% des cas, le motif de l'examen n'est pas précisé. On trouve 8% d'analyses correspondant à des début de chantier mais seulement 6 % pour les fins de chantiers. Par contre, l'item « C » pour chantier, ne précise pas s'il s'agit du début ou de la fin du chantier. La mise à disposition de flacons pour des prélèvements d'urine lors des tirs explique peut être la facilité avec laquelle les travailleurs pouvaient pratiquer un auto-contrôle sans que le laboratoire puisse en suivre et noter le « motif ».

Le tableau suivant présente l'effectif des travailleurs suivis par FU en fonction du nombre de fluorimétries réalisées durant toute la période étudiée (total 830 travailleurs différents) :

Nombre d'examen de fluorimétrie effectués	Effectifs de travailleurs	%
De 1 à 10	688	83%
De 11 à 20	79	9,5%
De 21 à 30	34	4%
De 31 à 40	18	2
De 41 à 50	7	1
De 51 à 60	3	0,4%
De 61 à 66	1	0,1%
<b>TOTAL</b>	<b>830</b>	<b>100</b>

La grande majorité des travailleurs (83%) ont eu entre 1 et 10 fluorimétries urinaires durant toute leur activité au CEV.

Les travailleurs correspondant au plus grand nombre d'examens pratiqués (à partir de la classe 31 à 40) ont généralement travaillé au CEA sur l'intégralité de la période étudiée (1984 jusqu'en 1997).

Le tableau suivant décrit la répartition des services auxquels appartenaient les travailleurs au moment de leur surveillance fluorimétrique (5331 dosages effectués entre 1984 et 1997), lorsque celui-ci est connu :

Nom du service	Nombre de fluorimétries		Fluorimétries sup. à 5µg/l	
	< à 5 µg/l	%		%
Non documenté	2730	52%	38	34%
ITF (ingénierie des tirs froids)	488	9%	26	23%
TEF (transformation des explosifs)	252	5%	1	1%
FLS (Formation Locale Sécurité)	856	16,4%	35	31%
Entreprises Extérieures	458	9%	7	6%
GPR (groupe protection radiologique)	37	0,7%	1	1%
DPM (détonique physique matériaux)	115	2,2%	1	1%
Divers	282	5%	4	3%
<b>total</b>	<b>5218</b>	<b>100%</b>	<b>113</b>	<b>100%</b>

Ces résultats intègrent ceux concernant la surveillance des travailleurs des entreprises extérieures exposés au risque uranium. 465 examens sur les 5331 pratiqués sur la période l'ont été au profit des travailleurs d'entreprises extérieures, soit 9% du total des examens.

Les travailleurs les plus surveillés appartenaient principalement aux services dits ITF, TEF, et FLS (Formation Locale de Sécurité). Les résultats supérieurs au seuil de détection de 5µg/l concernent dans 67% des cas des travailleurs de ces services.

- Au total, peu d'examens de FU se sont avérés positifs (2%) et aucun n'a atteint le niveau d'investigation de 70 µg/l.
- Les services les plus concernés étaient : ITF, FLS, TEF et, à un niveau moindre, les entreprises extérieures.

- *Données issues de la déclaration des maladies professionnelles en rapport avec les RI : tableau n°6 du régime général de la Sécurité Sociale :*

Le tableau 6 des maladies professionnelles du Régime Général (Code de la Sécurité Sociale) est spécifique aux maladies reconnues après une exposition aux rayonnements ionisants. (voir annexe 11 )

Une saisine de la CRAMIF a été effectuée par courrier du Docteur COUDURIER le 7 février 2002. La réponse transmise par l'ingénieur conseil régional de la CRAMIF le 21 février atteste « qu'aucune des maladies professionnelles visées au tableau n°6 et enregistrées dans notre base de données ne concerne des personnes ayant exercé leur activité au centre de Vaujours. » (voir lettres en annexe 12).

Ces résultats reflètent les difficultés d'accès aux données individualisées des maladies professionnelles via les organismes de sécurité sociale. Cette source de données est généralement très médiocre sur le plan de l'exhaustivité.

Aussi, les données que nous avons obtenues proviennent du conseiller médical du CEA<sup>50</sup>. Sur l'ensemble de la période, 8 maladies professionnelles du tableau n°6 ont été déclarées. Parmi elles, 4 ont été reconnues. Il s'agit de 2 leucémies et de 2 cancers pulmonaires.

#### ***b) Résultats concernant l'ensemble du personnel du CEV***

Au regard du nombre d'agents suivis par fluorimétrie urinaire (grossièrement un tiers), on en déduit que les deux tiers n'étaient pas répertoriés comme exposés à ce danger. Ces personnes qui travaillaient dans la zone figurant en vert sur le plan, ont-elles été exposées à une éventuelle contamination environnementale diluée (lors du passage d'un nuage et/ou d'une remise en suspension des particules d'uranium déposées) ?

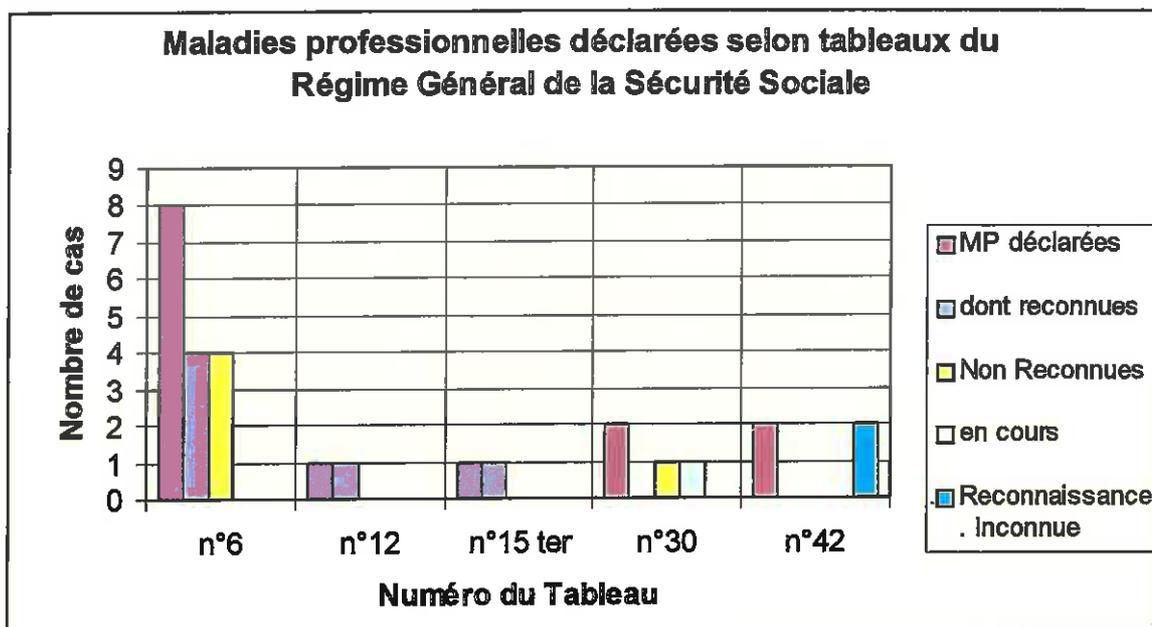
Il a donc semblé intéressant de chercher des résultats agglomérés de leur suivi médical, en rapport avec les risques évoqués et la disponibilité des informations.

---

<sup>50</sup> Note et tableau du Dr GIRAUD en date du 29 mars 2002 en annexe 13.

☞ **les maladies professionnelles de tous les agents et toutes causes, déclarées pour l'ensemble des travailleurs du CEV (Source : CEA)**

Les informations suivantes fournies par le Docteur GIRAUD concernent la période 1957 (début de Vaujours) à 2001 (une maladie professionnelle pouvant être reconnue après arrêt de l'exposition). Par ailleurs ces données concernent les agents « passés » au CEV, et ne préjugent pas du lieu d'exposition en rapport avec la déclaration.



Ces maladies professionnelles<sup>51</sup> sont les suivantes :

- Tableau n° 6 : affections provoquées par les rayonnements ionisants.
- Tableau 12 : affections provoquées par les dérivés halogénés suivants ...
- Tableau 15ter: lésions prolifératives de la vessie provoquées par les amines aromatiques.
- Tableau 42 : surdité provoquée par les bruits lésionnels
- Tableau 30 : Affections professionnelles consécutives à l'inhalation des poussières d'amiante.

Ainsi, depuis 1957, 14 pathologies déclarées ont fait l'objet d'une demande de reconnaissance en maladie professionnelle et 6 ont été reconnues à ce titre ; une est en cours d'instruction et pour 2 demandes (du tableau n°42), les suites ne sont pas retrouvées.

Il faut remarquer que cet indicateur est très fragile car on ne peut être certain que toutes les pathologies survenues après le départ en inactivité des personnes aient été déclarées, quand elles auraient pu l'être, dans le cadre d'une demande de reconnaissance en maladie professionnelle. En outre, pour qu'une maladie professionnelle soit reconnue, il faut impérativement réunir deux conditions : avoir une des maladies décrites dans les tableaux, et avoir été exposé à une des nuisances des tableaux correspondants.

<sup>51</sup> Voir intitulés complet en annexe 14.

L'intérêt de cette information est de montrer que des agents ont été exposés à plusieurs substances chimiques puisqu'un certain nombre de maladies professionnelles relevant de ces expositions ont été reconnues : amines aromatiques, dérivés halogénés, solvants chlorés, amiante.

Ce résultat appelle 2 commentaires :

- Sur une moyenne de 800 travailleurs par an, pendant environ 40 ans, cela fait relativement peu de maladies professionnelles.
- Les résultats du tableau n°6 sont discordants selon la source : 0 par la CRAMIF ; 4 par le CEA.

☞ **Les résultats de l'étude des données de mortalité de la cohorte de Vaujours** <sup>52</sup>  
(rapport complet en annexe 15)

Suite à la sollicitation de la DDASS 93 à la fin de l'année 2001, le Département Santé Travail de l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) a analysé la mortalité par causes des employés du CEA ayant travaillé sur le site de Vaujours. Ce travail a été effectué grâce aux données transmises à l'InVS par le service de médecine du travail du CEA.

Ces données concernent 2 473 individus ayant travaillé au moins un an sur le site entre 1955 et 1995. Pour chacun d'eux étaient connues les dates d'entrée et sortie (éventuelle) du CEA, la qualification à l'embauche (ingénieur, ouvrier...), et les périodes de travail sur le site de Vaujours. Le statut vital de ces personnes était également connu jusqu'au 1<sup>er</sup> janvier 1995.

Parmi eux, 241 décès ont été identifiés dans la période étudiée. La première cause de décès observée correspond aux décès par tumeur (90 décès, 37%), devant les décès par maladie de l'appareil circulatoire (52 décès, 22%) et les causes extérieures de traumatismes et accidents (39 décès, 16%). Cette répartition des causes de décès correspond tout à fait à la répartition attendue dans ce type de population.

Les premières analyses menées par l'InVS ont eu pour but d'évaluer si la mortalité observée dans cette population (et notamment la mortalité par cancer) était différente de celle que l'on pouvait attendre si elle se comportait comme la population générale. Pour cela, les nombres de décès (toutes causes et cancer) attendus dans cette population ont été calculés sur la période 1968-1995 en appliquant les taux de mortalité par année, sexe et classe d'âge de la population française aux effectifs de la population étudiée.

**Chez les hommes :**

316 décès étaient attendus et 187 ont été observés, ce qui correspond à un déficit de mortalité de 41% parmi les employés du CEA comparés à la population générale française, statistiquement significatif.

Cette sous-mortalité est également observée pour les décès par tumeur (70 décès observés pour 110 attendus, déficit de 37%).

---

<sup>52</sup> Résumé de la communication présentée lors de la séance publique du 11/03/02 : étude de la mortalité des travailleurs du site de Vaujours – E. Imbernon, JL Marchand, DST-InVS

### **Chez les femmes :**

28 décès sont attendus et 31 sont observés, soit un excès de 10%, mais cet excès n'est pas statistiquement significatif.

Onze décès par tumeur sont attendus et 20 sont observés, soit un excès de 86%, statistiquement significatif. En distinguant la catégorie professionnelle des sujets, on observe que cet excès est observé uniquement chez les femmes ingénieurs et cadres (7 décès dont 3 par cancer du sein).

La mortalité a ensuite été analysée **en fonction du temps passé** sur le site de Vaujourns (6 ans ou plus, moins de 6 ans), afin d'évaluer si la mortalité observée était liée à la durée de séjour sur le site.

Chez les hommes, le déficit de mortalité est observé aussi bien chez ceux restés moins de 6 ans à Vaujourns que chez ceux restés 6 ans ou plus.

Pour les femmes, on observe que l'excès de décès par tumeurs observé chez les ingénieures et cadres concerne uniquement celles restées moins de 6 ans sur le site. Cet excès est constitué par 5 décès par cancer ; 3 d'entre eux concernent des femmes présentes à VAUJOURN dans les années 60 et les deux autres, des femmes présentes dans les années 80.

En résumé, on observe une sous-mortalité globale et par tumeur dans la population des hommes ayant séjourné à Vaujourns. Chez les femmes, un excès de mortalité dû à un excès de décès par tumeur (dont plusieurs cancers du sein) est observé, mais uniquement chez les ingénieures et cadres et plus particulièrement lorsqu'elles ont séjourné peu de temps sur le site.

Les interprétations de ces analyses sont limitées notamment par le faible nombre de décès qui ne permet pas d'étude fine. Par ailleurs l'excès de mortalité par tumeur observé chez les femmes de catégorie socio-professionnelle élevée est un résultat constant de la littérature, notamment lorsqu'il s'agit de cancer du sein.

La comparaison de la mortalité d'une population professionnelle à celle de la population générale française augmente les difficultés d'interprétation. L'utilisation de comparaisons internes à la population du CEA aurait pu permettre de mieux documenter les résultats observés, en particulier pour ce qui concerne les femmes. Toutefois la petite taille de la population étudiée et l'absence d'hypothèses précises à tester n'incitent pas à entamer des études plus approfondies et détaillées sur la mortalité de cette population.

### **☞ Données agglomérées de la surveillance médicale (fonction rénale)**

Les données de la surveillance rénale des travailleurs de Vaujourns se trouvent sous deux forme :

- sur support papier : pour les 20 premières années, à l'intérieur des dossiers médicaux.
- sur support informatique de 1984 à 1997. La récupération des résultats de biologie rénale au sein des dossiers médicaux représente un travail volumineux. Par ailleurs, ces résultats devraient être comparés à ceux d'autres cohortes de travailleurs, non exposés à un risque toxique chimique pour le rein. Ce deuxième type de données est également difficilement accessible.

Compte tenu des éléments d'information fournis lors de l'étude de danger de l'uranium, ces données n'ont pas été considérées comme pertinentes (faible sensibilité et faible spécificité des anomalies de la fonction rénale) d'autant que la réalisation des analyses par série étaient susceptibles de détecter une anomalie collective, situation ne se serait jamais produite selon les médecins du CEA (ce qui ne semble pas nécessairement incohérent au regard des quantités d'uranium à incorporer pour perturber la fonction rénale).

## VI DISCUSSION

La comparaison de la mortalité des travailleurs de Vaujours à celle de la population générale n'apporte pas de résultats inattendus. La sous-mortalité observée chez les hommes est classiquement rapportée dans les études de populations de travailleurs. L'excès de cancers observé chez les femmes est restreint aux ingénieures et cadres, or la surmortalité par cancer chez les femmes de catégories socio-professionnelles élevées est aussi une observation classique. L'étude de mortalité ne fait donc pas ressortir de résultats suggérant que les expositions auxquelles ont été confrontés les travailleurs de VAUJOURS aient conduit à un risque particulier.

Dans l'ensemble, les données issues de ce travail sont plutôt rassurantes. Néanmoins, il comporte certaines limites qui sont discutées ci-dessous.

### A - Le choix de la méthode :

#### *1 - L'hypothèse de départ*

Le groupe de travail a fait l'hypothèse que l'étude des données de santé de la population des travailleurs du CEV permettrait une approche raisonnable des risques éventuels encourus par les populations riveraines. En effet :

- Les employés du CEV (affectés ou non dans les zones contrôlées) ont été exposés à des concentrations environnementales plus élevées que la population des riverains, par inhalation ou par contact cutané (voies d'exposition).-
- La population des travailleurs est suivie sur le plan médical. Il existe donc des données sanitaires qui peuvent être utilisées et en particulier les données de mortalité de tous les travailleurs du CEV jusqu'à 1994.

#### *2 - Les limites d'un tel choix :*

- L'effet « travailleur sain » : ce type d'étude de mortalité d'une cohorte de travailleurs par comparaison à la mortalité de la population générale est classiquement entaché d'un biais de sélection appelé « effet travailleur sain ». En effet, les populations au travail sont généralement en bonne santé, et ce d'autant plus que leur travail est dur, les personnes malades quittant le travail. Mais cet effet, qui est particulièrement marqué à l'embauche, s'estompe progressivement avec le temps.<sup>53</sup> La durée de suivi des travailleurs du CEV et l'étude de mortalité après le départ en inactivité réduisent sensiblement l'effet travailleur sain dans le cas de Vaujours.

- La population des travailleurs ne reflète pas une exposition que des riverains pourraient avoir subi par voie digestive, suite à la consommation de végétaux cultivés sur place ou d'eau provenant d'une origine locale. Sur ce point, l'absence de contamination à l'extérieur du fort et du site ainsi que l'étude hydrogéologique ont apporté des éléments d'appréciation complémentaires objectifs avec des teneurs en uranium dans l'eau des puits variant entre 2 et 9 µg/l.

- La durée d'exposition des travailleurs se limite aux jours et heures ouvrées alors que certains riverains peuvent être présents dans leur commune 24 heures sur 24 heures, tout au long de l'année. En revanche, les concentrations d'uranium naturel ou appauvri dans l'air auxquels les agents de Vaujours ont été potentiellement soumis auraient été supérieures à celles des

---

<sup>53</sup> M. GOLDBERG, D. LUCE, 2001.

riverains (proximité des zones de firs). De plus, il est très peu probable que les niveaux d'exposition des riverains se soient situés au dessus de ceux des travailleurs. En effet, les mesures de radioactivité réalisées à l'extérieur du fort, et qui intègrent l'ensemble de l'activité « uranium » sur toute la période de fonctionnement, se situent au niveau de la moyenne enregistrée en Ile-de-France.

## **B - Sur les données sanitaires**

### ***1 - La disponibilité des données est en soi un facteur limitant :***

Cette étude a été réalisée grâce aux données disponibles documentant l'état de santé de la population des travailleurs de Vaujours. Il s'agit d'une part des données relatives aux maladies professionnelles déclarées et reconnues et d'autre part des données de mortalité par cause de l'ensemble de la cohorte des travailleurs du site (2473 personnes entre 1956 et 1995), les données de morbidité issues de la surveillance médicale systématique des travailleurs n'ayant pu être rassemblées systématiquement, mis à part les résultats du monitoring biologique et radiologique des travailleurs dits « exposés ».

L'étude de la mortalité par cause de l'ensemble de la cohorte des du site de Vaujours, suivis entre 1955 et 1995, a permis de comparer la mortalité de cette population à celle que l'on attendrait si elle se comportait comme la population générale française (à âge égal). La durée du suivi des travailleurs de Vaujours permet d'analyser les causes de décès survenus postérieurement à la période d'activité des personnes. Ceci n'est pas possible sur des données de morbidité issues de la médecine du travail qui, par définition, cesse sa surveillance au moment du départ en retraite des travailleurs. Cette notion est particulièrement importante pour l'étude d'éventuels effets différés, comme les cancers par exemple.

Enfin, certaines données globalisées produites par le CEA intègrent les résultats du suivi médical des travailleurs des entreprises sous-traitantes s'il y en avait, sans les distinguer, ce qui serait de toute façon contraire à la législation du travail<sup>54</sup>.

### ***2 - Limites à l'interprétation de ces données :***

#### ***☛ Les données concernant les maladies professionnelles :***

Les maladies professionnelles déclarées et reconnues parmi les personnels du site de Vaujours sont peu nombreuses et concernent plusieurs tableaux de maladies professionnelles du régime général de la Sécurité Sociale. Ceci montre que ces travailleurs ont pu être exposés à des nuisances diverses (amiante, solvants chlorés, amines aromatiques, bruit,...) autre que l'uranium. D'une manière générale pour qu'une maladie professionnelle soit reconnue, il faut deux conditions impératives : 1) avoir une des maladies décrites dans les tableaux existants ; 2) avoir été exposé à une des nuisances décrites dans le tableau correspondant. Aussi, lorsqu'il y a des maladies reconnues, cela peut être un indicateur indirect d'exposition dans l'entreprise ; à l'inverse, lorsqu'il n'y a pas de maladie professionnelle reconnue ni même déclarée, cela ne veut rien dire. Cette source d'information a donc des limites inhérentes qui en font une source beaucoup moins bonne que celle des données de mortalité, et donc peu fiable. Néanmoins, cette recherche devait être faite, puisque ces données de santé existaient.

---

<sup>54</sup> Code du Travail, décret n°92-158 du 20 février 1992

☞ *Pour les données de mortalité :*

Les limites de l'interprétation sont :

- le faible nombre de décès dans une cohorte à effectif réduit (au plan statistique),
- l'indicateur d'exposition retenu : la caractérisation individuelle des expositions professionnelles des sujets de l'étude n'a pas été possible avec les données existantes et seule la durée de séjour professionnel sur le site de Vaujourns a pu être prise en compte, comme indicateur indirect d'exposition. De plus, en l'absence de données précises sur les activités exercées par les travailleurs, qui aurait pu permettre une meilleure connaissance des expositions professionnelles éventuelles, l'analyse a été réalisée en fonction de la catégorie socio-professionnelle à l'embauche.
- l'effet « travailleur sain », largement atténué par la durée de suivi de ces employés.

☞ *Les données du monitoring biologique ou radiologique :*

Il s'agit de données intéressantes, en particulier pour la médecine du travail. Elles permettent de quantifier, pour les travailleurs surveillés, la dose effectivement reçue par chacun. Chaînée avec des données de mortalité, elles renseignent très précisément sur le lien entre la dose reçue par un travailleur et le risque de survenue d'une pathologie, classiquement appelée la « dose-effet ».

Dans notre étude, les données n'ont pu être chaînées. Leur intérêt s'est limité à indiquer un ordre de grandeur des expositions des travailleurs « exposés ». Leur existence reflète indirectement la nature et la qualité du suivi assuré par le service de médecine du travail du CEV.

**B - Quelles expositions pour les populations riveraines ?**

L'objectif de ce travail consistait à croiser des données sanitaires à des informations pouvant aider à évaluer rétrospectivement les expositions (voir cahier des charges), telles :

- Des données sur les quantités d'uranium utilisées sur le site (1200 kg dont environ 150 dispersés sur le site) ;
- Les données de métrologie environnementales des aérosols réalisées sur les zones de tirs et susceptibles de fournir d'une part un ordre de grandeur sur les concentrations d'U./m<sup>3</sup> lors des tirs et d'autre part des éléments sur la granulométrie et la composition chimique des aérosols produits ;
- Les mesures de la radioactivité résiduelle sur le fort et à l'extérieur de celui-ci.

Les données de la surveillance environnementale des aérosols n'ont pas été fournies au groupe santé à la date de la rédaction de ce rapport. Concernant les quantités d'uranium utilisées sur le site, le CEA précise que la quantité maximale impliquée lors d'un tir aurait été de 10 kg.

Le groupe santé a donc complété la recherche d'informations par des données bibliographiques.

- Les études réalisées après les conflits du Golfe et du Kosovo<sup>55</sup> par les experts internationaux se sont attachées à évaluer l'impact environnemental des tirs d'obus et de missiles :

- L'explosion d'un obus contenant 4,85 kg d'uranium (50% volatilisé) entraînerait une dispersion des aérosols sur un rayon de 10 mètres (et sur une profondeur de 10 cm) ; la contamination du sol s'élèverait à environ 96 mg/kg de terre<sup>56</sup>. Cette valeur peut être observée naturellement dans certains sols.
- L'impact d'un obus flèche (4 kg d'uranium naturel ou appauvri) ne contamine pas l'environnement dans un rayon de plus de 100 mètres et les niveaux de contamination sont tels qu'il est très difficile de mettre en évidence la présence d'uranium dans les sols.

Sur le site de Vaujours, en raison du relief (remblais, merlon, rideaux d'arbres), la redépôt des poussières d'uranium naturel pouvait s'effectuer sur un rayon moindre.

- Ces études ont également essayé d'évaluer les conséquences en terme d'exposition des populations civiles aux retombées. Ainsi, l'impact d'un missile Tomawak<sup>57</sup> (400 kg d'uranium naturel ou appauvri) entraînerait une dose efficace engagée (calculée sur 50 ans) de 0,3 mSv pour un individu situé à 100 mètres et voisine de 0,01 mSv pour un individu situé à 1 kilomètre. Dans ce cas la dose résulte essentiellement de l'incorporation lors du passage du nuage. Les dépôts au sol à 100 mètres sont évalués à 10 kBq/m<sup>2</sup> (un sol est considéré comme inutilisable pour l'agriculture quand le dépôt dépasse 70 kBq/m<sup>2</sup>). Il faut préciser que les codes de calcul utilisés ne prennent généralement en compte ni le relief, ni la végétation. On rappelle également que les niveaux naturels de l'activité des sols de Vaujours sont estimés de 40 à 50 Bq/kg.<sup>58</sup>

Concernant Vaujours, deux situations sont à distinguer : l'exposition des riverains durant l'activité sur le site que nous appelons « **exposition passée** » et l'exposition actuelle de la population que nous appelons « **exposition résiduelle** ». par ailleurs, deux grandes voies d'exposition sont envisagées : la **voie respiratoire** et la **voie digestive**.

### *1 - La voie respiratoire*

☞ L'exposition passée :

Il est difficile de reconstituer la contamination du site pendant sa période d'activité en raison de la remise en état effectuée par le CEA avant l'enquête publique. Les informations recueillies concernant la période d'activité, les quantités d'uranium mises en jeu, leur dispersion limitée d'une part et d'autre part les mesures de la radioactivité résiduelle dans le sol semblent indiquer que les expositions des travailleurs se sont situées au niveau des faibles doses.

---

<sup>55</sup>OMS, 2001

<sup>56</sup>OMS, 2001

<sup>57</sup>M. DURANTE and M. PUGLIESE, Health and Physics, January 2002, vol 82(1), 14-20

<sup>58</sup>Données CEA – Rapport Technique « Radioactivité des sols du centre de Vaujours prélevés en juin et juillet 2001 » - Document n°E.P., A-24300-00-20-01-01

☞ L'exposition actuelle (relative à une contamination résiduelle du site)

Les mesures radiologiques des sols ainsi que les éléments de connaissances concernant l'hydrogéologie du site (voir rapports du groupe technique) tendent à confirmer le caractère minimal voire l'absence de contamination résiduelle, en particulier à l'extérieur du site.

## **2 - La voie digestive**

Les riverains peuvent-ils avoir été exposés à une contamination par voie digestive à partir d'une production maraîchère locale et la consommation d'eau des puits (arrosage des cultures) ?

- Les études hydrogéologiques (et les débats en commission de suivi) ont écarté cette hypothèse d'exposition du fait de l'absence de puisage dans la nappe sous le fort.
- La contamination des maraîchages par la redéposition d'aérosols dispersés dans un nuage ne peut être exclue. Cependant les quantités concernées sont sans doute très faibles compte-tenu des enseignements sur la dispersion de matière lors des tirs (cf supra) et des mesures réalisées à l'extérieur du fort et du site (niveaux de radioactivité dans le rang du « bruit de fond » francilien).

## **C - Conséquences en termes de risque pour les riverains**

### **1 - Rappel de définitions**

- Un danger (pour la santé de l'homme) : c'est la propriété intrinsèque d'un agent chimique, biologique ou physique à générer un dysfonctionnement cellulaire ou organique, ou un effet sanitaire indésirable tels une maladie, un handicap, un traumatisme ou un décès ;
- L'exposition : c'est la ou les situations de mise en contact du polluant (« danger ») avec l'homme ; elle est fonction de la concentration du polluant dans le milieu où il se trouve (eau, air, sol, aliment,...), de la voie d'exposition (respiratoire, digestive, cutanée), de la durée de ce contact,...
- Risque : « danger » X « exposition »

Le risque est la probabilité d'apparition d'un événement (maladie ou décès) pour un individu ou une population donnés, exposés à un danger précis pendant une période de temps donnée.

### **2 - Risques pour les riverains**

☞ Concernant l'exposition passée :

- Par voie respiratoire : Selon une hypothèse maximaliste, l'exposition des riverains liée à l'activité passée a été du même ordre de grandeur que celle des travailleurs, donc au niveau des faibles doses. Bien que ne disposant pas de données directes d'exposition sur le passé, les résultats issus des données de mortalité sont rassurants. Enfin, l'uranium étant un radionucléide rémanent dans les sols, les mesures actuelles intègrent une éventuelle contamination passée. Ces résultats donnent des niveaux de l'ordre du bruit de fond de la région ; il est donc peu probable que les riverain aient été exposés au-delà de cette radioactivité naturelle des sols.

- Par voie digestive, l'exposition digestive peut être considérée comme très faible voire nulle (cf supra).

⇒ **Le risque - « danger » x « exposition » - est donc faible à nul.**

☞ Concernant l'exposition actuelle :

Les niveaux de radioactivité retrouvés étant identiques au bruit de fond de la région, il n'existe **pas d'exposition supplémentaire** des riverains du CEV par rapport à celle de l'ensemble des franciliens (on rappelle que nous sommes tous soumis aux rayonnements cosmiques et terrestres). Il n'y a donc **pas de risque supplémentaire pour les populations riveraines** lié à la proximité du site.

#### D - Y a-t-il des suites à donner ?

Si les études du groupe technique avaient mis en évidence une radioactivité résiduelle accrue des sols par rapport au bruit de fond local, la démarche sanitaire à engager secondairement aurait été une évaluation quantifiée des risques (EQR) pour la population vivant aux alentours<sup>59</sup>. Une telle étude ne paraît donc pas opportune ici.

En ce qui concerne la demande renouvelée des associations pour une étude épidémiologique des populations riveraines, ce type d'étude ne saurait répondre aux inquiétudes du public. Il s'agit là d'une question de méthode. La taille de la population des trois communes étant relativement réduite, et leur excès d'exposition par rapport à l'exposition naturelle très faible (voire nul), l'éventuel effet sanitaire lié à la proximité du site serait de faible amplitude et quasi impossible à mettre en évidence par une étude épidémiologique, d'autant qu'il n'y a pas d'hypothèse précise sur l'effet à rechercher.

La recherche de toutes les personnes ayant résidé sur les trois communes depuis les années 50 pour les interroger (directement ou par l'intermédiaire d'un proche pour les personnes décédées) sur la survenue d'un cancer (il n'existe pas de registre des cancers en Ile-de-France) représenterait un travail considérable et difficile à réaliser, alors que son intérêt est discutable au vu du peu de résultats qu'on peut en attendre.

En l'état actuel des informations recueillies, tant au niveau sanitaire qu'environnemental, le risque - s'il existe - se situe à un niveau extrêmement bas. Le Centre International de Recherche sur le Cancer poursuit les investigations sur les cohortes des travailleurs du nucléaire. Les conclusions de leur travail permettront une approche plus précise des niveaux de risque aux faibles doses et de leur éventuelle prise en charge sanitaire.

---

<sup>59</sup> Cette méthode consiste à partir des concentrations de polluants trouvés dans le sol (ou l'air), puis en envisageant différents scénarii d'exposition des riverains (le cas de la ménagère à la maison, du cultivateur, des enfants, ...) à calculer les risques pour la santé. Elle permet de mettre en évidence des risques très faibles (inférieurs à 10<sup>-6</sup>). Une étude de ce type relève par ailleurs d'un organisme spécialisé.

## VII CONCLUSIONS

L'uranium naturel et l'uranium appauvri présentent une toxicité chimique réelle (rénale). Ils sont considérés faiblement radioactifs. Ils ne sont pas classés en tant que tels comme cancérigènes par l'US-EPA et le CIRC. Cependant les oxydes insolubles inhalés constituent une source d'exposition interne à des rayonnements  $\alpha$  (cancérigènes certains = catégorie 1, selon le CIRC). Compte tenu de leur cinétique dans l'organisme, les organes cibles sont le poumon, le système lymphatique, le rein et l'os.

Les études épidémiologiques ne permettent pas de confirmer l'augmentation du risque de cancer liée à une exposition à l'uranium dans les cohortes de travailleurs étudiées. La réalisation de ces études est confrontée à des difficultés d'ordre méthodologique et elles parviennent difficilement à contrôler les facteurs de confusion existants. Ces études permettent malgré tout de situer le risque à un niveau faible.

Dans le cas particulier de VAUJOURS, l'analyse de la mortalité de la cohorte des travailleurs montre globalement une sous-mortalité toute cause et par tumeur dans la population des hommes, et un excès de décès par cancer dans la population des femmes cadres. Ces résultats sont tout à fait conformes à ce qu'on pouvait attendre.

Les données sanitaires et les investigations environnementales conduisent à estimer que le niveau d'exposition des riverains pendant la période d'activité s'est situé au niveau des faibles doses. Les analyses réalisées pour caractériser la contamination résiduelle placent l'exposition actuelle des riverains à un niveau extrêmement faible – non détectable.

Enfin rappelons que le site, dont historiquement l'activité principale fut la pyrotechnie, devrait faire l'objet de servitudes pour écarter tout risque lié à une exposition du public.

**En l'état actuel des informations recueillies sur le site, et vu les conclusions du groupe technique, il semble raisonnable de rassurer les riverains.**

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88  
89  
90  
91  
92  
93  
94  
95  
96  
97  
98  
99  
100