

# La radioprotection des travailleurs

Activités de l'IRSN en 2005  
dans le domaine de la gestion de la radioprotection

DIRECTION DE LA RADIOPROTECTION DE L'HOMME

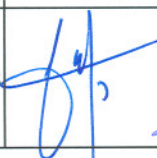
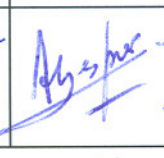
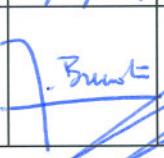
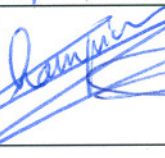
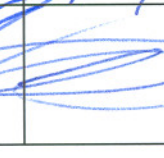
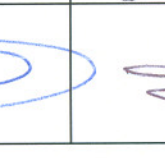
Demandeur	IRSN
Référence de la demande	
Numéro de la fiche programme	

## La radioprotection des travailleurs

### Activités de l'IRSN en 2005 dans le domaine de la gestion de la radioprotection

Alain RANNOU (coordinateur), Roselyne AMEON, Patrice BOISSON, Isabelle CLAIRAND, Olivier COUASNON, Didier FRANCK, Pascale SCANFF, Jean-Luc REHEL, Myriam THEVENET

Rapport DRPH/2006-09

	Réservé à l'unité	Vérificateurs*		Visas pour diffusion		
	Auteur(s)	UETP	DRPH	Directeur de la DEI	Directeur de la DRPH	Directeur Général de l'IRSN
Noms	A. RANNOU	A. DESPRES	J. BRENOT	D. CHAMPION	P. GOURMELON	J. REPUSSARD
Dates	04/12/06	20/12/06	08/01/2007	8/01/2007	8/01/2007	10/01/07
Signatures						

\* Rapport sous assurance de la qualité

---

---

### RESUME

Ce rapport présente les principaux travaux menés par l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) en 2005 dans le domaine de la gestion de la radioprotection des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants. Il dresse un bilan pour cette même année des expositions externes des travailleurs en France, établi sur la base des données de dosimétrie passive transmises à l'IRSN par les laboratoires de dosimétrie agréés.

---

---

### ABSTRACT

This report presents the main work carried out by the Institute of Radiation Protection and Nuclear Safety (IRSN) in the year 2005 for the management of occupational radiological protection. It draws up an assessment for this same year of the occupational external exposures to ionizing radiation in France on the basis of passive dosimetry data transmitted to the IRSN by the approved dosimetric laboratories.

---

---

### MOTS-CLES

Travailleurs, doses, bilan des expositions, poste de travail, incidents

---

---

### HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Version	Date	Auteur	Pages ou paragraphes modifiés	Description ou commentaires

---

---

### LISTE DES PARTICIPANTS

Nom	Organisme

---

---

### LISTE DE DIFFUSION

Diffusion libre                       Diffusion limitée

Nom	Organisme

# SOMMAIRE

<b>1. LA PROTECTION DES TRAVAILLEURS AU CŒUR DES MISSIONS DE L'IRSN</b> .....	<b>6</b>
<b>2. AVIS REGLEMENTAIRES</b> .....	<b>6</b>
2.1. DISPENSES CAMARI .....	6
2.2. PROJETS DE TEXTES REGLEMENTAIRES .....	7
<b>3. AGREMENT DES ORGANISMES DE DOSIMETRIE</b> .....	<b>7</b>
3.1. AVIS DE L'IRSN SUR L'ADEQUATION DES TECHNIQUES DE DOSIMETRIE AVEC LA SURVEILLANCE INDIVIDUELLE DES TRAVAILLEURS.....	7
3.2. INTERCOMPARAISON DES LABORATOIRES EN ANTHROPORADIOMETRIE .....	8
3.3. INTERCOMPARAISON DES LABORATOIRES EN RADIOTOXICOLOGIE .....	9
<b>4. EXPOSITION DES TRAVAILLEURS A LA RADIOACTIVITE NATURELLE</b> .....	<b>10</b>
4.1. ACTIVITES INDUSTRIELLES DE TYPE « NORM » .....	10
4.2. RADON 222 .....	10
4.2.1. Mesures de l'activité volumique du radon 222 dans les cavités karstiques.....	10
4.2.2. Caractérisation de l'atmosphère intérieure de locaux souterrains de la Marine nationale .....	11
<b>5. ETUDES DE POSTES DE TRAVAIL</b> .....	<b>11</b>
5.1. CONTEXTE REGLEMENTAIRE.....	11
5.2. LE PLATEAU TECHNIQUE DE L'IRSN.....	11
5.3. EXEMPLES D'ETUDES DE POSTES REALISEES EN 2005 .....	11
5.3.1. Etude de postes de travail dans des usines d'incinération de boues d'épuration ..	11
5.3.2. Etude de poste de travail auprès de convois SNCF transportant des matières radioactives .....	12
5.3.3. Etude du rayonnement neutronique secondaire auprès d'accélérateurs médicaux	13
5.3.4. Etudes de poste en radiologie conventionnelle et radiologie interventionnelle à l'hôpital Raymond POINCARE (AP-HP) .....	13
5.3.5. Etude de poste en salle de radiologie cardio-vasculaire interventionnelle à l'hôpital Antoine BECLERE (AP-HP).....	15
5.4. REDACTION D'UN GUIDE METHODOLOGIQUE D'AIDE A LA REALISATION D'ETUDES DE POSTES DE TRAVAIL.....	16
<b>6. SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS EN RADIOPROTECTION</b> .....	<b>18</b>
<b>7. SYSTEME SISERI</b> .....	<b>16</b>
<b>8. BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES DES TRAVAILLEURS EN 2005</b> .....	<b>19</b>
8.1. MODALITES DE SURVEILLANCE.....	19
8.2. METHODOLOGIE ET HYPOTHESES RETENUES .....	19
8.3. ANALYSE DES RESULTATS PAR SECTEURS D'ACTIVITE POUR L'ANNEE 2005.....	21
8.3.1. Résultats généraux.....	21
8.3.2. Dépassements de la limite annuelle réglementaire de 20 mSv .....	23

8.3.3. Analyses par domaines d'activité.....	24
8.3.4. Evolutions par rapport aux années précédentes (période 1996 - 2005) .....	27
8.4. DOSIMETRIES COMPLEMENTAIRES .....	32
8.4.1. Dosimétrie des neutrons (corps entier).....	32
8.4.2. Dosimétrie des extrémités.....	33
8.5. FOCUS : L'ACTIVITE DE GAMMAGRAPHIE INDUSTRIELLE .....	35
8.5.1. Contexte.....	35
8.5.2. Bilan de l'exposition externe pour l'activité de gammagraphie industrielle.....	35
8.6. CONCLUSION .....	36
8.7. PERSPECTIVES .....	36
<b>9. EXPOSITIONS INTERNES DES TRAVAILLEURS SUIVIS PAR L'IRSN EN 2005 .....</b>	<b>37</b>
<b>10. REFERENCES EN 2004.....</b>	<b>39</b>
<b>11. ANNEXE : BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES PROFESSIONNELLES EN 2004 .....</b>	<b>39</b>

# 1. LA PROTECTION DES TRAVAILLEURS AU CŒUR DES MISSIONS DE L'IRSN

L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), créé par la loi du 9 mai 2001 et dont les missions sont précisées par le décret n°2002-254 du 22 février 2002, est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) placé sous la tutelle conjointe des ministres chargés de la Défense, de l'Environnement, de l'Industrie, de la Recherche et de la Santé. La création de l'IRSN est à rapprocher de celle des agences de sécurité sanitaire. Comme elles, l'institut joue un rôle actif dans l'information du public dans ses domaines de compétences : les risques nucléaires et radiologiques.

L'institut qui rassemble près de 1 600 salariés, parmi lesquels de nombreux experts et chercheurs de compétences variées (physiciens, chimistes, géologues, médecins, biologistes, épidémiologistes...), réalise des recherches, des expertises et des travaux afin de maîtriser les risques associés aux rayonnements ionisants utilisés dans l'industrie ou la médecine, ou encore aux rayonnements naturels. Plus précisément, l'IRSN exerce ses missions d'expertise et de recherche dans les domaines suivants :

- la sûreté des installations nucléaires, y compris celles intéressant la défense,
- la sûreté des transports de matières radioactives et fissiles,
- la protection des travailleurs et de la population contre les rayonnements ionisants,
- la protection de l'environnement contre les rayonnements ionisants,
- la protection et le contrôle des matières nucléaires et des produits susceptibles de concourir à la fabrication d'armes,
- la protection des installations et des transports contre les actions de malveillance.

Les activités de recherche, souvent réalisées dans le cadre de programmes internationaux, permettent à l'IRSN de maintenir et de développer son expertise et d'asseoir sa position internationale de spécialiste des risques dans ses domaines de compétence.

En 2005, les recettes de l'IRSN s'élèvent à 287 millions d'euros dont 82 % proviennent de la subvention du programme 189 de la LOLF, le reste provenant notamment de recettes externes issues de contrats avec des organismes nationaux et internationaux.

Pour ce qui concerne la radioprotection des travailleurs, l'IRSN apporte un appui technique au ministère chargé du travail (Direction Générale du Travail) et mène des études pour ses propres besoins d'expertise ou pour répondre à des demandes extérieures.

Le présent rapport présente une synthèse des principaux travaux réalisés en 2005 dans ce domaine par l'institut.

## 2. AVIS REGLEMENTAIRES

### 2.1. DISPENSES CAMARI

Les textes du code du travail relatifs au certificat d'aptitude à la manipulation d'appareils de radiologie industrielle (CAMARI) et aux modalités de dispense n'ont pas été revus. Les demandes d'avis par les Directions régionales du travail prévues par ces textes dans la procédure de dispense de CAMARI sont traitées à l'Unité d'Expertise des Sources (UES). En 2005, six avis ont ainsi été rendus aux Directions régionales du travail. Fin 2005, plusieurs demandes étaient en cours de traitement par l'UES.



## 2.2. PROJETS DE TEXTES REGLEMENTAIRES

Au cours de l'année 2005, l'IRSN a participé aux groupes de travail mis en place par les autorités pour élaborer les arrêtés suivants concernant la radioprotection des travailleurs :

- Arrêté du 26 octobre 2005 *relatif aux modalités de formation de la personne compétente en radioprotection et de certification du formateur ;*
- Arrêté du 13 janvier 2006 *modifiant l'arrêté du 26 octobre 2005 relatif aux modalités de formation de la personne compétente en radioprotection et de certification du formateur ;*
- Arrêté du 15 mai 2006 *relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et contrôlées et des zones spécialement réglementées ou interdites compte tenu de l'exposition aux rayonnements ionisants, ainsi qu'aux règles d'hygiène, de sécurité et d'entretien qui y sont imposées.*

Conformément aux dispositions prévues au code du travail, l'IRSN a rendu un avis sur les projets de ces 3 arrêtés ainsi que sur ceux des 2 arrêtés suivants :

- Arrêté du 26 octobre 2005 *définissant les modalités de contrôle de radioprotection en application des articles R. 231-84 du code du travail et R. 1333-44 du code de la santé publique ;*
- Arrêté du 25 mai 2005 *relatif aux activités professionnelles mettant en oeuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides non utilisés en raison de leurs propriétés radioactives.*

## 3. AGREMENT DES ORGANISMES DE DOSIMETRIE

Les mesures de l'exposition des travailleurs sont assurées par les laboratoires de l'IRSN ou par des organismes agréés par le ministère du travail. Elles permettent, d'une part de prévenir les risques de dépassement des limites réglementaires tout en maintenant aussi bas que possible l'exposition, d'autre part de contribuer au suivi médical des travailleurs exposés.

Conformément aux dispositions du décret n° 2003-296 du 31 mars 2003 et de l'arrêté du 6 décembre 2003 *relatif aux conditions de délivrance du certificat et de l'agrément pour les organismes en charge de la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants*, l'IRSN a deux missions importantes dans le processus d'agrément des laboratoires de surveillance dosimétrique :

- organiser les intercomparaisons entre ces laboratoires pour vérifier la qualité des mesures au cours du temps ;
- émettre un avis sur l'adéquation des matériels et des méthodes de dosimétrie de ces laboratoires avec la surveillance individuelle des travailleurs.

Ce processus permet *in fine* à la Direction Générale du Travail de se prononcer sur les demandes d'agrément des laboratoires et contribue à garantir la qualité des données d'exposition recueillies ultérieurement dans le système SISERI (cf. § 6).

### 3.1. AVIS DE L'IRSN SUR L'ADEQUATION DES TECHNIQUES DE DOSIMETRIE AVEC LA SURVEILLANCE INDIVIDUELLE DES TRAVAILLEURS

Au cours de l'année 2005, deux organismes de dosimétrie externe ont demandé l'avis de l'IRSN sur l'adéquation de leurs matériels et méthodes avec la surveillance individuelle des travailleurs. Ces deux organismes ayant reçu un avis favorable de l'institut ont été agréés par l'arrêté du 31 décembre 2005 *portant agrément d'organismes chargés d'effectuer la surveillance de l'exposition externe des travailleurs soumis aux rayonnements ionisants*. De la même façon, trois laboratoires d'analyse de biologie médicale (LABM) en charge de la surveillance de l'exposition interne des travailleurs ont obtenu un avis favorable de l'IRSN puis ont été agréés par l'arrêté du 31 décembre 2005.

### 3.2. INTERCOMPARAISON DES LABORATOIRES EN ANTHROPORADIOMETRIE

L'une des techniques de choix pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs est l'anthroporadiométrie, c'est-à-dire la mesure directe de la contamination interne de l'organisme à l'aide de détecteurs appropriés. La première intercomparaison en anthroporadiométrie organisée par l'IRSN dans le nouveau contexte réglementaire s'est déroulée entre mai 2003 et septembre 2004. Elle a porté sur 13 installations anthroporadiométriques appartenant à cinq organismes différents. Les résultats de cette intercomparaison ont été exploités au cours de l'année 2005.

L'intercomparaison a concerné la mesure d'émetteurs  $\gamma$  d'énergie supérieure à 200 keV (typiquement les produits de fission et d'activation) répartis uniformément dans le corps. Les mesures ont été réalisées sur les installations de chaque laboratoire, dans les conditions de routine, à l'aide d'un fantôme anthropomorphe « Igor » de l'IRSN qui permet de simuler des individus de différentes corpulences contaminés par différents types de radionucléides (potassium 40, cobalt 60 et césium 137).

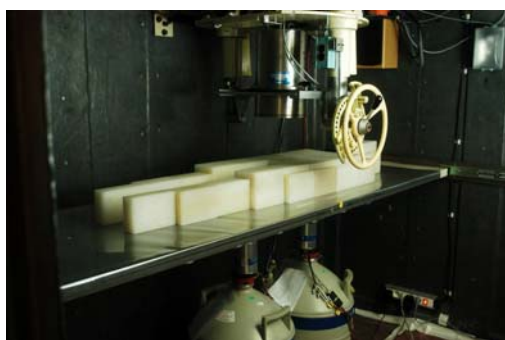


Figure 1 : Mesure du fantôme IGOR en position allongée

La photo (Figure 1) est un exemple de mesure d'IGOR dans une configuration allongée. A titre d'exemple, la figure 2 présente les résultats obtenus pour la mesure du césium 137.

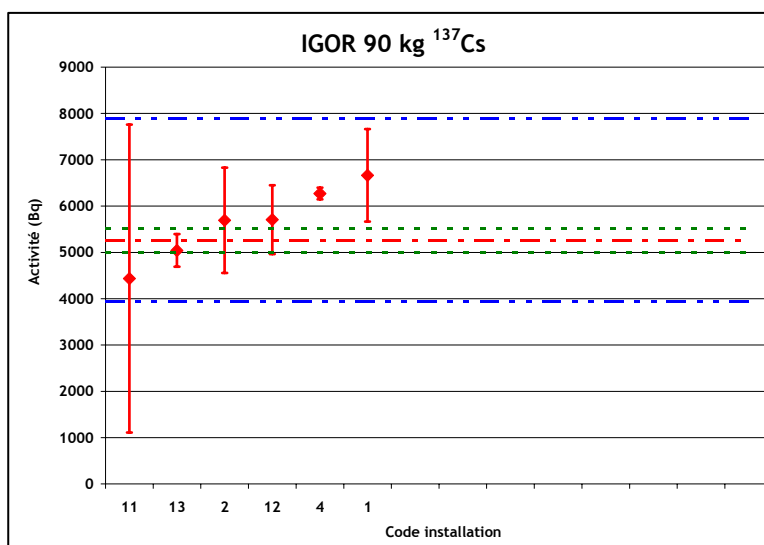


Figure 2 - Présentation graphique des résultats en  $^{137}\text{Cs}$  pour IGOR 90 kg

Les résultats montrent que l'estimation de l'activité en césium 137 présente des fluctuations autour de la valeur cible conformes à la norme. En revanche, la quantification exacte des activités en cobalt 60 et en potassium 40 s'avère difficile sur des installations d'anthroporadiométrie munies de détecteurs à scintillation de type iodure de sodium.



Les éléments de base servant au calcul des limites de détection ayant été fournis par les laboratoires, deux limites de détection en cobalt 60 et une limite de détection en césium 137 ont pu être calculées de la même manière pour toutes les installations. Par ailleurs, des commentaires ont été effectués sur les caractéristiques des installations grâce aux informations données par les participants.

### 3.3. INTERCOMPARAISON DES LABORATOIRES EN RADIOTOXICOLOGIE

Le Laboratoire d'analyses médicales radiotoxicologiques (LAMR) de l'IRSN organise tous les ans une intercomparaison sur des échantillons urinaires contenant un ou plusieurs radionucléides à une activité déterminée. En 2005, cette intercomparaison a concerné 10 laboratoires d'analyses de biologie médicale (LABM).

Les échantillons urinaires préparés par l'IRSN ont été envoyés aux participants pour analyse. Les radionucléides mesurés dans le cadre de cette intercomparaison 2005 étaient les suivants :  $^{238-239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{244}\text{Cm}$ ,  $^{234-235-238}\text{U}$ ,  $^{228-230-232}\text{Th}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ .

Les résultats des analyses pratiquées par les laboratoires participants sont présentés sous forme de tableaux et graphes situant la valeur obtenue par le laboratoire par rapport à la valeur cible attendue. L'incertitude combinée élargie (facteur d'élargissement  $k=2$ ) associée à l'activité des radionucléides contenus dans les échantillons à analyser est déterminée pour un intervalle de confiance de 95 %.

Cette présentation permet à chaque laboratoire de situer ses résultats par rapport :

- aux valeurs cibles des activités des radionucléides introduits dans chaque échantillon,
- à la plage [-25 % à +50 %] par rapport à la valeur cible,
- aux valeurs des activités déterminées par les autres laboratoires participants.

Un exemple de présentation des résultats est donné à la figure 3.

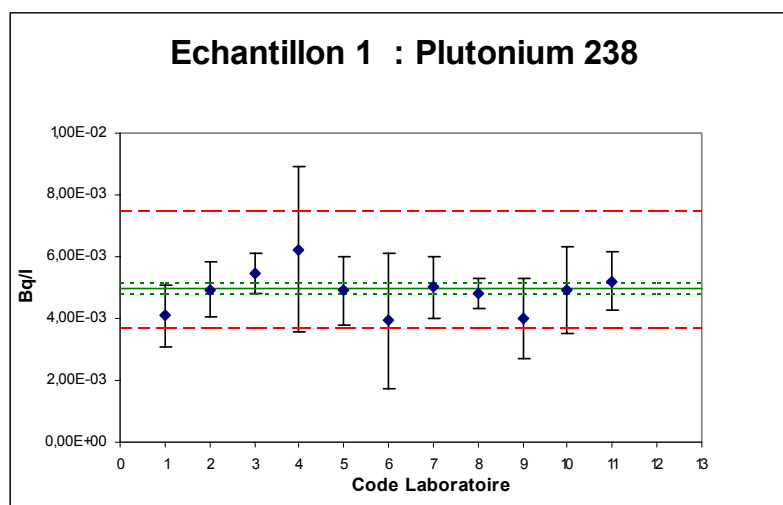


Figure 3 - Exemple de présentation graphique des résultats de l'intercomparaison en radiotoxicologie pour le plutonium 238.

Les résultats des 305 mesures réalisées par les participants ont été globalement satisfaisants puisque 92% d'entre eux étaient dans les bornes de tolérance définies par la norme ISO 12790-1 ("critères de performance pour l'analyse radiotoxicologique"). Les résultats de cette intercomparaison permettent aux laboratoires de revoir en tant que de besoin leurs protocoles de mesure.

## 4. EXPOSITION DES TRAVAILLEURS A LA RADIOACTIVITE NATURELLE

### 4.1. ACTIVITES INDUSTRIELLES DE TYPE « NORM »

Certaines activités industrielles telles que la production de céramiques réfractaires, la combustion de charbon en centrales thermiques ou encore le traitement de minerais d'étain, d'aluminium, etc. mettent en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides (chaînes de l'uranium et du thorium). La manipulation et la transformation de ces matières qualifiées de « NORM<sup>1</sup> » peuvent entraîner une augmentation notable de l'exposition des travailleurs ou de celle des populations.

Cette problématique des « expositions naturelles renforcées » a été prise en compte pour la première fois au plan réglementaire par des dispositions introduites dans le code du travail par le décret 2003-296 et définies plus précisément par l'arrêté du 25 mai 2005 *relatif aux activités professionnelles mettant en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides non utilisés en raison de leurs propriétés radioactives*. La réglementation impose notamment aux chefs d'établissements concernés de réaliser une évaluation des doses reçues par les travailleurs.

Dans ce contexte, les pouvoirs publics ont demandé à l'IRSN d'analyser les dossiers des exploitants visés par l'annexe 1 de l'arrêté du 25 mai 2005 ayant réalisé des études et d'effectuer un premier retour d'expérience sur la mise en application du récent arrêté. Malgré un nombre important d'établissements potentiellement concernés, la démarche ne s'est mise en place que lentement en 2005.

Pour répondre aux besoins spécifiques de cette demande, l'IRSN a construit une fiche d'analyse des évaluations des doses efficaces reçues par les travailleurs et les populations vivant dans l'environnement proche des industries de type « NORM ». Cette fiche inspirée du « guide méthodologique pour l'acceptation des déchets présentant une radioactivité naturelle dans les installations classées d'élimination »<sup>2</sup> s'accompagne d'une grille de notation. Elle est destinée aux services déconcentrés de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN).

### 4.2. RADON 222

#### 4.2.1. Mesures de l'activité volumique du radon 222 dans les cavités karstiques

A la demande du Ministère de la Culture et de la Communication, des mesures de l'activité volumique du radon 222 ont été réalisées dans cinq grottes ornées (Font-de-Gaume, Combarelles, Lascaux, Niaux et Chauvet) au cours de l'hiver 2004/2005. Ces grottes sont fréquentées par des guides, notamment celles ouvertes au public, et par des scientifiques. Cette demande entre donc dans le cadre de l'application des dispositions du décret 2003-296 du 31 mars 2003 relatif à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants mais également de celles du décret 2002-460 du 4 avril 2002 relatif à la protection des personnes.

Les mesures ont montré de fortes disparités tant spatiales que temporelles de l'activité volumique du radon et du facteur d'équilibre entre le gaz et ses descendants. Des valeurs d'activité volumique supérieures au seuil de 400 Bq.m<sup>-3</sup>, fixé par l'article R.231-115 du code du travail, ont été relevées dans quatre des cinq grottes étudiées. L'article R.231-115 du code du travail prévoit qu'en cas de dépassement de ce seuil « le chef d'établissement met en œuvre les actions nécessaires pour réduire l'exposition à un niveau aussi bas que techniquement possible ». Dans le cas des grottes ornées, où la conservation des œuvres pariétales sous-entend la non-modification des conditions atmosphériques des cavités, les techniques classiques de remédiation, utilisées pour réduire les concentrations de radon et fondées sur le principe de la dilution du radon par apport d'air neuf, ne peuvent être mises en œuvre. En conséquence, seule une réduction du temps de présence dans les grottes est envisageable pour réduire l'exposition des personnes.

<sup>1</sup> NORM = Naturally Occurring Radioactive Materials

<sup>2</sup> ce guide est disponible sur le site Internet de l'IRSN ([www.irsn.org](http://www.irsn.org))

Dans le cas particulier de la grotte Chauvet, cavité présentant les concentrations de radon les plus élevées, un suivi mensuel de l'exposition interne due aux émetteurs alpha, entrepris pour les deux guides sur une période de deux mois, a confirmé la présence de radon 222 et de radon 220 dans l'atmosphère de la grotte. Les doses efficaces mensuelles associées à l'inhalation des descendants de ces deux isotopes du radon sont de l'ordre de 250 µSv.

Compte tenu de la variation saisonnière de l'activité volumique dans ce type de cavités karstiques et dans le but d'obtenir une valeur représentative de la valeur moyenne annuelle, des mesures intégrées de l'activité volumique du radon en période estivale sont prévues sur l'année 2006.

#### **4.2.2. Caractérisation de l'atmosphère intérieure de locaux souterrains de la Marine nationale**

A la demande du Ministère de la Défense, l'IRSN a effectué des mesures destinées à caractériser, du point de vue radiologique, l'atmosphère intérieure de certains locaux souterrains. Les mesures intégrées des descendants du radon 222 et du radon 220 ont ainsi permis d'estimer l'exposition des personnels civil et militaire fréquentant ces locaux.

## **5. ETUDES DE POSTES DE TRAVAIL**

### **5.1. CONTEXTE REGLEMENTAIRE**

Dans les établissements ayant des activités nucléaires, le chef d'établissement doit procéder à une analyse des postes de travail en vue de maintenir les expositions professionnelles individuelles et collectives aux rayonnements ionisants au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre (article R. 231-75 du code du travail). L'étude d'un poste de travail nécessite une évaluation des doses susceptibles d'être reçues par les travailleurs. Ceci implique la mise en œuvre d'outils et de méthodes de caractérisation du champ de rayonnement : type de particules, énergie, direction et intensité. Ces informations, auxquelles viennent s'ajouter la connaissance des activités des travailleurs, permettent de déterminer les doses reçues et de définir les dispositions de radioprotection adaptées : classification du personnel, zonage radiologique des locaux, moyens de surveillance dosimétrique, équipements de protection individuels et collectifs.

### **5.2. LE PLATEAU TECHNIQUE DE L'IRSN**

L'IRSN dispose d'un plateau technique composé d'une large gamme d'outils destinés à réaliser des études de poste dans tous les secteurs d'activité concernés par l'exposition externe des travailleurs. L'instrumentation est constituée notamment de radiamètres, de spectromètres, de compteurs proportionnels, de chambres d'ionisation ainsi que de dosimètres passifs et opérationnels. L'étalonnage de cet ensemble d'instruments de mesure est assuré grâce aux installations de l'IRSN délivrant des faisceaux de rayonnements photons, bêta et neutrons de référence. Des outils de calcul fondés sur des techniques analytiques ou de Monte Carlo sont utilisés de façon complémentaire.

### **5.3. EXEMPLES D'ETUDES DE POSTES REALISEES EN 2005**

#### **5.3.1. Etude de postes de travail dans des usines d'incinération de boues d'épuration**

VEOLIA Environnement a sollicité le concours de l'IRSN pour évaluer l'exposition des travailleurs de ses usines de Rouen et de Lyon, en contact avec des cendres provenant de l'incinération de boues d'épuration.

L'étude de la radioactivité des cendres issues de l'incinération de boues d'épuration fait suite aux déclenchements, sur plusieurs centres d'enfouissement technique pour déchets dangereux, des portiques de détection de rayonnements ionisants. Une campagne de mesures a permis d'identifier les radionucléides présents dans les cendres :  $^{40}\text{K}$ ,  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{201}\text{Tl}$ ,  $^{202}\text{Tl}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ . A l'exclusion du  $^{40}\text{K}$  qui est naturellement présent dans l'environnement et du  $^{137}\text{Cs}$ , il s'agit de radionucléides artificiels utilisés dans le domaine médical.

Différents scénarios d'exposition ont été définis après avoir identifié les postes de travail les plus exposés aux cendres (zones de stockage des cendres notamment lors du dépotage ou du remplissage des bennes). Dans les scénarios étudiés, l'exposition externe par irradiation constituait la voie d'exposition contribuant majoritairement à la dose.

Les calculs effectués par l'IRSN montrent que la dose maximale qu'un travailleur peut recevoir en situation normale d'exploitation ne dépasse pas  $0,2 \mu\text{Sv}/\text{an}$ . Dans le cas d'un scénario incidentel (cas de débordement de cendres), la dose annuelle est de l'ordre de  $0,3 \text{ nSv}$ .

Au regard des autres sources d'exposition (expositions aux rayonnements naturels, etc.), ce niveau de dose peut donc être considéré comme trivial et non significatif, et le risque associé à ces doses peut être totalement exclu.

### 5.3.2. Etude de poste de travail auprès de convois SNCF transportant des matières radioactives

La réglementation relative au transport international de marchandises dangereuses par voie de chemin de fer prévoit la rédaction d'un Programme de Protection Radiologique dans le cas de transport de matières radioactives. Dans ce contexte, la SNCF a signé un contrat avec l'IRSN pour la mise en œuvre de campagnes de mesures de doses aux postes de travail auprès des convois couvrant l'ensemble des types de matières radioactives transportées (composés de faible et moyenne activités, nitrate d'uranyle, combustibles irradiés, hexafluorure d'uranium et résidus vitrifiés). Au cours de 2004 et 2005, l'IRSN a caractérisé six types de convois, les trois autres seront étudiés en 2006 (figure 4).



Figure 4 - Mesures dosimétriques et spectrométriques à proximité des convois de transport de matières radioactives.

Pour l'ensemble des convois caractérisés, l'exposition a été estimée en prenant en compte les opérations réalisées en routine et le nombre de wagons des convois. La dose efficace individuelle annuelle estimée n'excède pas une centaine de microsievverts.

### 5.3.3. Etude du rayonnement neutronique secondaire auprès d'accélérateurs médicaux

Les photons et les électrons produits par les accélérateurs médicaux opérant à des énergies supérieures à 8-10 MeV génèrent un champ neutronique secondaire par des réactions de type  $(e ; e' n)$  et  $(\gamma ; n)$  dans les matériaux composant la tête de l'appareil, le patient et la salle de traitement.

L'intensité et la distribution en énergie de ce champ secondaire et l'activation neutronique résultante, ainsi que leur impact sur l'exposition du patient et du personnel, varient en fonction du type d'accélérateur (énergie, cible, blindage de la tête,...), de la technique d'irradiation (conventionnel, IMRT<sup>3</sup>, IORT<sup>4</sup>,...) et de l'installation (épaisseur et composition des murs et de la porte, forme de la chicane). Des mesures ont été réalisées par l'IRSN auprès d'un accélérateur de 25 MV implanté à l'hôpital Tenon afin de caractériser l'exposition à laquelle le personnel peut être soumis du fait du champ neutronique et du phénomène d'activation. Des mesures de débit d'équivalent de dose ont été réalisées à l'extérieur du bunker abritant l'accélérateur, pendant les traitements pour estimer la composante neutronique, et à l'intérieur du bunker entre les traitements afin de mesurer l'activation qui en résulte.

Par ailleurs, les études initiées en 2004 sur les champs de rayonnement secondaire générés auprès des installations de protonthérapie ont été poursuivies en 2005, en collaboration avec l'Institut Curie - centre de protonthérapie d'Orsay (ICPO). Les faisceaux de protons sont utilisés pour les traitements des tumeurs ophtalmiques et intracrâniennes. L'interaction du faisceau de protons le long de la ligne de faisceau et dans le patient génère un champ de rayonnement secondaire (figure 5) principalement constitué de neutrons de haute énergie. La cartographie des doses dans l'installation a été complétée et remise à jour suite aux différentes modifications de la ligne de faisceau. Ces mesures ont ainsi permis d'étalonner les balises de détection des neutrons présentes dans l'installation.

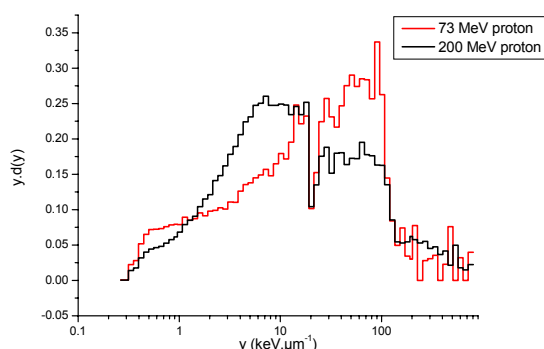


Figure 5 - Exemple de spectres microdosimétriques mesurés en dehors du faisceau primaire

### 5.3.4. Etudes de poste en radiologie conventionnelle et radiologie interventionnelle à l'hôpital Raymond POINCARE (AP-HP)

Des études de poste ont été réalisées dans le service de radiologie de l'hôpital Raymond Poincaré en vue d'évaluer les doses susceptibles d'être reçues par le personnel auprès de différents équipements, à savoir des tables avec suspension plafonnrière, des tables télécommandées, dédiées ou non à des actes radiologiques de type interventionnel (figure 6), un scanner, un ostéodensitomètre (figure 7) ainsi que des arceaux équipés d'amplificateur de luminance. Les examens radiologiques pratiqués sont les suivants : radiographie pulmonaire, abdomen sans préparation (ASP), bassin, rachis cervico-dorso-

<sup>3</sup> radiothérapie conformationnelle par modulation d'intensité

<sup>4</sup> radiothérapie per-opératoire

lombaire, infiltration lombaire, ostéodensitométrie, scanographies et procédures radiologiques per-opératoires.

Le personnel se tient habituellement au pupitre de commande derrière un paravent plombé. Il existe cependant certaines situations (patients handicapés, actes interventionnels) où l'opérateur (radiologue ou manipulateur en radiologie médicale) intervient à proximité de la table d'examen et doit porter alors une chasuble de protection.



**Figure 6 - Salle de radiologie interventionnelle**



**Figure 7 - Ostéodensitomètre**

La dose efficace individuelle annuelle maximale reçue par les opérateurs a été évaluée en considérant la procédure la plus irradiante et le nombre de procédures réalisées en moyenne dans une année, à partir des mesures de doses au pupitre de commande et à proximité du patient (la distance considérée est de 0,50 m). Les estimations obtenues sont regroupées dans le tableau 1.

**Tableau 1 - Evaluations de doses en radiologie médicale (Hôpital Raymond Poincaré)**

Equipement/examen	Nombre de procédures annuel	Dose reçue par procédure (nGy)		Dose efficace annuelle (mSv)
		Au pupitre (derrière paravent)	A proximité du patient (port d'une chasuble)	
Avec suspension plafonnière	7800 <sup>(1)</sup>	27	100	0,29
Avec table télécommandée	9200 <sup>(1)</sup>	6	310	0,4
Radiologie interventionnelle	2522 <sup>(2)</sup>	84	-	0,25
Radiologie au lit du patient	5330 <sup>(3)</sup>	0,1	-	< 0,01
Scanner	8500 <sup>(4)</sup>	10	-	< 0,1
Ostéodensitométrie	2500	≈ 0	-	0,6 *
Procédures per-opératoires	2100	-	192	0,5

\* interventions sans chasuble

<sup>(1)</sup> incidence du rachis lombaire de face debout

<sup>(2)</sup> infiltration lombaire

<sup>(3)</sup> radio pulmonaire

<sup>(4)</sup> scanner lombaire

Les résultats obtenus indiquent des doses annuelles dans tous les cas inférieures à 1 mSv/an, qui est la limite réglementaire fixée pour le public.

Les investigations ainsi menées par l'IRSN dans les différentes conditions de travail ont apporté les éléments permettant de définir la classification radiologique des personnels et des locaux et de formuler des recommandations pour limiter les risques d'exposition.

### 5.3.5. Etude de poste en salle de radiologie cardio-vasculaire interventionnelle à l'hôpital Antoine BECLERE (AP-HP)

L'étude a concerné l'exposition du radiologue, de l'aide-opérateur et du manipulateur (tous deux porteurs d'un tablier de protection et d'un cache thyroïde) auprès d'un appareil de radiologie utilisé pour réaliser des actes diagnostiques et interventionnels sur les régions cardiaques et vasculaires périphériques. Les mesures ont été réalisées en tenant compte des paramètres techniques utilisés en situation clinique.

Dans le domaine de la cardiologie, la durée moyenne de scopie d'un examen est de l'ordre de 10 minutes et celle d'un examen en graphie de 1mn 30. La dose reçue par le cardiologue qui se tient à 0,5 m du patient est en moyenne de 2,4 µGy par examen, soit une dose efficace annuelle de 2 mSv en considérant la réalisation de 720 examens par an et la prise en compte du facteur de conversion dosimétrique approprié. Pour l'aide-opérateur, la dose efficace estimée est d'environ 0,5 mSv. La dose équivalente aux extrémités est de l'ordre de 210 mSv/an et celle aux cristallins de l'ordre de 90 mSv/an. Pour le manipulateur, la dose efficace annuelle est estimée à 90 µSv.

Dans le domaine de la radiologie vasculaire périphérique, la durée moyenne de scopie d'un examen varie entre 4 et 46 minutes et celle d'un examen en graphie, entre 50 et 160 secondes. La dose efficace annuelle calculée pour le radiologue qui se tient à 0,5 m du

patient est égale à 1,2 mSv (pour 600 examens/an). Pour l'aide-opérateur, la dose efficace est d'environ 0,3 mSv, la dose équivalente aux extrémités est de l'ordre de 320 mSv/an et celle aux cristallins de l'ordre de 80 mSv/an.

Les résultats de cette étude ont permis de définir la classification radiologique des personnels et des locaux et de formuler des recommandations pour optimiser la radioprotection des personnels médicaux.

#### **5.4. REDACTION D'UN GUIDE METHODOLOGIQUE D'AIDE A LA REALISATION D'ETUDES DE POSTES DE TRAVAIL**

Bien que l'étude de poste de travail constitue l'un des éléments principaux du dispositif réglementaire en matière de radioprotection, les modalités pratiques de sa réalisation demandent à être précisées. Dans ce contexte, l'IRSN a engagé en 2005 l'élaboration d'un guide d'aide à la réalisation d'études de postes de travail, destiné aussi bien au domaine médical qu'à ceux de l'industrie ou de la recherche.

La première partie du guide est générale. Elle rappelle le contexte réglementaire associé à l'étude de poste ainsi que ses objectifs principaux et donne des recommandations sur le choix et l'utilisation des instruments de mesure et des méthodes de calcul à mettre en œuvre. Une approche méthodologique développée pour être applicable dans la grande majorité des cas est proposée. Elle décrit en détail les étapes successives, à savoir la préparation de l'étude, l'évaluation des doses et l'exploitation des résultats.

La seconde partie du guide est organisée en une série de fiches, chacune consacrée à un type de poste de travail. Les fiches sont structurées suivant l'approche méthodologique définie dans la première partie et développent les aspects spécifiques au poste de travail, en s'attachant en particulier à fournir des niveaux d'exposition indicatifs pour guider l'utilisateur. Deux premières fiches ont été rédigées à l'attention du secteur médical, l'une consacrée à la radiologie conventionnelle, l'autre à des postes de radiologie interventionnelle.

## **6. SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION**

De par sa position d'expert technique dans le domaine de la radioprotection et au regard de sa mission de participation à la veille en radioprotection, l'IRSN se doit de connaître les événements et incidents concernant la radioprotection. Leur survenue témoigne en effet du niveau de qualité de la radioprotection dans les différents secteurs utilisant les rayonnements ionisants, en complément d'autres indicateurs de qualité tels que les doses individuelles moyennes reçues par les travailleurs, les doses collectives<sup>5</sup>, etc. La connaissance des incidents et l'analyse des circonstances les ayant engendrés sont indispensables pour constituer un retour d'expérience et élaborer des recommandations visant à améliorer la protection des travailleurs et du public.

L'IRSN collecte et analyse les données concernant les événements et incidents de radioprotection. La collecte se veut la plus exhaustive possible pour les incidents déclarés aux autorités. Elle s'intéresse aussi à un certain nombre d'événements intéressant la radioprotection, portés à la connaissance de l'IRSN. Pour ces derniers, l'objectif n'est pas d'atteindre l'exhaustivité mais plutôt d'obtenir une vision représentative des pratiques afin d'en tirer des pistes d'amélioration.

Parmi les 555 événements concernant la radioprotection dont l'IRSN a eu connaissance en 2005, 272 concernent directement les travailleurs. La répartition de ces événements est donnée dans le tableau 2, les chiffres de 2004 étant également indiqués pour mémoire.

---

<sup>5</sup> La dose collective est la somme des doses individuelles reçues par un groupe de personnes. A titre d'exemple, la dose collective de 10 personnes ayant reçu chacune 1 mSv est égale à 10 homme.mSv.



**Tableau 2 - Evènements de radioprotection concernant les travailleurs en 2005**

Types d'évènement	Secteur d'activité				Total 2005	Total 2004
	Médical	Industrie	INB *	Recherche		
Evènements déclarés selon les critères de l'échelle ESR 100	0	2	163	1	166	162
Alertes de dépassements de limite réglementaire de dose	63	14	3	2	82	55
Expositions internes **	1	2	6	0	9	15
Expositions externes **	6	3	0	0	9	7
Divers	1	4	1	0	6	11
<b>Total</b>	<b>71</b>	<b>25</b>	<b>173</b>	<b>3</b>	<b>272</b>	<b>250</b>

\* INB = Installation Nucléaire de Base

*Au 31/12/05, seul le secteur des INB disposait d'une procédure de déclaration aux autorités selon des critères bien définis. A contrario, il n'existe pas de tels critères pour les autres secteurs d'activité, ce qui explique en partie le très faible nombre d'évènements déclarés dans ceux-ci.*

\*\* Expositions anormales hors dépassements de limites réglementaires

Les écarts observés dans la mise en œuvre des procédures de radioprotection, au nombre de 166, représentent 61% des évènements concernant les travailleurs. Il s'agit quasi exclusivement d'évènements déclarés par EDF selon les critères en vigueur dans les INB (échelle « ESR 100 ») en 2005. Leur répartition indique une forte prédominance des incidents déclarés au titre du critère 7 « non respect des conditions techniques d'accès en zone réglementée ou interdite » (36%), du critère 10 « tout écart significatif au titre de la radioprotection » (25%) et du critère 6 « Défaut de signalisation de zone contrôlée » (16%) de cette échelle.

Les alertes des laboratoires de dosimétrie pour dépassement de limites réglementaires de dose, au nombre de 82, représentent 30% des évènements avec une très forte prédominance de cas dans le domaine médical (77 %). Sur l'ensemble de ces signalements, 42 d'entre eux n'ont finalement pas été validés après enquête du médecin du travail (cf. § 8.3.2).

L'analyse globale des 272 évènements concernant les travailleurs montre qu'ils proviennent à 64% de l'industrie nucléaire et 26% du secteur médical. Il convient de souligner que cette répartition est probablement loin de refléter la réalité (il y a 3 fois plus de travailleurs surveillés dans le secteur médical que dans l'industrie nucléaire, cf. § 8.3) car elle dépend de la culture « déclarative » de chacun des secteurs considérés. En l'occurrence, l'existence de critères de déclaration des incidents dans le domaine des INB est probablement la raison principale du grand nombre des incidents enregistrés dans l'industrie nucléaire. Dans les domaines industriel et médical, il n'existe pas, à ce jour, de critères de déclaration des incidents. Hormis les incidents relativement significatifs, qui font inévitablement l'objet d'une déclaration, les évènements collectés dans ces domaines d'activité sont connus de façon très indirecte, essentiellement par le suivi dosimétrique des travailleurs.

L'IRSN apporte régulièrement son assistance aux médecins du travail, par téléphone, pour conduire les enquêtes, lors d'un signalement de dépassement de limite réglementaire de dose. Dans les cas plus difficiles, l'IRSN intervient sur site afin de mener les investigations nécessaires. Au cours de l'année 2005, les experts de l'IRSN sont notamment intervenus dans un établissement de radiographie industrielle, dans un service de médecine nucléaire ainsi que dans une salle de radiologie interventionnelle. Ces déplacements sont l'occasion, au delà de l'aide apportée au médecin du travail, de rappeler les bonnes pratiques en matière de radioprotection. Ces actions ont abouti, dans un cas, à une demande de formation en radioprotection par l'établissement concerné, formation qui a été dispensée par l'IRSN.

## 7. SYSTEME SISERI

Le système SISERI<sup>6</sup> a été mis en place le 15 février 2005 par l'IRSN, conformément aux dispositions réglementaires, dans un but de centralisation, consolidation et conservation de l'ensemble des résultats de la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs en vue de les exploiter à des fins statistiques ou épidémiologiques. Centralisés sur une base de données disponible depuis un extranet (<http://www.siseri.com/>), ces résultats sont restitués sous certaines conditions aux médecins du travail et aux personnes compétentes en radioprotection (PCR) afin d'optimiser la surveillance médicale et la radioprotection des travailleurs. Le système SISERI gère les données issues de :

- la dosimétrie passive (mensuelle ou trimestrielle), dont les résultats sont fournis par les laboratoires de surveillance dosimétrique ;
- la dosimétrie opérationnelle, dont les résultats sont envoyés (sur une base hebdomadaire *a minima*) directement par les PCR des établissements exploitant des zones contrôlées ;
- la dosimétrie interne : d'une part les résultats d'analyses radiotoxicologiques et d'examens anthroporadiométriques fournis par les Laboratoires d'Analyse de Biologie Médicale (LABM), d'autre part les doses internes calculées par les médecins du travail.

Le déploiement opérationnel du système s'est effectué de manière progressive et sans dysfonctionnement majeur tout au long de l'année 2005 et poursuivi en 2006. A la date du 2 mars 2006, le protocole d'accès à SISERI avait été signé par 688 chefs d'établissement. Ainsi 958 personnes compétentes en radioprotection (PCR) et 522 médecins du travail désignés par leurs chefs d'établissement ont obtenu un certificat numérique leur permettant un accès sécurisé à la base de données. D'ores et déjà, plusieurs centaines de personnes accèdent chaque mois à SISERI.

Un premier bilan relatif à la transmission des informations dosimétriques à l'IRSN peut être fait :

Les résultats individuels de la dosimétrie externe passive sont transmis mensuellement au système SISERI par les laboratoires de surveillance dosimétrique agréés. Les données sont rapidement intégrées dans la base dès lors qu'elles respectent bien les formats définis dans le protocole d'échanges de données. Des difficultés de traitement se posent au contraire lorsque les données sont incomplètes et ne permettent pas une identification fiable des travailleurs (absence de numéro RNIPP<sup>7</sup>, mauvaise identification de l'établissement d'appartenance du travailleur, etc.). Ces données nécessitent un traitement manuel, ce qui retarde d'autant leur accès aux médecins du travail ayant en charge les travailleurs concernés.

Pour ce qui concerne la dosimétrie externe opérationnelle, au mois de mars 2006 plus de 40 fichiers étaient reçus et traités par jour : à titre indicatif, près de 30 000 travailleurs de plus de 1 500 entreprises des différents secteurs d'activité avaient eu une dosimétrie opérationnelle enregistrée depuis le 1er janvier 2006. Des difficultés liées à la mauvaise identification des entreprises d'appartenance des travailleurs sont à mentionner.

Enfin, pour la dosimétrie interne, aucune donnée n'a encore été transmise à l'IRSN, la priorité actuelle des LABM étant d'obtenir leur accréditation par le COFRAC et, par suite, leur agrément ministériel (cf. § 3).

Ainsi, le régime de croisière de SISERI n'est pas encore atteint et un certain nombre de difficultés sont à résoudre pour y arriver. La plupart des points bloquants ont été identifiés ainsi que les solutions pour les lever. Une amélioration significative du fonctionnement passe par les efforts conjoints de l'IRSN et des autorités, ainsi que des exploitants et des laboratoires de surveillance.

---

<sup>6</sup> Système d'information de la surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants

<sup>7</sup> Répertoire National d'Identification des Personnes Physiques

## 8. BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES DES TRAVAILLEURS EN 2005

### 8.1. MODALITES DE SURVEILLANCE

La surveillance de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants prévue par le décret 2003-296 du 31 mars 2003 *relatif à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants* (ci-après dénommé « décret travailleurs ») s'effectue notamment par la mise en œuvre de mesures des doses individuelles externes et, le cas échéant des doses internes, reçues au poste de travail.

La dosimétrie externe consiste à mesurer les doses reçues par une personne exposée dans un champ de rayonnements (rayons X, gamma, bêta, neutrons) générés par une source extérieure à la personne. Les dosimètres portés par les travailleurs, adaptés aux différents types de rayonnements, permettent de connaître la dose reçue par le corps entier (dosimètres portés à la poitrine) ou par une partie du corps (peau, doigts), soit en temps réel (on parle de dosimétrie active ou opérationnelle), soit en différé après lecture dans un laboratoire agréé (on parle alors de dosimétrie passive).

Le bilan de l'exposition externe des travailleurs de l'année 2005, présenté ci-après, a été établi par l'IRSN à partir des données de la dosimétrie passive mise en œuvre pour tous les travailleurs exposés. Cette analyse a été réalisée sur la base des statistiques transmises à l'IRSN par les différents laboratoires en charge de la surveillance de l'exposition externe, et partiellement au travers du système SISERI ([www.irsn.org](http://www.irsn.org)) de suivi et de gestion des expositions professionnelles, mis en service le 15 février 2005.

En 2005, les laboratoires de surveillance dosimétrique sont au nombre de 6 :

- IRSN (LSDOS, laboratoires du Vésinet et de Fontenay-aux-Roses)
- LCIE Landauer (Fontenay-aux-Roses)
- COMET France (Lognes)
- IReS (CNRS Strasbourg)
- IPN (CNRS/IN2P3 Orsay)
- AREVA NC (laboratoires de La Hague et de Marcoule)

### 8.2. METHODOLOGIE ET HYPOTHESES RETENUES

Le bilan des expositions professionnelles pour l'année 2005 est établi à partir des doses externes individuelles annuelles transmises sous forme agrégée par les laboratoires de surveillance dosimétrique : effectifs des travailleurs par grands secteurs d'activité professionnelle, doses collectives correspondantes et répartition des travailleurs par classes de doses.

Comme les années précédentes, certaines hypothèses ont été retenues pour l'analyse des données agrégées fournies par les laboratoires avec des caractéristiques différentes (classes de doses, seuils d'enregistrement des doses, règles d'affectation par secteurs d'activité) mais aussi pour tenir compte de certaines imprécisions (informations manquantes, individus comptés deux fois,...).

L'une des difficultés majeures qui se pose pour l'établissement des bilans est d'affecter les travailleurs surveillés aux activités professionnelles réellement exercées. En pratique, chaque travailleur est affecté au secteur professionnel auquel est rattachée son entreprise. Or, une même entreprise peut couvrir plusieurs secteurs d'activité. Par exemple, de nombreuses entreprises spécialisées dans les examens non destructifs (tirs gammagraphiques pour les contrôles de soudures) interviennent aussi bien dans le secteur nucléaire que dans des installations de l'industrie classique (les raffineries, le BTP...). Ces entreprises sont le plus souvent répertoriées dans le secteur de l'industrie classique pour

l'affectation des résultats de la dosimétrie passive alors qu'une partie importante de la dose collective des travailleurs exposés dans ce secteur est attribuable à des travaux effectués par les travailleurs de ces entreprises dans les installations nucléaires de base (INB) pour le compte des grands exploitants.

Les classes de doses retenues pour le bilan reposent sur un choix de valeurs représentatives :

- Seuil d'enregistrement<sup>8</sup> des doses ;
- 1 mSv/an (limite de dose efficace pour les personnes du public et seuil bas de délimitation de la zone surveillée, art. R231-81 du « décret travailleurs ») ;
- 6 mSv/an (seuil bas de la catégorie A des travailleurs exposés, art. R231-88 du « décret travailleurs » et seuil bas de délimitation de la zone contrôlée, art. R231-81 du « décret travailleurs ») ;
- 15 mSv/an (ancien seuil bas de délimitation de la zone contrôlée, disposition transitoire du « décret travailleurs ») ;
- 20 mSv/an (limite sur 12 mois consécutifs de la somme des doses efficaces reçues par exposition externe et interne applicable aux travailleurs exposés, art. R231-76 du « décret travailleurs ») ;
- 50 mSv/an (ancienne valeur de la limite réglementaire pour les travailleurs exposés).

---

<sup>8</sup> Niveau de dose au-dessus duquel les valeurs des doses reçues par un travailleur sont enregistrées dans son dossier individuel. En pratique, ce niveau est lié aux performances de détection des dosimètres et varie actuellement de 0,05 à 0,2 mSv selon les dispositifs.

## 8.3. ANALYSE DES RESULTATS PAR SECTEURS D'ACTIVITE POUR L'ANNEE 2005

### 8.3.1. Résultats généraux

Le tableau 3 présente l'ensemble des données, regroupées par secteurs d'activité, de la surveillance de l'exposition externe par les laboratoires de surveillance dosimétrique en 2005 (à des fins de comparaison, le bilan des doses externes en 2004 est rappelé en annexe). Les valeurs de dose<sup>9</sup> par secteur d'activité sont exprimées en termes de dose collective.

Tableau 3 - Bilan des doses externes - 2005

Rubriques	Secteur d'activité ou établissement	Travailleurs surveillés	< seuil	Entre le seuil et 1 mSv	1 à 6 mSv	6 à 15 mSv	15 à 20 mSv	20 à 50 mSv	> 50 mSv	Dose collective en homme.Sv
1	Radiologie médicale	99096	93107	4725	1102	120	18	21	3	7,30
2	Radiothérapie	7112	6334	560	190	26	2	0	0	0,94
3	Médecine nucléaire	4085	3025	582	430	46	2	0	0	1,77
4	Sources non scellées in vitro	2508	2445	57	6	0	0	0	0	0,04
5	Médecine dentaire	26561	25866	590	97	8	0	0	0	0,61
6	Médecine Travail	9077	8605	373	86	9	0	3	1	0,71
7	Médecine vétérinaire	10677	10220	408	42	5	0	2	0	0,34
8	Industrie non nucléaire	32684	25340	2996	3328	984	28	5	3	20,40
9	Recherche	8515	8058	399	57	1	0	0	0	0,27
10	Divers	9105	8537	419	131	17	1	0	0	0,62
11	EDF (agents)	20052	13253	4147	2558	93	1	0	0	7,90
12	AREVA NC La Hague	3045	2797	213	35	0	0	0	0	0,15
13	AREVA NC Marcoule*	3256	3019	200	37	0	0	0	0	0,14
14	MELOX	827	405	101	224	97	0	0	0	1,52
15	CEA	6660	6127	359	153	21	0	0	0	0,69
16	IPN Orsay	2652	2612	22	16	2	0	0	0	0,05
17	« Entreprises extérieures » ** (suivi IRSN)	10948	8972	926	752	291	6	1	0	5,31
18	« Entreprises extérieures » ** (suivi LCIE)	9278	5079	1534	1961	679	24	1	0	12,63
19	IReS - Université Louis Pasteur de Strasbourg	807	795	12	0	0	0	0	0	0,00
20	Défense (DCN)	539	475	62	2	0	0	0	0	0,03
21	Administrations (DGSNR, DRIRE, DDE...)	3097	1870	739	415	73	0	0	0	1,98
22	Divers industrie nucléaire (STMI, ANDRA, Euraware, ...)	3105	1699	970	420	16	0	0	0	1,34
23	Entreprises de transport	200	153	40	6	1	0	0	0	0,03
	<b>Total</b>	<b>273886</b>	<b>238793</b>	<b>20434</b>	<b>12048</b>	<b>2489</b>	<b>82</b>	<b>33</b>	<b>7</b>	<b>64,79</b>
	<i>Rappel des résultats de 2004</i>	<i>255321</i>	<i>227942</i>	<i>15545</i>	<i>9250</i>	<i>2463</i>	<i>70</i>	<i>38</i>	<i>13</i>	<i>63,68</i>

\* Travailleurs des établissements de AREVA NC (Ex-Cogema) situés à Marcoule, Pierrelatte, et Miramas et de FBFC, suivis par le laboratoire AREVA NC Marcoule (effectif constitué majoritairement d'agents Cogéma, mais aussi CEA, IRSN, etc.).

\*\* Les « entreprises extérieures » désignent les entreprises intervenant pour le compte des grands exploitants dans les INB.

Les données essentielles du bilan global de la surveillance dosimétrique de l'exposition externe en 2005 sont rassemblées dans l'encadré ci-après.

<sup>9</sup> Doses efficaces annuelles dues à l'exposition externe, obtenues comme le cumul des équivalents de dose individuels Hp(10) mesurés par les dosimètres passifs.

## Bilan de la surveillance dosimétrique de l'exposition externe en 2005

- *Effectif total surveillé : 273 886 travailleurs*
- *Dose collective de l'effectif total surveillé : 64,79 homme.Sv*
- *Dose individuelle annuelle moyenne sur l'ensemble des travailleurs surveillés : 0,24 mSv*
- *Dose individuelle annuelle moyenne sur l'ensemble des travailleurs surveillés ayant enregistré une dose supérieure au seuil d'enregistrement du dosimètre : 1,85 mSv*
- *Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 1 mSv : 14 659 travailleurs (soit 5,4 % de l'effectif total surveillé)*
- *Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 20 mSv : 40 travailleurs (ces dépassements peuvent être ponctuels ou résulter d'une accumulation de doses)*
- *Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 50 mSv : 7 travailleurs*

Les effectifs des travailleurs surveillés sont en augmentation par rapport à 2004, notamment dans le secteur des activités médicales (radiologie et médecine dentaire essentiellement) et vétérinaires.

Ceci s'explique en partie par l'intégration des données du laboratoire COMET France dans le bilan de l'année 2005 (plus de 5 000 travailleurs surveillés en supplément).

La surveillance dosimétrique des travailleurs progresse dans le domaine de la médecine dentaire mais l'effectif surveillé (26 561 personnes en 2005) est encore loin des quelque 39 000 chirurgiens-dentistes que compte la France. Le nombre de travailleurs surveillés en médecine vétérinaire croît également (création de la commission de radioprotection vétérinaire).

Il faut noter que le laboratoire de surveillance dosimétrique de l'IRSN a entrepris de préciser les activités professionnelles d'une partie des travailleurs surveillés en 2005. Ceci explique la diminution, par rapport à 2004, des effectifs des « entreprises extérieures (suivi IRSN), au profit de nouvelles rubriques, telles que « Défense (DCN) » ou « établissements de transport ».

Comme en 2004, le secteur d'activité qui emploie le plus grand nombre de travailleurs surveillés au plan dosimétrique en 2005 est celui de la radiologie médicale<sup>10</sup> (99 096 travailleurs, 36 % de l'effectif total).

En 2005, tous secteurs d'activité confondus, seulement 5,4 % des travailleurs ont reçu des doses individuelles supérieures à 1 mSv, limite fixée pour le public. A noter également que seuls 12,8 % des travailleurs ont reçu au moins une fois une dose supérieure au seuil d'enregistrement.

Cependant, des différences importantes sont observées selon les secteurs d'activité. Par exemple, 1,3 % des travailleurs surveillés en radiologie médicale ont dépassé 1 mSv tandis que 39 % des salariés de l'établissement Melox (fabrication de combustible nucléaire) ont dépassé cette valeur. Inversement, 24 travailleurs en radiologie médicale ont reçu une dose annuelle supérieure à la limite réglementaire alors qu'ils ne sont que 2 dans l'industrie nucléaire.

<sup>10</sup> La radiologie médicale regroupe les techniques de radiologie conventionnelle, de mammographie, de scanographie et de radiologie interventionnelle.

A noter également que plus de 7 % des travailleurs des « Entreprises extérieures (suivi LCIE) » ont reçu des doses supérieures à 6 mSv au cours de l'année 2005 alors que, tous secteurs d'activité confondus, ils sont moins de 1 % à être dans ce cas. Ces entreprises interviennent globalement en sous-traitance lors des arrêts de tranches des centrales. Les travaux réalisés par les travailleurs de ces entreprises (notamment les calorifugeurs, les monteurs d'échafaudages, ...) s'accompagnent de doses reçues relativement importantes.

### 8.3.2. Dépassements de la limite annuelle réglementaire de 20 mSv

La limite réglementaire pour la dose efficace reçue au cours de douze mois consécutifs est de 35 mSv jusqu'au 31 mars 2005, date à laquelle elle passe à 20 mSv.

Les dépassements pris en compte ici concernent uniquement les doses cumulées sur l'année 2005.

Quarante cas de dépassement des 20 mSv (cf. figure 8) ont été recensés pour l'année 2005, Ce bilan est susceptible d'être modifié car certaines des enquêtes sur les cas sont toujours en cours. En effet, une dose supérieure à 20 mSv n'est définitivement enregistrée dans la base SISERI de l'IRSN qu'après confirmation par le médecin du travail à l'issue d'une enquête.

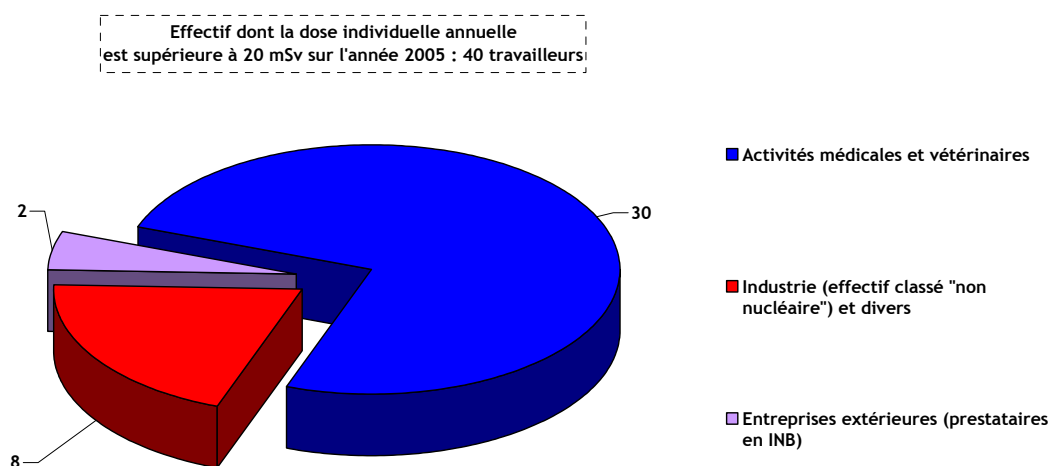


Figure 8 - Répartition des cas de dépassement de la limite annuelle réglementaire en 2005

Les dépassements de limite de dose ne sont pas explicables facilement en dehors des incidents avérés ou des conditions de travail connues pour induire des doses significatives.

Dans la grande majorité des cas où la dose est annulée à la demande du médecin (en l'occurrence 42 fois en 2005, cf. § 7), il s'agit de dosimètres ayant été exposés (volontairement ou accidentellement) alors qu'ils n'étaient pas portés. Dans quelques cas la dose a été enregistrée par précaution bien que le résultat ait été considéré comme douteux (par exemple, l'opérateur pense que son dosimètre a été exposé dans une salle d'irradiation où lui même n'était pas présent). Inversement, il est possible qu'un dépassement de la limite réglementaire soit ignoré par le simple fait que le travailleur n'a pas porté son dosimètre.

### 8.3.3. Analyses par domaines d'activité

Les données figurant au tableau 3 ont été regroupées par domaines d'activité professionnelle afin de donner une vision plus synthétique des effectifs concernés, des doses collectives et des domaines les plus exposés (cf. tableau 4).

**Tableau 4 - Bilan synthétique des expositions professionnelles - 2005**

Rubriques <sup>a</sup>	Secteur d'activité ou établissement	Travailleurs surveillés	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne <sup>b</sup> (mSv)	Effectifs dont la dose individuelle annuelle est supérieure à 20 mSv	Répartition des effectifs par Intervalles de dose				
						< 1 mSv	1 à 6 mSv	6 à 20 mSv	20 à 50 mSv	> 50 mSv
1,2,3,4,5,6,7	Activités médicales et vétérinaires	159 116	11,72	0,07	30	156 897	1 953	236	26	4
8,10	Industrie (effectif classé "non nucléaire"), divers	41 789	21,02	0,50	8	37 292	3 459	1 030	5	3
9,15,16,19	Recherche, IPN, CNRS, CEA	18 634	1,02	0,05	0	18 384	226	24	0	0
11,12,13,14,17 18,20,21,22,23	Industrie nucléaire	54 347	31,03	0,57	2	46 654	6 410	1 281	2	0
	<b>Total</b>	<b>273 886</b>	<b>64,79</b>	<b>0,24</b>	<b>40</b>	<b>259 227</b>	<b>12 048</b>	<b>2 571</b>	<b>33</b>	<b>7</b>

<sup>a</sup> Cf. rubriques du tableau 3

<sup>b</sup> Dose individuelle moyenne = dose collective / nombre de travailleurs surveillés

A partir des regroupements d'activités professionnelles effectués dans le tableau 4, il est possible de considérer 4 grands domaines regroupant respectivement les activités médicales et vétérinaires, les activités de recherche et d'expertise, les activités réalisées dans le cadre de l'industrie nucléaire et celles réalisées dans le cadre de l'industrie non nucléaire.

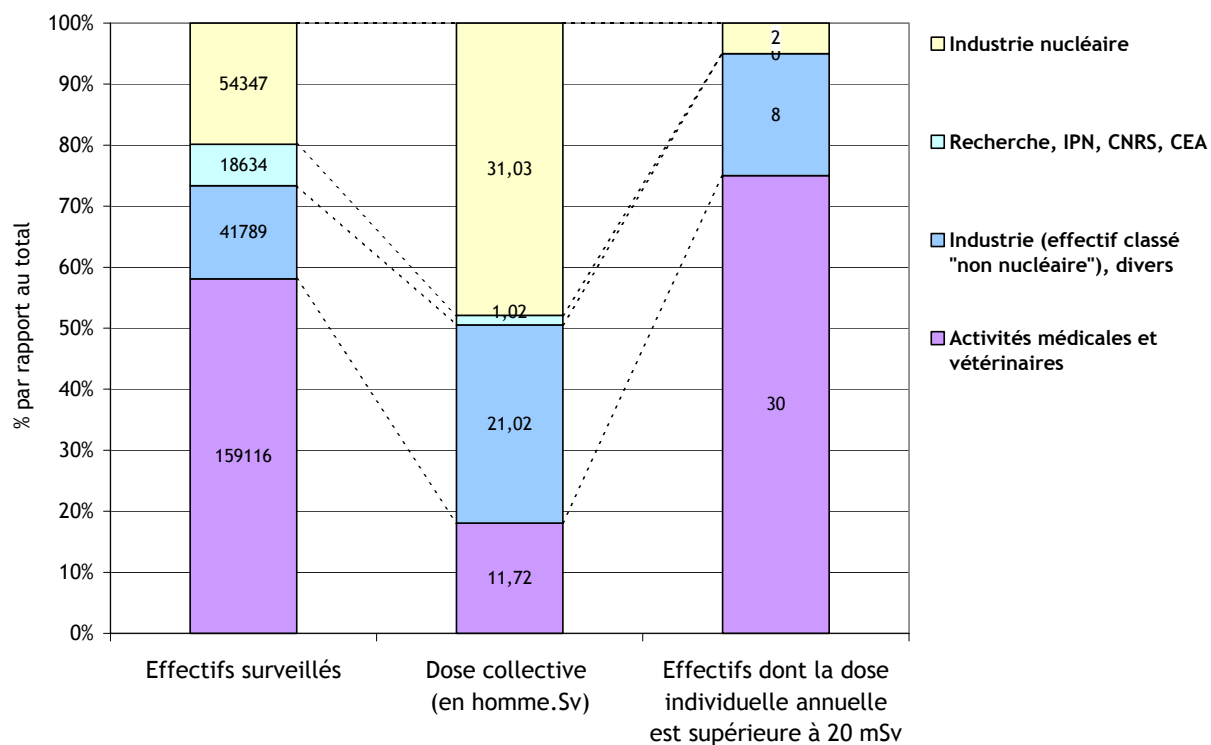
Comme évoqué précédemment, des inégalités importantes dans la répartition des doses sont observées selon les domaines d'activité. Bien que la majorité des effectifs surveillés soit employée dans le domaine des activités médicales et vétérinaires, ce domaine ne représente que 18 % de la dose collective totale mais comprend les travailleurs les plus exposés (30 personnes dont la dose individuelle est supérieure à 20 mSv en 2005).

L'industrie nucléaire représente le cinquième des effectifs mais la moitié des effectifs du secteur industriel et la moitié de la dose collective totale. La recherche contribue peu à la dose collective et l'industrie « classique » représente le tiers de la dose collective totale avec 21 homme.Sv en 2005.

C'est dans le domaine des activités médicales et vétérinaires et dans la recherche que les doses individuelles annuelles moyennes sont les plus faibles (inférieures à 0,1 mSv). A l'opposé, les travailleurs de l'industrie « classique » ou nucléaire ont des doses plus élevées en moyenne (0,5 mSv par an).

La figure 9 (issue du tableau 4) illustre les inégalités importantes dans la distribution des doses pour ces 4 grands domaines d'activité.



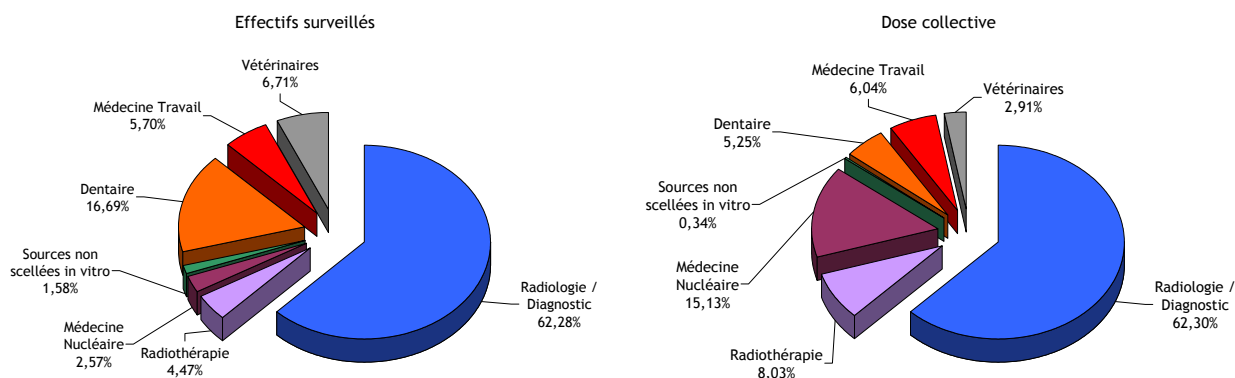


**Figure 9 - Bilan synthétique des expositions externes professionnelles en 2005 par domaines d'activité (effectifs surveillés, doses collectives et effectifs dont la dose individuelle annuelle est supérieure à 20 mSv)**

### 8.3.3.1. Activités médicales et vétérinaires

La majorité des travailleurs surveillés est employée dans le domaine médical et vétérinaire, avec 159 116 travailleurs (58 % des effectifs surveillés). L'exposition professionnelle résulte essentiellement (pour plus de 67 %) de l'utilisation des rayons X en radiodiagnostic médical (mammographie, radiologie dentaire, radiologie conventionnelle, scanographie, radiologie interventionnelle, ...). Des installations de radiodiagnostic existent aussi dans le secteur vétérinaire. La radiothérapie regroupe la radiothérapie externe qui utilise principalement des accélérateurs d'électrons et la curiethérapie qui utilise des sources scellées (iridium 192 et césium 137). A noter toutefois un centre de neutronthérapie (Orléans) et 2 centres de protonthérapie (Orsay et Nice). La médecine nucléaire met en œuvre des radionucléides de période relativement courte (quelques heures à quelques jours) pouvant conduire à une exposition externe (et parfois interne) des professionnels de santé lors des différentes étapes de leur administration aux patients. Parmi toutes ces pratiques, c'est la radiologie interventionnelle qui présente le risque d'exposition le plus élevé pour les travailleurs. Globalement, le domaine médical et vétérinaire regroupe les trois quarts des travailleurs les plus exposés, soit 30 personnes dont la dose individuelle annuelle est supérieure à 20 mSv.

La figure 10 donne la répartition des effectifs surveillés et des doses collectives par secteurs d'activité.



**Figure 10 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives dans le domaine médical et vétérinaire en 2005**

Alors que 24 travailleurs en radiologie présentent une dose annuelle dépassant 20 mSv en 2005, il est surprenant d'en compter 4 (dont 1 dont la dose individuelle annuelle est supérieure à 50 mSv) en médecine du travail. Dans le secteur de la médecine vétérinaire, 2 travailleurs présentent une dose individuelle annuelle supérieure à 20 mSv.

Ces chiffres doivent cependant être considérés avec prudence (cf. § 8.3.2). Si les doses mesurées par les dosimètres sont correctes, les doses réellement reçues par les porteurs sont dans certains cas vraisemblablement surestimées (par exemple : dosimètre porté sur le tablier de plomb, dosimètre placé sur le tube émetteur de rayons X), et dans d'autres cas sous-estimées ou même non enregistrées (par exemple : port de dosimètre non systématique en radiologie interventionnelle).

### **8.3.3.2. Activités de recherche**

Sont ici regroupés les quatre secteurs d'activité « Recherche » (laboratoires universitaires, INSERM, INRA...), « CEA », « IPN d'Orsay » et « IReS ». Les travaux de recherche du CEA sont en majorité effectués pour l'industrie nucléaire, cependant une partie d'entre eux concerne d'autres domaines : sciences du vivant, étude des matériaux, applications médicales, etc. Relèvent aussi de la « Recherche » les travaux effectués au sein de laboratoires pharmaceutiques, de centres universitaires, de laboratoires des organismes nationaux de recherche (INSERM, INRA, CNRS,...).

18 634 travailleurs ont été surveillés dans le domaine de la recherche en 2005, totalisant une dose collective de 1,02 homme.Sv. Les doses individuelles annuelles sont très faibles, 24 travailleurs seulement ont reçu des doses supérieures à 6 mSv mais inférieures à 15 mSv.

En 2005, l'effectif des agents du CEA surveillés par le laboratoire LSDOS de l'IRSN s'élève à 6 660 travailleurs. La dose collective correspondante est de 0,69 homme.Sv, soit la moitié de la dose collective établie par le laboratoire pour l'année 2004. Ceci s'explique par le fait que le LSDOS a corrigé son mode de comptabilisation des doses.

L'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay (2 652 travailleurs surveillés) et l'Institut de Recherche Subatomique de Strasbourg (807 travailleurs surveillés) présentent des doses très faibles ; seuls 18 travailleurs ont reçu des doses supérieures à 1 mSv à l'IPN et il n'y en a aucun dans ce cas à l'IReS.

### **8.3.3.3. Industrie nucléaire**

L'industrie nucléaire recouvre l'ensemble des étapes du cycle du combustible (AREVA NC, agents et prestataires) et l'exploitation des réacteurs de production d'électricité (EDF, agents et prestataires).

Le laboratoire d'AREVA NC La Hague a la charge de la surveillance dosimétrique des personnels de l'usine de retraitement des combustibles irradiés. Sur les 3 045 travailleurs

surveillés, aucun n'a enregistré une dose annuelle supérieure à 6 mSv en 2005. La dose collective est faible (0,15 homme.Sv).

Le laboratoire d'AREVA NC Marcoule assure la surveillance dosimétrique des personnels des établissements de Marcoule, Miramas et Pierrelatte, ainsi que des usines Melox et FBFC (effectif constitué majoritairement d'agents Cogéma, mais aussi CEA, IRSN, ...). Sur les 4 083 travailleurs surveillés, seuls des travailleurs de Melox enregistrent des doses annuelles supérieures à 6 mSv (en l'occurrence 97 travailleurs) ; aucune dose ne dépasse 15 mSv. La dose collective est égale à 1,66 homme.Sv, l'établissement de Melox y contribuant à plus de 90 %.

La dose collective à EDF s'établit à 7,9 homme.Sv pour 20 052 agents surveillés, en baisse par rapport à 2004. Un seul agent a enregistré une dose supérieure à 15 mSv en 2005.

Les entreprises extérieures telles qu'identifiées par les laboratoires de LCIE-LANDAUER et de l'IRSN totalisent 20 226 travailleurs surveillés avec une dose collective de 17,94 homme.Sv. La dose individuelle annuelle dépasse 20 mSv pour 2 travailleurs, mais reste inférieure à 50 mSv.

#### **8.3.3.4. Industrie non nucléaire**

L'industrie non nucléaire regroupe toutes les activités industrielles « classiques » concernées par l'usage des rayonnements ionisants : contrôles non destructifs (gammagraphie), étalonnage, irradiation industrielle et autres activités utilisant des sources radioactives telles que les humidimètres et les gamma-densimètres, les jauges d'épaisseur ou de niveau, les ioniseurs, etc.

41 789 travailleurs ont été surveillés dans ce domaine en 2005, totalisant une dose collective de 21,02 homme.Sv. Pour 8 travailleurs, la dose individuelle annuelle est supérieure à 20 mSv et parmi ceux-ci, 3 ont une dose supérieure à 50 mSv.

La nomenclature actuelle utilisée par les laboratoires de surveillance dosimétrique ne permet pas de connaître plus précisément les affectations professionnelles des travailleurs.

Il est probable qu'une fraction non négligeable de la dose collective attribuée au secteur de l'industrie non nucléaire soit en réalité prise par des travailleurs d'entreprises classées dans ce secteur mais qui interviennent aussi en sous-traitance des grands exploitants nucléaires (cf. § 8.2).

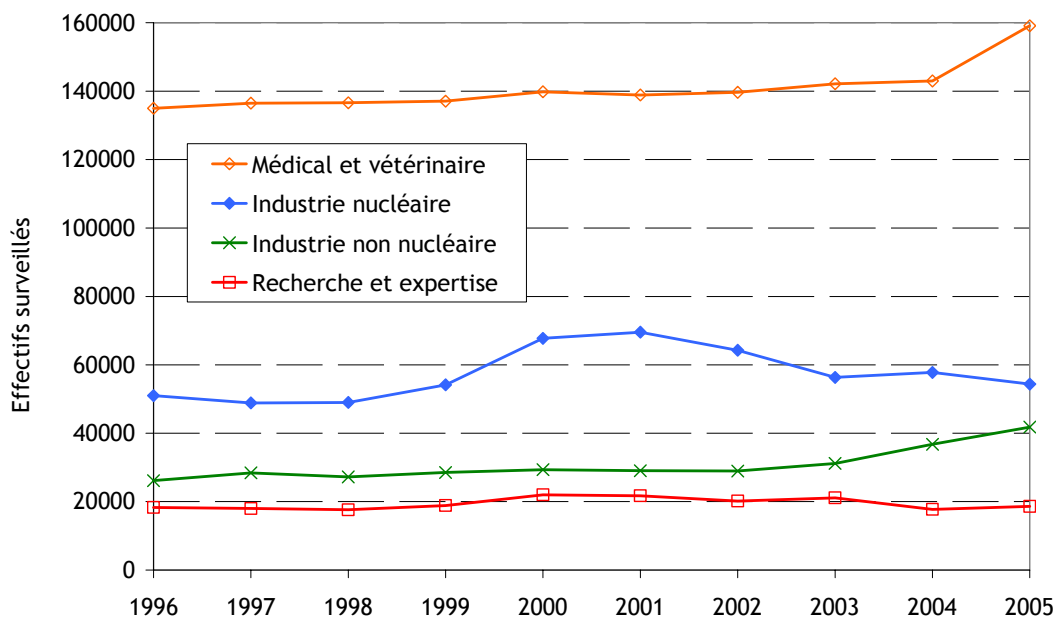
### **8.3.4. Evolutions par rapport aux années précédentes (période 1996 - 2005)**

Les résultats du bilan de l'année 2005 sont analysés ci-après par comparaison avec les données statistiques issues des bilans établis antérieurement ([1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11]).

#### **8.3.4.1. Evolution des effectifs surveillés par grands domaines d'activité de 1996 à 2005**

Entre 1996 et 2005, l'effectif total surveillé est passé de 230 385 à 273 886 avec une augmentation assez régulière dans les différents secteurs d'activité. Cette évolution est moins le résultat d'une croissance des activités mettant en œuvre des sources de rayonnements ionisants que celui d'une meilleure surveillance des travailleurs professionnellement exposés.

Ainsi par exemple, la hausse régulière du nombre de personnes surveillées au cours des dernières années dans le secteur vétérinaire résulte plutôt d'une plus grande sensibilisation de ces professionnels à la nécessité d'un suivi dosimétrique que d'une évolution significative de leur activité.



**Figure 11 - Evolution des effectifs surveillés, par domaines d'activité, de 1996 à 2005**

Il faut aussi noter que les données du laboratoire COMET France ont été ajoutées au bilan en 2005, d'où des effectifs surveillés dans les secteurs médicaux et vétérinaires en augmentation.

On remarque également une croissance régulière des effectifs surveillés dans l'industrie non nucléaire depuis 2002.

#### **8.3.4.2. Evolution des doses collectives de 1996 à 2005**

L'évolution de la dose collective de l'ensemble des travailleurs surveillés apparaît en figure 12, parallèlement à l'évolution du nombre de ces travailleurs, sur la période 1996 - 2005.

La dose collective baisse régulièrement avec toutefois une très légère remontée au cours de l'année 2003. Cette évolution à la baisse se réalise alors même que le nombre de travailleurs surveillés a plutôt tendance à augmenter.

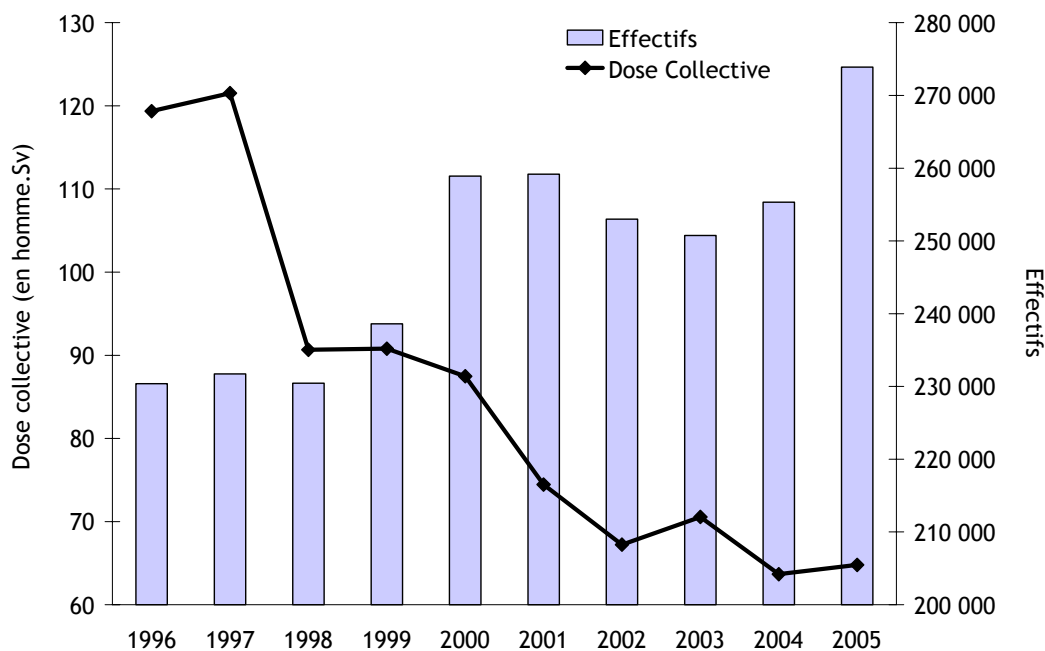


Figure 12 - Evolution des effectifs surveillés et des doses collectives, de 1996 à 2005

La figure 13 rend compte de l'évolution des doses observée dans les différents domaines d'activité.

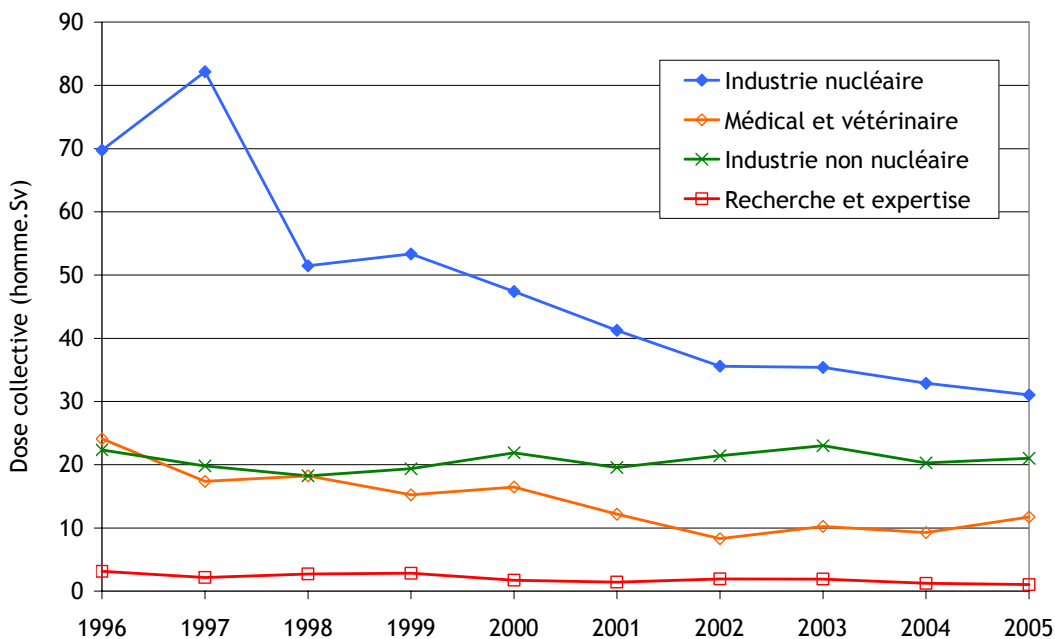


Figure 13 - Evolution des doses collectives, par domaines d'activité, de 1996 à 2005

L'industrie nucléaire où ont été consentis des efforts importants pour développer la radioprotection présente la baisse la plus nette de la dose collective. De façon moins spectaculaire puisque la dose collective y est plus faible, le domaine des activités médicales et vétérinaires présente également une baisse d'un facteur 2 en 10 ans.

### 8.3.4.3. Evolution du nombre de travailleurs ayant reçu une dose externe annuelle supérieure à 20 mSv, de 1996 à 2005

Rappelons que la limite réglementaire pour la dose efficace reçue au cours de douze mois consécutifs est de 50 mSv jusqu'au 31 mars 2003, puis de 35 mSv jusqu'au 31 mars 2005, date à laquelle elle passe à 20 mSv.

La figure 14 présente l'évolution de 1996 à 2005 du nombre de travailleurs surveillés dont la dose annuelle est supérieure à 20 mSv.

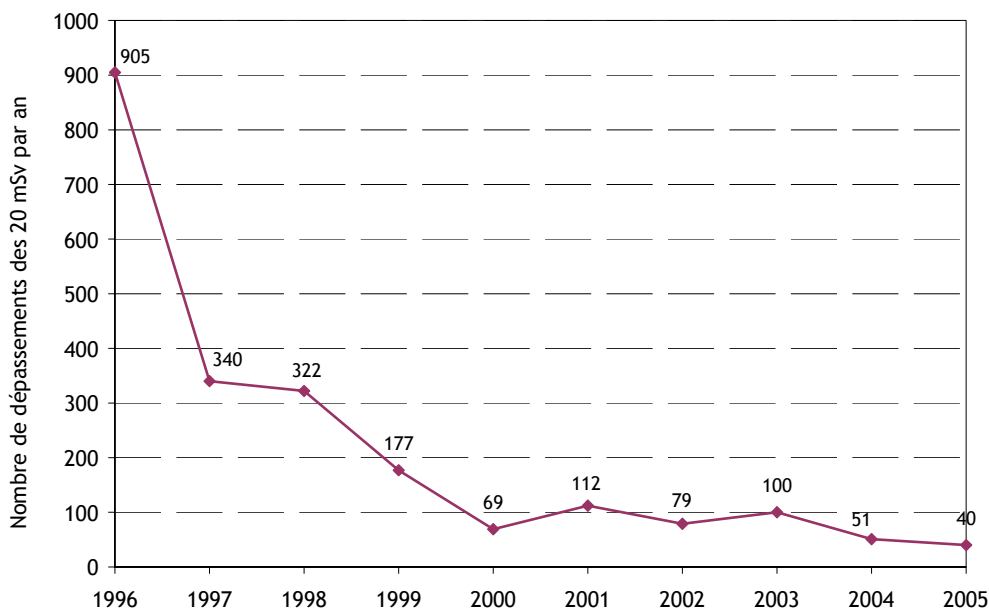


Figure 14 - Evolution du nombre de travailleurs surveillés dont la dose annuelle est supérieure à 20 mSv, de 1996 à 2005

En 1996, 905 travailleurs surveillés avaient reçu une dose externe supérieure à 20 mSv. Ce nombre a été divisé par 13 entre 1996 et 2000. Depuis 2000, la situation reste relativement stable et les variations annuelles relèvent de fluctuations statistiques. A noter cependant que le nombre de travailleurs ayant reçu une dose externe supérieure à 20 mSv passe pour la première fois sous la barre des 50 en 2005.

Au cours de ces 10 années passées, 3 secteurs d'activité présentent de façon récurrente des doses supérieures à 20 mSv par an : le secteur de la radiologie médicale, celui de l'industrie classique (essentiellement les métiers du contrôle non destructif) et celui des entreprises sous-traitantes des grands exploitants nucléaires (calorifugeurs, tourneurs, mécaniciens, soudeurs...).

Le nombre de cas de dépassement des 20 mSv a fortement diminué dans l'industrie nucléaire<sup>11</sup> (487 en 1996, 2 en 2005) mais aussi dans l'industrie non nucléaire (222 en 1996, 8 en 2005).

Une baisse régulière est également observée dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (193 en 1996, 30 en 2005) ; ce domaine est depuis 1997 celui qui concentre les effectifs les plus fortement exposés (figure 15).

<sup>11</sup> Industrie nucléaire : centrales nucléaires - agents EDF, cycle du combustible - agents AREVA, MELOX, et entreprises extérieures.

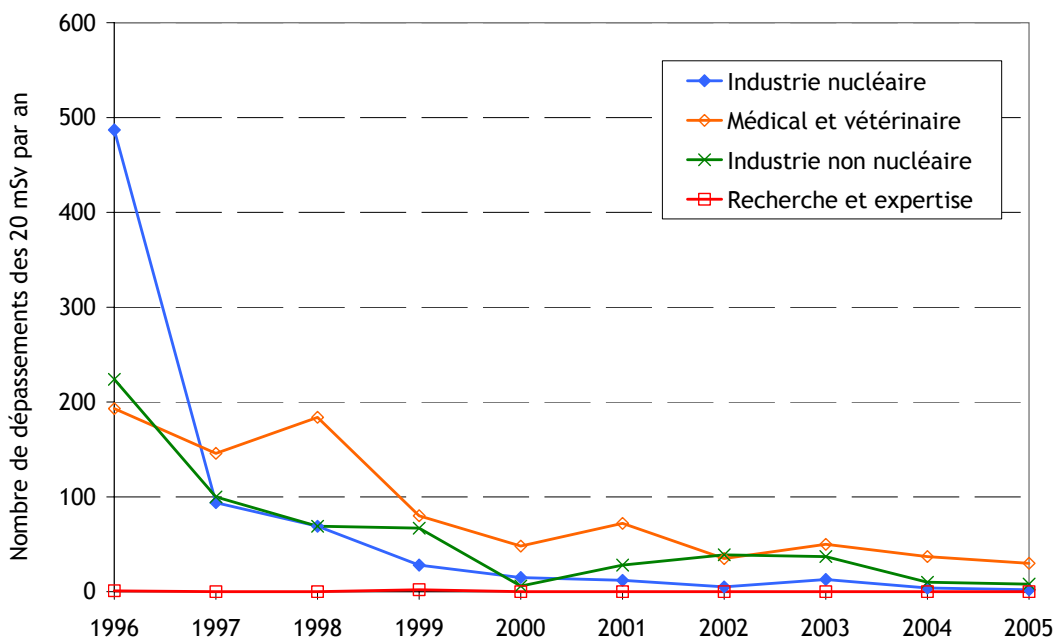


Figure 15 - Evolution du nombre de travailleurs surveillés dont la dose annuelle est supérieure à 20 mSv, de 1996 à 2005, par domaines d'activité

#### 8.3.4.4. Evolution du nombre de travailleurs ayant reçu une dose externe annuelle supérieure à 50 mSv de 1996 à 2005

La figure 16 illustre l'évolution du nombre de travailleurs ayant reçu une dose externe annuelle supérieure à 50 mSv au cours de la période 1996-2005.

En 1996, ils étaient 63 travailleurs surveillés à avoir reçu une dose par exposition externe supérieure à 50 mSv. Ce nombre a été divisé par 10 entre 1996 et 2005.

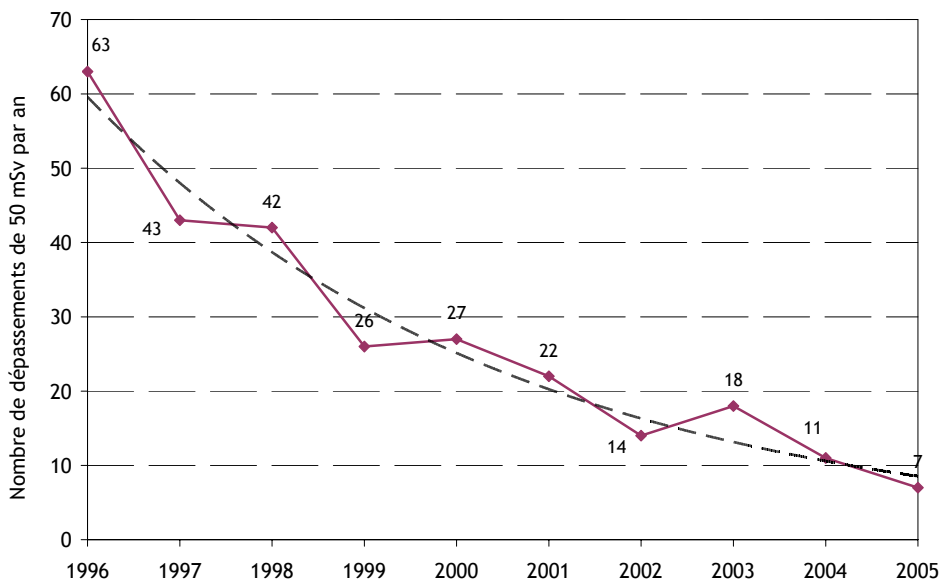


Figure 16 - Nombre de travailleurs ayant reçu une dose externe annuelle supérieure à 50 mSv, de 1996 à 2005

Des doses annuelles supérieures à 50 mSv sont enregistrées de façon récurrente mais elles sont en nette régression dans le secteur de la radiologie médicale (45 en 1996, 4 en 2005) et dans l'industrie non nucléaire (15 en 1996, 3 en 2005).

## 8.4. DOSIMETRIES COMPLEMENTAIRES

### 8.4.1. Dosimétrie des neutrons (corps entier)

En 2005, la dosimétrie des neutrons a concerné 24 518 travailleurs surveillés. La dose collective « neutrons » est de 1,22 homme.Sv, les activités réalisées dans l'établissement de Melox contribuant pour 60 % à cette dose.

Il n'y a pas de dépassement de limites réglementaires par les doses « neutrons » (corps entier ou extrémités) et la dose « neutrons » individuelle maximale enregistrée est de 13,5 mSv en 2005.

Les informations transmises concernant la dosimétrie des neutrons en 2005 sont regroupées ci-après par laboratoire de surveillance.

- Laboratoire de l'IPN d'Orsay

Parmi les 2 652 travailleurs surveillés par l'IPN d'Orsay, 692 disposent d'une dosimétrie spécifique aux neutrons. Il est à noter 7 cas seulement d'exposition mixte photons et neutrons enregistrés par l'IPN en 2005.

Parmi les 692 travailleurs surveillés pour leur exposition aux neutrons, 11 enregistrent une dose annuelle « neutrons » comprise entre le seuil d'enregistrement et 6 mSv. La dose collective due aux neutrons s'élève à 8,6 homme.mSv pour 2005, soit 16 % de la dose collective totale (54,9 homme.mSv).

La dose individuelle maximale due à la composante « neutrons » est de 2,4 mSv en 2005.

- Laboratoire de l'IReS

Les activités réalisées dans les laboratoires de recherche suivis par l'IReS ne nécessitent pas la mise en œuvre d'une dosimétrie complémentaire « neutrons ».

- Laboratoire COMET France

Les activités surveillées (activité médicales et vétérinaires) par le laboratoire COMET France ne nécessitent pas la mise en œuvre d'une dosimétrie complémentaire « neutrons ».

- Laboratoire AREVA NC La Hague

Les 3 045 travailleurs surveillés par le laboratoire AREVA NC La Hague font tous l'objet d'une dosimétrie complémentaire « neutrons » au niveau de la poitrine. En 2005, 248 d'entre eux ont reçu une dose totale (neutrons + photons) supérieure au seuil d'enregistrement ; parmi eux, 55 ont reçu une dose « neutrons » supérieure au seuil d'enregistrement.

La dose collective totale (neutrons + photons) est de 145,35 homme.mSv en 2005. La contribution de la composante neutronique à la dose collective est de 11,55 homme.mSv, soit environ 8 % de la dose collective totale. La dose individuelle maximale due à la composante « neutrons » est de 0,9 mSv en 2005.

- Laboratoire AREVA NC Marcoule

Les 4 083 travailleurs dont la surveillance est assurée par le laboratoire AREVA NC Marcoule sont composés de personnels d'AREVA (2909 dont 827 sur l'établissement de Melox), du CEA Valrho (1057), d'EDF (58), de FBFC (36) et de « divers » (23).

Tous font l'objet d'une dosimétrie complémentaire « neutrons » au niveau de la poitrine. Seuls les établissements de Marcoule et de Melox enregistrent des doses neutrons (6 travailleurs pour l'établissement de Marcoule et 355 pour l'établissement de Melox).



La composante neutronique représente environ 1 % de la dose collective de l'établissement de Marcoule, mais plus de 48 % de celle de l'établissement de Melox ; ceci s'explique par le fort taux d'émission neutronique du combustible MOX (oxyde mixte de plutonium et d'uranium) fabriqué à Melox.

La dose individuelle maximale due à la composante « neutrons » est de 6,05 mSv en 2005 (sur l'établissement de Melox).

- Laboratoire LCIE Landauer

2 602 travailleurs ont fait l'objet d'une dosimétrie « neutrons » en 2005. La dose collective correspondante s'élève à 41,9 homme.mSv et la dose individuelle maximale 2,3 mSv est reçue par un prestataire travaillant dans les Installations Nucléaires de Base (INB).

- Laboratoire de l'IRSN

14 096 travailleurs ont fait l'objet d'une dosimétrie « neutrons » en 2005. La dose collective correspondante est de 422 homme.mSv et la dose individuelle maximale 13,5 mSv est reçue par un travailleur classé « industries non nucléaires ».

#### **8.4.2. Dosimétrie des extrémités**

Des dosimètres d'extrémités (bagues, dosimètres « poignets ») sont portés par les travailleurs dont les mains ou les membres sont susceptibles d'être soumis, au cours de leurs tâches, à une exposition aux rayonnements ionisants significative par rapport au reste de leur organisme. C'est le cas par exemple des médecins réalisant une biopsie viscérale sous rayonnements ionisants ou encore des opérateurs effectuant des manipulations de sources radioactives en boîtes à gants.

La limite réglementaire de dose aux extrémités sur douze mois consécutifs est fixée à 500 mSv.

En 2005, la dosimétrie « poignet » montre une dose cumulée de 32 Sv pour 15 089 travailleurs surveillés. La dose cumulée pour la dosimétrie « bague » est de 22,3 Sv pour 4 922 travailleurs surveillés.

On note un dépassement de la limite de 500 mSv sur la dosimétrie « poignet » (dosimètre photographique) dans le cadre d'activités professionnelles liées au cycle du combustible (dose individuelle enregistrée à 972,5 mSv) et un dépassement sur la dosimétrie « bague » en radiologie (dose individuelle enregistrée par un dosimètre thermoluminescent égale à 504,4 mSv).

Les informations transmises en 2005 pour ce qui concerne la dosimétrie d'extrémités sont regroupées ci-après par laboratoire.

- Laboratoire de l'IPN d'Orsay

La dosimétrie d'extrémités « poignet » a concerné 189 travailleurs en 2005. 19 d'entre eux présentent une dose individuelle annuelle comprise entre le seuil d'enregistrement et 8,9 mSv, soit une dose très inférieure à la limite réglementaire de 500 mSv. La dose cumulée s'établit à 36,1 mSv.

La dosimétrie d'extrémités « doigt » a concerné 88 travailleurs en 2005. 12 d'entre eux présentent une dose individuelle annuelle comprise entre le seuil d'enregistrement et 0,6 mSv. La dose cumulée s'établit à 4,2 mSv.

- Laboratoire de l'IReS

L'effectif total surveillé pour la dosimétrie des extrémités « poignet » est de 40 travailleurs ; 8 travailleurs sont exposés et la dose cumulée s'élève à 4,1 mSv. La dose individuelle annuelle maximale enregistrée est de 1,4 mSv.

- Laboratoire COMET France

La dosimétrie d'extrémités « poignet » a concerné 321 travailleurs en 2005. La dose cumulée correspondante s'élève à 637 mSv. La dose individuelle annuelle maximale est de 85,1 mSv (rencontrée en radiologie médicale).

La dosimétrie d'extrémités « doigt » a concerné 231 travailleurs en 2005. 222 d'entre eux présentent une dose individuelle annuelle comprise entre le seuil d'enregistrement et 500 mSv. Une personne (en radiologie médicale) présente une dose individuelle annuelle enregistrée à 504,4 mSv. La dose cumulée pour l'effectif surveillé s'établit à 2,92 Sv.

- Laboratoire AREVA NC La Hague

La dosimétrie « poignet » a concerné 2 190 travailleurs en 2005 (soit 73 % des salariés). Sur les 2 190 travailleurs, 290 ont reçu une dose individuelle annuelle supérieure au seuil d'enregistrement et la dose cumulée aux extrémités est de 276,5 homme.mSv. La dose individuelle maximale est de 19,65 mSv.

- Laboratoire AREVA NC Marcoule

La dosimétrie d'extrémités « poignet » a été mise en œuvre pour 1 662 agents dont 520 ont reçu des doses supérieures au seuil d'enregistrement. La dose cumulée aux extrémités pour les 520 travailleurs est de 10,72 Sv (l'établissement de Melox contribuant à presque 99 % de la dose cumulée). La dose individuelle annuelle maximale enregistrée est de 115,15 mSv pour un agent de l'établissement de Melox.

L'augmentation d'environ un facteur 2 des doses collectives aux extrémités entre 2002 et 2005 est du même ordre que celle observée au niveau de l'organisme entier (doses efficaces collectives mesurées par les dosimètres passifs portés à la poitrine). Cette augmentation traduit l'évolution à la hausse de la capacité de production de l'usine Melox.

- Laboratoire LCIE Landauer

La dosimétrie d'extrémités « poignet » a concerné 3 943 travailleurs en 2005. La dose cumulée s'élève à 7,73 Sv. La dose individuelle annuelle maximale est de 176,09 mSv (rencontrée en radiologie médicale où se trouvent 60 % des effectifs bénéficiant de ce type de dosimétrie).

La dosimétrie d'extrémités « doigt » a concerné 2 095 travailleurs en 2005. 952 d'entre eux présentent une dose individuelle annuelle comprise entre le seuil d'enregistrement et 150 mSv. Six travailleurs présentent une dose annuelle comprise entre 150 mSv et 343,3 mSv (tous en radiologie médicale). La dose cumulée s'établit à 12,59 Sv.

- Laboratoire de l'IRSN

6 744 travailleurs ont fait l'objet d'une dosimétrie « poignet » en 2005. La dose cumulée s'élève à 12,58 Sv et la dose individuelle annuelle maximale enregistrée s'élève à 972,5 mSv pour un travailleur du cycle du combustible.

2 508 travailleurs ont fait l'objet d'une surveillance de la dosimétrie « doigt » (port d'une bague dosimétrique) en 2005. La dose cumulée s'élève 6,7 Sv. La dose individuelle annuelle maximale enregistrée est de 59,5 mSv.

## 8.5. FOCUS : L'ACTIVITE DE GAMMAGRAPHIE INDUSTRIELLE

### 8.5.1. Contexte

Ce chapitre est consacré à la gammagraphie industrielle qui constitue une activité à fort enjeu dosimétrique.

La gammagraphie ou radiographie gamma industrielle est une technique de Contrôle Non Destructif (CND) qui permet d'identifier les défauts d'homogénéité dans le métal et en particulier dans les soudures. Cette technique utilise des sources radioactives d'Iridium 192 (jusqu'à 4,4 TBq) pour la majorité des gammagraphes, de Cobalt 60 (jusqu'à 18 TBq) et rarement des sources de Césium 137. Cette technique est utilisée dans différents secteurs d'activités : industrie nucléaire, industrie gazière, secteur pétrochimique, BTP, etc.

La gammagraphie présente des risques du fait de l'utilisation de sources radioactives de forte activité. Le débit de dose engendré par la source en position d'irradiation peut être très élevé selon l'activité de la source et la distance à celle-ci.

L'activité de gammagraphie en France pour l'année 2006 représente (données IRSN en avril 2006) :

- 139 autorisations d'utilisation de sources radioactives (en sachant qu'une même entreprise peut posséder plusieurs autorisations),
- environ 600 appareils de gammagraphie, dont 550 utilisant une source d'Iridium 192 et 50 utilisant une source de cobalt 60.

Le gammagraphe est constitué :

- d'un projecteur en uranium appauvri (servant de container de stockage quand la source n'est pas utilisée et permettant son transport) contenant la source radioactive insérée dans un porte-source,
- des accessoires (télécommande et gaine d'éjection), destinés à sortir la source du projecteur et à amener celle-ci auprès de l'objet à radiographier. La télécommande, en général manuelle sur les appareils portatifs, permet à l'opérateur de se tenir à distance de la source.

Sur les chantiers de tirs gammagraphiques, un dysfonctionnement du matériel ou un non respect des procédures peut être grave de conséquences pour les opérateurs ou des personnes extérieures au chantier de gammagraphie. Des incidents avec ou sans exposition se sont souvent produits en France, mais rares sont ceux qui ont entraîné un dépassement des limites réglementaires (3 cas recensés depuis 1975 en France).

L'analyse d'une centaine d'incidents (ou « événements ») liés à l'activité de gammagraphie en France depuis 1975 montre que malgré les moyens de protection mis en œuvre sur les chantiers, l'organisation et le facteur humain (absence de balisage, non respect des procédures, etc.) interviennent dans une majorité des incidents répertoriés. Les incidents mettant en cause le balisage (défaut ou franchissement de balisage) représentent la moitié des incidents en France. Le quart des incidents a pour origine un défaut de retour de source (la source est bloquée ou l'opérateur a oublié de ramener la source dans le projecteur). Les conditions de travail interviennent également dans l'augmentation du risque d'incident. Les chantiers de tirs gammagraphiques sont souvent réalisés dans des conditions difficiles (travail nocturne, accessibilité réduite, environnement bruyant, éclairage, contamination, autres chantiers en parallèle, risque d'explosion, etc.).

### 8.5.2. Bilan de l'exposition externe pour l'activité de gammagraphie industrielle

L'IRSN a essayé d'estimer les doses associées à la gammagraphie en France à partir de la liste des entreprises exerçant cette activité et des données dosimétriques correspondantes (extraction de SISERI). La dosimétrie des travailleurs concernés est difficile à établir à partir des données recueillies (comparaison de deux bases de données disposant de champs d'entrées différents, etc.). Seules 78 des 139 autorisations de détentions de gammagraphes

ont pu être utilisées pour repérer des entreprises et leurs travailleurs. L'analyse des données recueillies a permis de souligner le pourcentage significatif de travailleurs ayant une dose individuelle annuelle supérieure à 6 mSv, de l'ordre de 17 % des 1244 travailleurs concernés. Comparativement, seulement 2,5 % des travailleurs du secteur « industrie non nucléaire » (cf. tableau 4) ont reçu des doses supérieures à 6 mSv.

## 8.6. CONCLUSION

Le bilan des expositions externes des travailleurs pour l'année 2005 a été réalisé avec la même méthode que pour l'année 2004. Les variations observées d'une année sur l'autre sont faibles pour ce qui concerne la dose collective.

Quelques points marquants déjà soulignés en 2004 se confirment.

Le premier est la diminution des doses collectives amorcée depuis la fin des années 90. Celle-ci se poursuit en particulier dans les secteurs de l'industrie nucléaire et du médical alors que les effectifs surveillés correspondants ont plutôt augmenté. Cette évolution positive est due à la mise en application de la directive européenne 96/29/Euratom (1996) transposée en mars 2003 dans la réglementation française. Par contre, dans le secteur de l'industrie non nucléaire les doses collectives restent sensiblement constantes depuis une dizaine d'années.

Le second point est que le nombre de travailleurs ayant reçu au cours de l'année 2005 une dose annuelle supérieure à 20 mSv a encore diminué ; ils ne sont maintenant que 40. Comme les années précédentes, les secteurs présentant les travailleurs les plus exposés sont le secteur médical et celui de l'industrie non nucléaire.

## 8.7. PERSPECTIVES

Pour améliorer la robustesse des bilans dosimétriques annuels futurs, plusieurs voies devront être exploitées :

- d'abord poursuivre le déploiement opérationnel du système SISERI. Il permettra à terme de faciliter l'enregistrement et le traitement des données, et d'améliorer les statistiques des expositions professionnelles. Il autorisera notamment la comparaison des résultats obtenus par la dosimétrie passive et par la dosimétrie opérationnelle qui est un des éléments de consolidation des données dosimétriques ;
- ensuite mettre en place une nouvelle nomenclature des métiers et des activités. Cette nomenclature commune aux employeurs, aux laboratoires de surveillance dosimétrique et à l'IRSN chargé de collecter et de traiter l'ensemble des informations dosimétriques (SISERI), est nécessaire pour disposer d'éléments d'information plus fins, utiles pour l'analyse des données.

Pour obtenir le panorama complet des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants, il faudra aussi élargir le bilan :

- d'abord compléter le bilan avec les données du secteur de la défense, en relation avec le Service de Protection Radiologique des Armées qui assure la surveillance dosimétrique des personnels militaires ;
- ensuite intégrer les données de dosimétrie interne qui ne sont toujours pas envoyées à SISERI par les laboratoires en charge de la surveillance des expositions internes ;
- enfin introduire autant que possible les doses reçues hors du territoire et distinguer les données par catégorie de travailleurs (A et B).

## 9. EXPOSITIONS INTERNES DES TRAVAILLEURS SUIVIS PAR L'IRSN EN 2005

L'évaluation de l'exposition des travailleurs exposés à un risque de contamination interne repose sur la détermination de l'activité incorporée dans l'organisme, à l'aide de deux types d'analyses : la mesure de l'activité incorporée par anthroporadiométrie (mesures directes de la contamination interne corporelle) et la mesure de l'activité excrétée à partir d'analyses radiotoxicologiques (dosages réalisés sur des excréta urines ou selles). La dosimétrie interne consiste à évaluer la dose reçue à partir de l'activité incorporée ; cette évaluation est effectuée par le médecin du travail en cas d'activité incorporée significative.

En France, le suivi des expositions internes des travailleurs est assuré par les LABM des grands exploitants du secteur nucléaire pour leurs propres travailleurs et par le LAMR de l'IRSN pour la plupart des autres travailleurs concernés par le risque de contamination interne (du secteur médical principalement).

Au cours de l'année 2005, l'IRSN a réalisé 208 examens anthroporadiométriques. 162 examens se sont révélés négatifs et 46 positifs, soit 20% environ des examens. La population examinée est constituée de professionnels de santé (67 examens), de personnels de l'IRSN (63 examens), de personnes ayant séjourné pour des raisons professionnelles ou privées dans des pays de l'Est proches de Tchernobyl (35 examens), et de personnes victimes d'incidents de contamination ou examinées à la demande de médecins (43 examens). Sur les 10 dernières années, la proportion d'examens avec une activité significative se situe entre 15% au minimum (1997) et 35% au maximum (2003) et dépend très fortement du type de public sur lequel les examens sont réalisés. Dans les 67 examens du secteur médical, près d'un sur deux a mis en évidence une contamination interne. Les raisons permettant d'expliquer ces examens positifs sont multiples : modes opératoires non respectés, piètre qualité des installations et politique insuffisante de radioprotection. La répartition des radionucléides détectés montre que le technétium 99 métastable est à l'origine des trois quarts des contaminations constatées. Le thallium 201 et les iodes 125 et 131 sont les trois autres radionucléides détectés dans le secteur médical. Une mesure anthroporadiométrique spécifique centrée sur la thyroïde a permis de quantifier précisément les deux isotopes de l'iode.

Pour ce qui concerne la surveillance radiotoxicologique effectuée par l'IRSN en 2005 :

- 3 611 personnes ont été suivies,
- 5 899 échantillons biologiques ont été traités (urines en quasi totalité),
- 20 234 analyses ont été réalisées,
- 64 radionucléides différents ont été mesurés lors des analyses.

Les analyses positives, au nombre de 96, représentent 0,5 % du nombre total d'analyses. Les principaux radionucléides identifiés sont  $^{131}\text{I}$  (43 fois),  $^3\text{H}$  (17 fois) et  $^{201}\text{Tl}$  (12 fois).

## 10. REFERENCES

- [1] La radioprotection des travailleurs - Bilan 2004 - IRSN - Rapport DRPH/2005-09 - 15/11/05 - O. COUASNON, A. RANNOU
- [2] La radioprotection des travailleurs - Bilan de la surveillance de l'exposition externe en 2003 - IRSN - Rapport DRPH/SER 2004-38 - 22/12/04 - O. COUASNON, A. RANNOU
- [3] La radioprotection des travailleurs - Bilan de la surveillance de l'exposition externe en 2004 - IRSN - NT SER/UETP 2005-19 - 06/09/05 - O. COUASNON
- [4] Revue Contrôle - Dossier: Le contrôle de l'utilisation des rayonnements ionisants - Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France - Répartition des doses par secteur d'activité - ASN - n° 143 - novembre 2001 - A. BIAU
- [5] Rapport d'activité OPRI - 1996
- [6] Rapport d'activité OPRI - 1997
- [7] Rapport d'activité OPRI - 1998
- [8] Rapport d'activité OPRI - 1999
- [9] Rapport d'activité OPRI - 2000
- [10] Rapport d'activité OPRI - 2001
- [11] La radioprotection des travailleurs exposés (Eléments de statistiques dosimétriques de l'année 2002 communiqués à la DRT) - IRSN - A. BIAU

# 11. ANNEXE : BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES PROFESSIONNELLES DES TRAVAILLEURS EN 2004

Cf. [1]

Rubriques	Secteur d'activité	Travailleurs surveillés	< seuil	Entre le seuil et 1 mSv	1 à 6 mSv	6 à 15 mSv	15 à 20 mSv	20 à 50 mSv	> 50 mSv	Dose collective en homme.Sv
1	Radiologie médicale	92948	85818	6048	918	129	7	23	5	6,28
2	Radiothérapie	7160	6749	268	122	18	0	3	0	0,65
3	Médecine nucléaire	3875	3002	522	321	30	0	0	0	1,29
4	Sources non scellées in vitro	2914	2804	83	26	1	0	0	0	0,10
5	Dentaire	23773	23149	549	69	4	0	1	1	0,49
6	Médecine Travail	4681	4480	187	11	2	0	1	0	0,11
7	Vétérinaires	7655	7360	266	24	2	0	2	1	0,34
8	Industrie non nucléaire	29174	24324	1216	2527	1068	30	5	4	20,02
9	Recherche	7211	7163	33	15	0	0	0	0	0,04
10	Divers	7613	7465	75	68	4	0	1	0	0,26
11	EDF (agents)	19406	15431	2651	1321	3	0	0	0	9,50
12	COGÉMA LA HAGUE	3012	2809	176	27	0	0	0	0	0,12
13	COGÉMA MARCOULE*	3380	3089	234	57	0	0	0	0	0,20
14	MELOX	809	391	113	216	89	0	0	0	1,45
15	CEA	6600	6255	257	88	0	0	0	0	1,17
16	IPN Orsay	3132	3101	25	6	0	0	0	0	0,02
17	« Entreprises extérieures » ** (suivi IRSN)	23745	19167	2597	1611	364	3	1	2	8,50
18	« Entreprises extérieures » ** (suivi LCIE)	7429	4592	234	1823	749	30	1	0	13,13
19	IReS - CNRS Délégation Alsace, Université Louis Pasteur de Strasbourg	804	793	11	0	0	0	0	0	≈ 0
	<b>Total</b>	<b>255321</b>	<b>227942</b>	<b>15545</b>	<b>9250</b>	<b>2463</b>	<b>70</b>	<b>38</b>	<b>13</b>	<b>63,68</b>

\* Travailleurs des établissements de Cogéma Marcoule, Pierrelatte, FBFC et Miramas, suivis par les laboratoires Cogéma Marcoule (effectif constitué majoritairement d'agents Cogéma, mais aussi CEA, IRSN, etc.).

\*\* Les « entreprises extérieures » désignent les entreprises intervenant pour le compte des grands exploitants dans les installations nucléaires de base.