

La radioprotection des travailleurs

Bilan 2006 de la surveillance des travailleurs exposés
aux rayonnements ionisants en France



Systeme de management
de la qualite IRSN certifie

DIRECTION DE LA RADIOPROTECTION DE L'HOMME

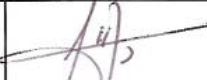
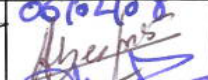



Demandeur	IRSN
Référence de la demande	
Numéro de la fiche programme	

La radioprotection des travailleurs

Bilan 2006 de la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants en France

Alain RANNOU, Roselyne AMEON, Patrice BOISSON, Isabelle CLAIRAND, Olivier COUASON, Laurent DONADILLE, Didier FRANCK, Jean-Luc REHEL, Pascale SCANFF, Maylis TELLE-LAMBERTON

DRPH/DIR/2008-4

	Auteur(s)	Vérificateurs*	Visas pour diffusion		
			Directeur de la DEI	Directeur de la DRPH	Directeur Général de l'IRSN
Noms	A. RANNOU	A. DESPRES P. MONTI	D. CHAMPION	P. GOURMELON	J. REPUSSARD
Dates	01/02/08	06/02/08	06/02/08	11/02/08	14/02/08
Signatures					

* rapport sous assurance de la qualité

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Version	Date	Auteur	Pages ou paragraphes modifiés	Description ou commentaires

LISTE DES PARTICIPANTS

Nom	Organisme

LISTE DE DIFFUSION

Nom	Organisme
	IRSN

RESUME

En France, près de 280 000 travailleurs sont susceptibles d'être exposés aux rayonnements ionisants dans différents secteurs d'activité professionnelle (industrie, recherche, médecine). Au titre de sa mission de participation à la veille permanente en matière de radioprotection, l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire assure une surveillance de ces expositions professionnelles. Ce rapport présente les travaux réalisés dans ce cadre par l'IRSN et dresse un bilan des expositions des travailleurs pour l'année 2006.

ABSTRACT

In France, nearly 280 000 workers are potentially exposed to ionizing radiation in various areas of professional activity (industry, research, medicine). As part of its mission to participation in the permanent monitoring in matters of radiological protection, the Institute of Radioprotection and Nuclear Safety operates radiological monitoring of these occupational exposures. This document presents the work carried out in this field by IRSN and reports on the worker's exposures for the year 2006.

MOTS-CLES

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

SOMMAIRE

1.	INTRODUCTION	7
2.	MODALITES DE LA SURVEILLANCE DOSIMETRIQUE DES TRAVAILLEURS	8
2.1.	OBJECTIFS DE LA SURVEILLANCE.....	8
2.2.	AGREMENT DES ORGANISMES DE DOSIMETRIE	8
2.2.1.	Avis de l'IRSN sur l'adéquation des techniques de dosimétrie avec la surveillance individuelle des travailleurs	9
2.2.2.	Intercomparaison de dosimétrie passive.....	9
2.2.3.	intercomparaison d'analyses radiotoxicologiques.....	11
2.3.	SYSTEME SISERI	12
2.3.1.	La transmission des données à SISERI en 2006.....	12
2.3.2.	La consultation des données de SISERI.....	14
3.	BILAN DE LA SURVEILLANCE DES EXPOSITIONS EXTERNES EN 2006	15
3.1.	METHODOLOGIE ET HYPOTHESES RETENUES	15
3.2.	RESULTATS GENERAUX.....	16
3.3.	DEPASSEMENTS DE LA LIMITE ANNUELLE REGLEMENTAIRE	19
3.4.	ANALYSES PAR DOMAINES D'ACTIVITE.....	20
3.4.1.	Activités médicales et vétérinaires.....	21
3.4.2.	Activités de recherche.....	22
3.4.3.	Industrie nucléaire	23
3.4.4.	Industrie non nucléaire	25
3.5.	EVOLUTIONS PAR RAPPORT AUX ANNEES PRECEDENTES (PERIODE 1996 - 2006)	25
3.5.1.	Evolution des effectifs surveillés par grands domaines d'activité de 1996 à 2006	25
3.5.2.	Evolution des doses collectives de 1996 à 2006	27
3.5.3.	Evolution du nombre de travailleurs ayant reçu une dose externe annuelle supérieure à 20 mSv, de 1996 à 2006	28
3.5.4.	Evolution du nombre de travailleurs ayant reçu une dose externe annuelle supérieure à 50 mSv de 1996 à 2006	29
3.6.	DOSIMETRIES COMPLEMENTAIRES	30
3.6.1.	Dosimétrie des neutrons (corps entier)	30
3.6.2.	Dosimétrie des extrémités	33
3.7.	DONNEES TRANSMISES PAR LE SPRA POUR LE BILAN 2006.....	36
4.	BILAN DE LA SURVEILLANCE DES EXPOSITIONS INTERNES EN 2006.....	37
4.1.	ELEMENTS DE CONTEXTE	37
4.1.1.	Les secteurs d'activité	37
4.1.2.	les modalités de surveillance.....	37
4.1.3.	Données générales	38
4.1.4.	Données par secteur d'activité	45

5.	EXPOSITION DES TRAVAILLEURS A LA RADIOACTIVITE NATURELLE.....	49
5.1.	INDUSTRIES « NORM ».....	49
5.2.	RADON.....	50
6.	ETUDES DE POSTES DE TRAVAIL	51
6.1.	CONTEXTE REGLEMENTAIRE	51
6.2.	ETUDES DE POSTES REALISEES PAR L'IRSN EN 2006	51
6.2.1.	Caractérisation d'une installation de type Newtom 3G.....	51
6.2.2.	Etude de radioprotection auprès d'une installation d'IORT de type Mobetron	52
6.2.3.	Etude du rayonnement neutronique secondaire auprès d'accélérateurs médicaux	53
6.2.4.	Etude de poste en milieu vétérinaire	54
6.2.5.	Etude de poste auprès d'installations nucléaires AREVA : dosimétrie d'extrémités en champ mixte neutrons-photons	54
7.	SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION.....	54
8.	CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	57
9.	REFERENCES	59
	ANNEXE I : PANORAMA DES TECHNIQUES DE DOSIMETRIE EXTERNE PASSIVE EN 2006	60
	1 - LES DIFFERENTES TECHNIQUES	60
	2 - LE SEUIL D'ENREGISTREMENT DES DOSES	61
	ANNEXE II : BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES DES TRAVAILLEURS EN 2005	63

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Tableau 1 - Bilan des expositions professionnelles - 2006	17
Tableau 2 - Bilan synthétique des expositions professionnelles - 2006	20
Tableau 3 - Surveillance des travailleurs par des analyses radiotoxicologiques urinaires.....	40
Tableau 4 - Surveillance des travailleurs par des analyses radiotoxicologiques fécales.....	41
Tableau 5 - Surveillance des travailleurs par des analyses radiotoxicologiques de prélèvements nasaux	42
Tableau 6 - Surveillance des travailleurs par des examens anthroporadiométriques	43
Tableau 7 - Mesures spéciales réalisées suite à un incident (ou une suspicion) de contamination	44
Tableau 8 - Bilan des mesures anthroporadiométriques réalisées par EDF sur ses différents sites en 2006.....	46
Tableau 9 - Principaux radionucléides émetteurs γ et β analysés par l'IRSN en 2006.....	48
Tableau 10 - Evènements de radioprotection concernant les travailleurs en 2006.....	55
Tableau Annexe I - Panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2006	62
Tableau Annexe II - Bilan des expositions externes des travailleurs en 2005	63
Figure 1 - Résultats obtenus lors de l'intercomparaison des laboratoires pour des dosimètres passifs « poitrine » irradiés en incidence normale à des rayonnements mixtes β , γ	10
Figure 2 - Résultats obtenus lors de l'intercomparaison des laboratoires pour des dosimètres passifs « poignet » irradiés à des rayons X filtrés	10
Figure 3 - Résultats obtenus lors de l'intercomparaison des laboratoires pour l'analyse radiotoxicologique de strontium-90 dans les urines	11
Figure 4 - Répartition par secteurs d'activité des établissements ayant transmis des données de dosimétrie opérationnelle en 2006	13
Figure 5 - Progression du nombre de personnes compétentes en radioprotection (PCR) et de médecins du travail ayant accès à SISERI depuis sa mise en service	14
Figure 6 - Répartition par secteurs d'activité des personnes compétentes en radioprotection (PCR) ayant accès à SISERI en 2006	14
Figure 7 - Répartition des cas de dépassement de la limite annuelle réglementaire en 2006	19
Figure 8 - Bilan synthétique des expositions externes professionnelles en 2006 par domaines d'activité (effectifs surveillés, doses collectives et effectifs dont la dose individuelle annuelle est supérieure à 20 mSv)	21
Figure 9 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives dans le domaine médical et vétérinaire en 2006	22
Figure 10 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives dans l'industrie nucléaire en 2006	23
Figure 11 - Evolution des effectifs surveillés, par domaines d'activité, de 1996 à 2006	26
Figure 12 - Evolution des effectifs surveillés et des doses collectives, de 1996 à 2006	27
Figure 13 - Evolution des doses collectives, par domaines d'activité, de 1996 à 2006	28
Figure 14 - Evolution du nombre de travailleurs surveillés dont la dose annuelle est supérieure à 20 mSv, de 1996 à 2006	28
Figure 15 - Evolution du nombre de travailleurs surveillés dont la dose annuelle est supérieure à 20 mSv, de 1996 à 2006, par domaines d'activité	29
Figure 16 - Nombre de travailleurs ayant reçu une dose externe annuelle supérieure à 50 mSv, de 1996 à 2006	30
Figure 17 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives pour la dosimétrie des neutrons en 2006	31
Figure 18 - Répartition des effectifs surveillés et des doses enregistrées pour la dosimétrie « poignet » en 2006	33
Figure 19 - Répartition des effectifs surveillés et des doses enregistrées pour la dosimétrie « bagues » en 2006	34
Figure 20 - Répartition des doses enregistrées pour la dosimétrie « bagues » en 2006 pour les activités médicales et vétérinaires	34

Figure 21 - Répartition des différents types d'examens mis en œuvre pour assurer la surveillance de l'exposition interne dans les 2 grands secteurs d'activité (2006)	39
Figure 22 - Répartition des analyses réalisées à AREVA et à EDF	45
Figure 23 - Répartition des analyses réalisées dans les établissements du CEA	47
Figure 24 - Mesures de radon dans la grotte de Lascaux	50
Figure 25 - Vue générale de l'appareil de radiologie dentaire de type« NewTom 3G » et mise en place des chambres d'ionisation utilisées pour la mesure du rayonnement	52
Figure 26 - Vue générale de l'appareil de radiothérapie intra-opératoire de type Mobetron	52

PRINCIPALES ABREVIATIONS

ASN : Autorité de Sûreté Nucléaire
ATPu : Atelier de Technologie du Plutonium
CEA : Commissariat à l'Energie Atomique
COFRAC : Comité Français d'Accréditation
DAM : Direction des Applications Militaires du CEA
DGT : Direction Générale du Travail
INES : International Nuclear Event Scale
IORT : Intra-Operative RadioTherapy
IPHC : Institut Pluridisciplinaire Hubert CURIE
IPN : Institut de Physique Nucléaire d'Orsay
IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
LABM : Laboratoire d'Analyses de Biologie Médicale
LAMR : Laboratoire d'Analyses Médicales Radiotoxicologiques de l'IRSN
LSDOS: Laboratoire de Surveillance Dosimétrique de l'IRSN
MDT : Médecin du Travail
MOX : oxyde mixte de plutonium et d'uranium
OSL : Optically Stimulated Luminescence
PCR : Personne Compétente en Radioprotection
RNIPP : Répertoire National d'Identité des Personnes Physiques
RPL : RadioPhotoLuminescent dosimeter
RTMI : RadioThérapie de Modulation d'Intensité
SISERI : Système d'Information de la Surveillance de l'Exposition aux Rayonnements Ionisants
SNVEL : Syndicat National des Vétérinaires d'Exercice Libéral
SPR : Service de Protection contre les Rayonnements
SPRA : Service de Protection Radiologique des Armées
TLD : ThermoLuminescent Dosimeter

1. INTRODUCTION

L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a été créé par la loi n° 2001-398 du 9 mai 2001 ; ses missions ont été précisées par le décret n°2002-254 du 22 février 2002. La création de l'IRSN est à rapprocher de celles des agences de sécurité sanitaire. Comme elles, l'Institut joue un rôle actif dans le domaine de l'évaluation des risques professionnels. Il a entre autres une mission d'information du public dans ses domaines de compétences : les risques nucléaires et radiologiques.

L'institut qui rassemble près de 1700 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 sources de rayonnements ionisants utilisées dans l'industrie, la recherche 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 nucléaires 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.

Des 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.

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

Au titre de sa mission de veille permanente en matière de radioprotection, l'IRSN assure une surveillance de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants. L'objet de ce document est de présenter le bilan des expositions professionnelles établi par l'IRSN pour l'année 2006, ainsi que les principales activités menées au sein de l'institut dans le domaine de la surveillance de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants.

2. MODALITES DE LA SURVEILLANCE DOSIMETRIQUE DES TRAVAILLEURS

2.1. OBJECTIFS DE LA SURVEILLANCE

La dosimétrie individuelle est l'un des maillons essentiels du dispositif de radioprotection des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants. Elle a pour objectif de fournir une estimation des doses reçues au niveau de l'organisme entier ou des tissus significativement exposés et de mettre en œuvre le principe d'optimisation selon lequel les expositions doivent être maintenues au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre. Elle permet de vérifier *in fine* le respect des limites de dose fixées par la réglementation.

La dosimétrie individuelle doit être adaptée au poste de travail en permettant l'évaluation « aussi correcte que raisonnablement possible » des doses reçues par la personne affectée à ce poste de travail, compte tenu des situations d'exposition et des contraintes existantes :

- 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).
- La dosimétrie interne vise à évaluer la dose reçue suite à une incorporation de substances radioactives. En milieu professionnel, la surveillance individuelle de l'exposition interne est assurée par des examens anthroporadiométriques (mesures directes de la contamination interne corporelle) et des analyses radiotoxicologiques (dosages réalisés sur des excréta).

2.2. AGREMENT DES ORGANISMES DE DOSIMETRIE

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* est assurée par les laboratoires de l'IRSN ou par des organismes agréés par le ministère du travail.

En application 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 de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants*, deux missions importantes dans le processus d'agrément des laboratoires de surveillance dosimétrique ont été confiées à l'IRSN :

- émettre un avis sur l'adéquation des matériels et des méthodes de dosimétrie de ces laboratoires pour la surveillance individuelle des travailleurs (§ 2.2.1);

- organiser des intercomparaisons entre ces laboratoires pour vérifier la qualité des mesures au cours du temps (§ 2.2.2 et § 2.2.3).

Les techniques de dosimétrie doivent par ailleurs être accréditées par le Comité Français d'Accréditation (COFRAC) ou par tout autre organisme équivalent.

Ce processus permet *in fine* à la Direction générale du travail (DGT)¹ 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 (§ 2.3).

2.2.1. Avis de l'IRSN sur l'adéquation des techniques de dosimétrie avec la surveillance individuelle des travailleurs

Au cours de l'année 2006, un organisme de dosimétrie externe a demandé l'avis de l'IRSN sur l'adéquation de ses matériels et méthodes avec la surveillance individuelle des travailleurs. Cet organisme ayant reçu un avis favorable de l'institut a été agréé par l'arrêté du 15 février 2007 *portant agrément d'organismes chargés d'effectuer la surveillance de l'exposition externe des travailleurs soumis aux rayonnements ionisants*. De la même façon, deux laboratoires d'analyses de biologie médicale (LABM) en charge de la surveillance de l'exposition interne des travailleurs ayant obtenu un avis favorable de l'IRSN ont été agréés par un second arrêté du 15 février 2007.

2.2.2. Intercomparaison de dosimétrie passive

Une intercomparaison consiste à irradier les dosimètres des laboratoires participants à des doses de référence, inconnues de ces derniers, et à en comparer les résultats obtenus aux valeurs attendues. L'IRSN avait organisé une première intercomparaison des techniques de dosimétrie passive en 2004. Il en a organisé une seconde, en mai et juin 2006, à laquelle neuf laboratoires ont participé. Les dosimètres ont ainsi été exposés à des rayonnements photoniques et neutroniques représentatifs des champs de rayonnements auxquels les travailleurs sont susceptibles d'être exposés.

Les tolérances considérées pour l'analyse des résultats sont issues de différentes normes internationales (ISO et CEI) : $\pm 45\%$ de la dose de référence pour les dosimètres photographiques de poitrine, $\pm 30\%$ pour les TLD² et OSL³ de poitrine et $\pm 50\%$ pour les dosimètres d'extrémités et tous les dosimètres neutrons.

A titre d'exemple, la figure 1 présente les résultats obtenus par 7 dosimètres « poitrine » TLD et OSL exposés en incidence normale à des rayonnements mixtes γ (césium-137) et β (strontium-90), à une dose proche de la limite minimale détectable imposée par la réglementation. Les résultats sont compris dans les limites de tolérance de la norme ($\pm 30\%$).

¹ Par arrêté du 21 décembre 2007 modifiant l'arrêté du 6 décembre 2003, c'est désormais l'Autorité de Sûreté Nucléaire qui a la compétence pour délivrer les agréments

² Dosimètre thermoluminescent

³ Dosimètre luminescent par stimulation optique

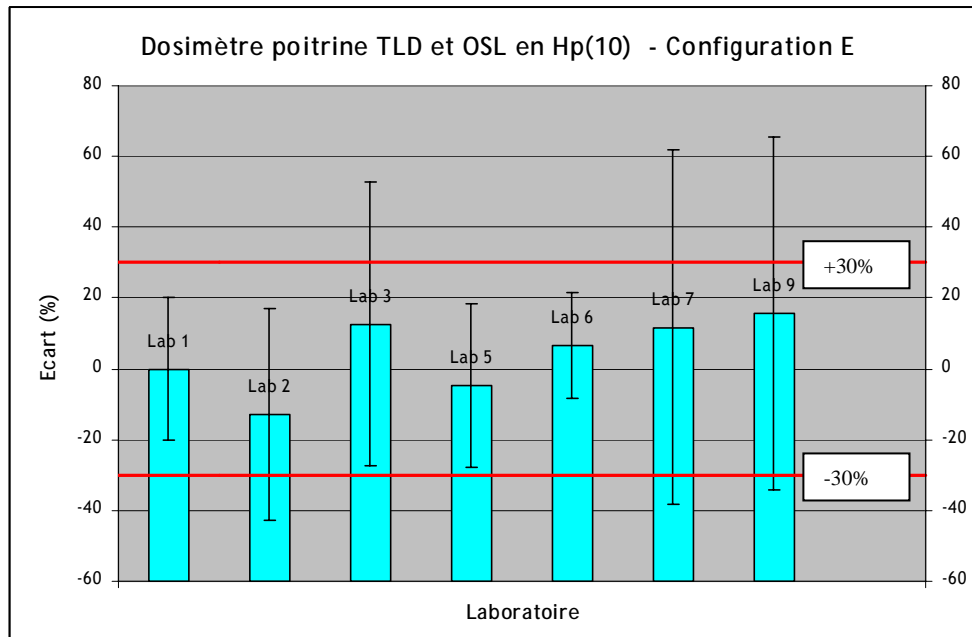


Figure 1 - Résultats obtenus lors de l'intercomparaison des laboratoires pour des dosimètres passifs « poitrine » irradiés en incidence normale à des rayonnements mixtes β, γ

La figure 2 présente les résultats obtenus pour les dosimètres TLD et OSL « poignet » exposés en incidence normale à des rayonnements X filtrés d'énergie moyenne de 57 keV à une dose de 14 mSv. Les résultats sont compris dans les limites de tolérance de la norme ($\pm 50\%$).

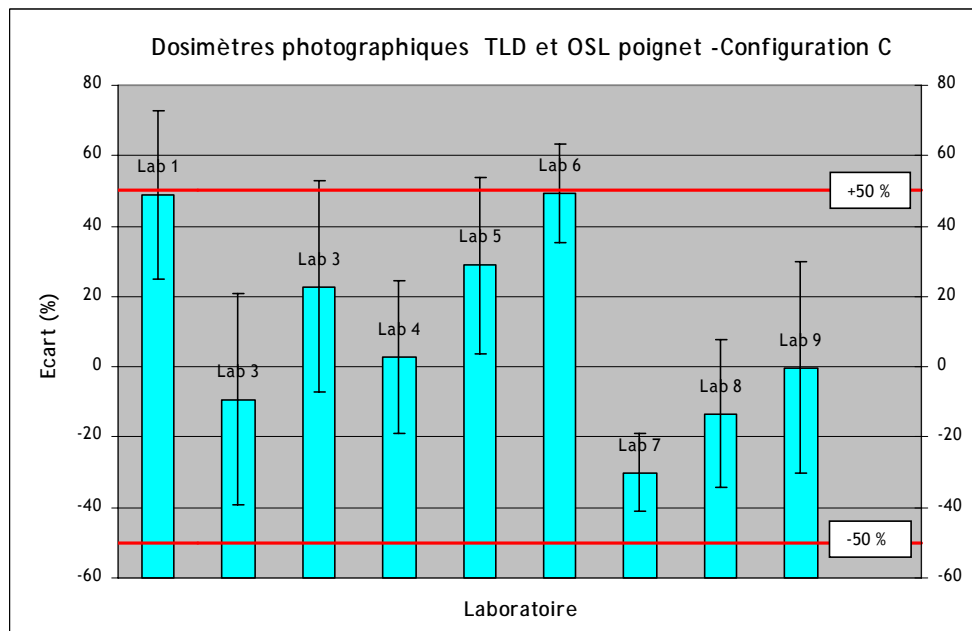


Figure 2 - Résultats obtenus lors de l'intercomparaison des laboratoires pour des dosimètres passifs « poignet » irradiés à des rayons X filtrés

Cette deuxième intercomparaison organisée par l'IRSN dans le nouveau contexte réglementaire a confirmé que la grande majorité des résultats dosimétriques fournis par les laboratoires étaient dans les tolérances fixées par les normes internationales existantes. Ces résultats ont constitué l'un des éléments sur lesquels s'est appuyé l'IRSN pour rendre son avis prévu dans le processus d'agrément (§ 2.2.1). Les résultats jugés en limite de tolérance ont par ailleurs conduit l'IRSN à recommander des actions correctives de la part des laboratoires concernés.

2.2.3. intercomparaison d'analyses radiotoxicologiques

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 2006, cette intercomparaison a concerné 11 laboratoires d'analyses de biologie médicale (LABM).

Les échantillons urinaires ont été préparés par l'IRSN et envoyés aux participants pour analyse. Les radionucléides mesurés dans le cadre de l'intercomparaison 2006 étaient les suivants : ^{32}P , ^{35}S , ^{45}Ca , ^{90}Sr , ^{125}I , ^{88}Y , ^{141}Ce et ^{40}K .

Les résultats des analyses pratiquées par les laboratoires participants sont présentés sous forme de tableaux et graphes situant la valeur obtenue par 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 radionucléides introduits dans chaque échantillon ;
- à la plage [-25% à +50%] par rapport à la valeur cible, tel que recommandé par la norme ISO 12790-1 ;
- aux valeurs des activités déterminées par les autres laboratoires participants.

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

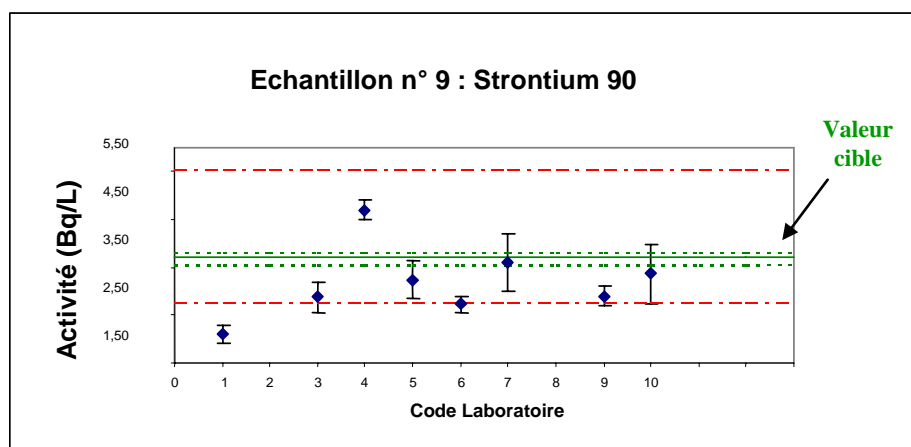


Figure 3 - Résultats obtenus lors de l'intercomparaison des laboratoires pour l'analyse radiotoxicologique de strontium-90 dans les urines

Les résultats des mesures réalisées par les participants se sont avérés globalement satisfaisants, puisque 93% d'entre eux étaient dans les bornes de tolérance définies par la norme ISO 12790-1 (« critères de performance pour l'analyse radiotoxicologique »). Ces résultats ont constitué l'un des éléments sur lesquels s'est appuyé l'IRSN pour élaborer son avis prévu dans le processus d'agrément (§ 2.2.1). Les résultats de cette intercomparaison permettent aux laboratoires de revoir en tant que de besoin leurs protocoles d'analyse.

2.3. SYSTEME SISERI

Le système SISERI⁴ 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 dans une base de données accessible *via* Internet (<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, lorsque les circonstances le permettent, les doses internes calculées par les médecins du travail.
- La dosimétrie du personnel navigant, dont les résultats sont transmis par les compagnies aériennes.

Le déploiement opérationnel du système s'est poursuivi en 2006 de manière progressive et sans dysfonctionnement majeur tout au long de l'année. Néanmoins, un certain nombre de difficultés rencontrées ont pénalisé son fonctionnement nominal.

2.3.1. La transmission des données à SISERI en 2006

Les résultats individuels de la dosimétrie externe passive transmis mensuellement à SISERI par les laboratoires agréés ont représenté 2,3 millions de données en 2006. Les données sont rapidement intégrées dans la base dès lors qu'elles respectent les formats définis. Cependant, des difficultés d'intégration ont été rencontrées lorsque les données transmises ne permettent pas une identification fiable des travailleurs : numéro de RNIPP⁵ mal renseigné, mauvaise identification de

⁴ Système d'information de la surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants

⁵ Répertoire national d'identité des personnes physiques

l'établissement d'appartenance de l'individu... Ces difficultés, qui n'avaient pas été jugées critiques au cours de la période de test du système, se sont multipliées lors de la mise en exploitation de SISERI en vraie grandeur ; en 2006, près de 50 % des données envoyées par les laboratoires ont été rejetées au moment de l'intégration. Ceci a nécessité un traitement par des opérateurs, en attendant que des algorithmes permettent de traiter en masse les données mises en reliquat d'intégration.

Fin 2006, l'ensemble des données de dosimétrie externe passive de l'année, en reliquat d'intégration, atteignait encore plus de 30%. L'amélioration de l'intégration de ces données passe obligatoirement par un effort des laboratoires pour fournir des données d'identification des individus et des établissements auxquels ils appartiennent qui soient conformes à ce qui est décrit dans le protocole défini par l'IRSN.

Les résultats de la dosimétrie externe opérationnelle des travailleurs sont transmis par les personnes compétentes en radioprotection (PCR) des établissements qui doivent mettre en œuvre ce type de surveillance dosimétrique. Fin 2006, le nombre d'établissements ayant signé un protocole avec SISERI pour donner accès à leur(s) PCR et/ou médecin(s) du travail (MDT) s'élevait à 1290. Sur l'ensemble de l'année 2006, 350 établissements ont effectivement transmis au moins une donnée de dosimétrie opérationnelle. Plus de la moitié de ces établissements appartiennent au secteur médical, presque un quart au secteur industriel et 8% à celui de l'industrie nucléaire (figure 4).

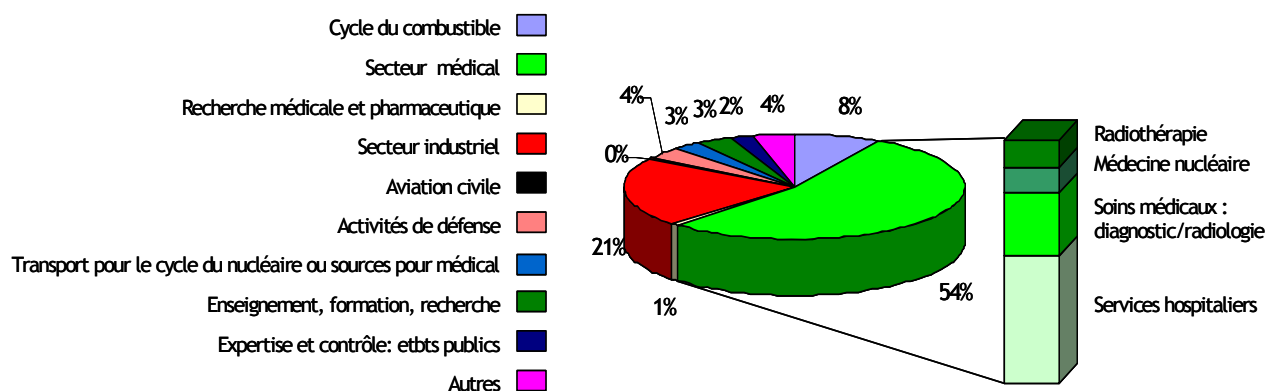


Figure 4 - Répartition par secteurs d'activité des établissements ayant transmis des données de dosimétrie opérationnelle en 2006

Le nombre de fichiers reçus mensuellement n'a cessé de croître tout au long de l'année, passant de 600 fichiers en janvier 2006 aux environs de 1000 fichiers en fin d'année. Au total 5,5 millions de valeurs de dose « opérationnelle » ont été enregistrées dans SISERI en 2006. La moitié provient des entreprises de l'industrie nucléaire, 17 % proviennent du secteur médical et 10 % du secteur industriel. L'intégration des données de dosimétrie opérationnelle nécessite, elle-aussi, l'intervention d'un opérateur de l'IRSN dans un certain nombre de cas, sans toutefois que la consultation des données depuis l'extérieur n'en soit affectée.

Enfin, la transmission des données de dosimétrie interne n'a pas démarré en 2006.

2.3.2. La consultation des données de SISERI

Les PCR et MDT travaillant pour les établissements qui en ont fait la demande et ont signé le protocole d'accès à SISERI peuvent consulter en ligne les données dosimétriques des individus dont ils ont la charge.

La progression du nombre de PCR et de MDT ayant une clé d'accès au système est constante depuis le 15 février 2005 (figure 5).

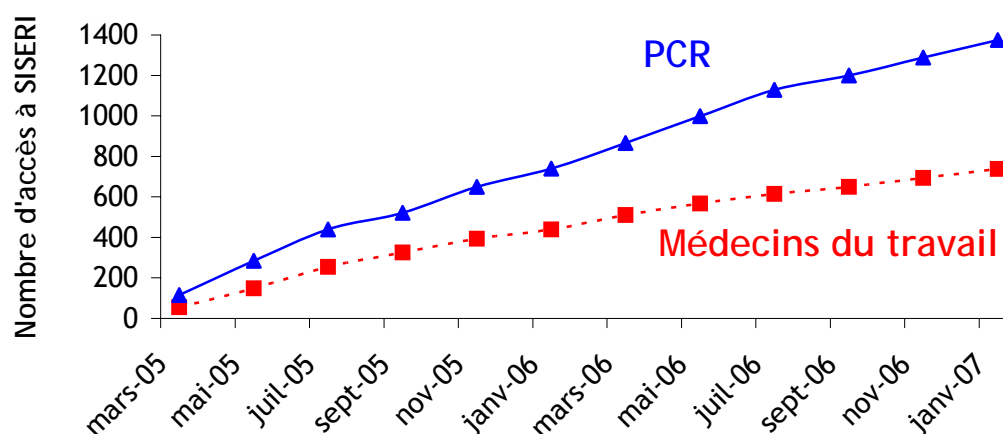


Figure 5 - Progression du nombre de personnes compétentes en radioprotection (PCR) et de médecins du travail ayant accès à SISERI depuis sa mise en service

A la fin de l'année 2006, 740 MDT et 1375 PCR avaient accès à SISERI. La répartition des PCR pouvant accéder à SISERI au 31 décembre 2006 se répartit pour un tiers dans le secteur médical et respectivement un quart et 16% pour le secteur industriel et l'industrie nucléaire (figure 6).

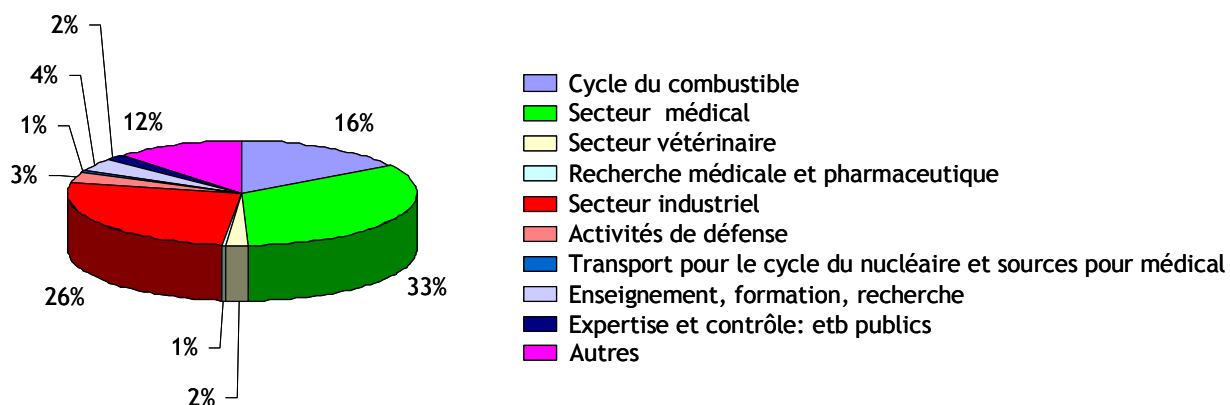


Figure 6 - Répartition par secteurs d'activité des personnes compétentes en radioprotection (PCR) ayant accès à SISERI en 2006

Au cours de l'année 2006, ce sont surtout les nombres de PCR des secteurs médical et vétérinaire, ainsi que des activités de défense et de recherche qui ont particulièrement augmenté.

L'année 2006 a donc vu la montée en charge de SISERI et a permis d'identifier des difficultés. Les points bloquants ont été pris en charge. Des solutions ont été proposées et mises progressivement en œuvre. Cependant, une amélioration significative du fonctionnement passe non seulement par les solutions techniques mises en œuvre par l'IRSN mais aussi des efforts de la part de tous les acteurs impliqués dans la chaîne de surveillance, depuis les responsables des établissements où travaillent les individus jusqu'aux laboratoires de surveillance dosimétrique, sans oublier les autorités chargées de faire respecter les exigences réglementaires.

3. BILAN DE LA SURVEILLANCE DES EXPOSITIONS EXTERNES EN 2006

Le bilan de l'exposition externe des travailleurs de l'année 2006, présenté ci-après, a été établi par l'IRSN comme les années précédentes ([1], [2], [3], [4], [5]) 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 :

- IRSN (LSDOS⁶, laboratoires du Vésinet et de Fontenay-aux-Roses)
- LCIE-LANDAUER (Fontenay-aux-Roses)
- DOSILAB⁷ (Lognes)
- IPHC⁸ (CNRS Strasbourg)
- IPN⁹ (CNRS Orsay)
- AREVA NC (laboratoires de La Hague et de Marcoule)
- SPRA¹⁰ (Service de Santé des Armées, Clamart).

3.1. METHODOLOGIE ET HYPOTHESES RETENUES

Le bilan des expositions professionnelles pour l'année 2006 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. Tout porteur d'au moins un dosimètre entre le 1er janvier et le 31 décembre 2006 est considéré dans l'effectif surveillé par chaque laboratoire.

Pour la première fois, le bilan de 2006 présente des données fournies par le Service de Protection Radiologique des Armées (SPRA). Ces données concernent la surveillance dosimétrique du personnel des Hôpitaux d'Instruction des Armées, ce qui ne couvre pas l'ensemble des personnels surveillés par le SPRA. C'est pourquoi elles sont traitées séparément dans ce bilan (§ 3.7).

⁶ Laboratoire de Surveillance DOSimétrique

⁷ ex COMET France

⁸ Institut Pluridisciplinaire Hubert CURIE, ex Institut de Recherches Subatomiques (IReS)

⁹ Institut de Physique Nucléaire d'Orsay

¹⁰ Service de Protection Radiologique des Armées

Comme les années précédentes, certaines hypothèses ont été retenues pour analyser les données 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 des doses des travailleurs exposés dans ce secteur est attribuable à des travaux de sous-traitance effectués par les travailleurs de ces entreprises dans les installations nucléaires de base (INB) pour le compte des exploitants.

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

- Seuil d'enregistrement¹¹ 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).

Enfin, il faut signaler l'abaissement du seuil d'enregistrement des doses à 0,10 mSv¹² en cours d'année 2006.

3.2. RESULTATS GENERAUX

Le tableau 1 présente l'ensemble des données de la surveillance de l'exposition externe assurée par les organismes agréés en 2006 (hors SPRA), regroupées par secteurs d'activité ou par établissements.

¹¹ 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 en 2006 de 0,05 à 0,2 mSv selon les dispositifs.

¹² Arrêté du 30 décembre 2004 relatif à la carte individuelle de suivi médical et aux informations individuelles de dosimétrie des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants.

Les doses par secteur d'activité sont exprimées en termes de dose collective¹³.

Le nombre de travailleurs surveillés, tous secteurs d'activité confondus, qui avait connu une forte augmentation en 2005 (+ 7,3% par rapport à l'année 2004) a encore légèrement progressé en 2006 (+ 1,5%).

Tableau 1 - Bilan des expositions professionnelles - 2006

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	101 008	93 913	5 891	1 056	115	18	13	2	7,26
2	Radiothérapie	6 978	6 200	589	173	14	1	1	0	0,80
3	Médecine nucléaire	3 808	2 761	590	439	18	0	0	0	1,46
4	Sources non scellées in vitro	2 055	2 005	45	5	0	0	0	0	0,02
5	Médecine dentaire	26 973	26 157	728	84	3	0	0	1	1,03
6	Médecine Travail	10 527	9 740	617	157	11	1	1	0	0,85
7	Médecine vétérinaire	13 945	13 385	497	59	4	0	0	0	0,34
8	Industrie non nucléaire	33 165	26 464	3 082	2 770	819	22	6	2	17,52
9	Recherche	8 437	7 935	469	33	0	0	0	0	0,21
10	Divers	9 751	9 139	509	92	11	0	0	0	0,47
11	EDF (agents)	19 339	14 010	3 535	1 763	29	2	0	0	5,86
12	AREVA NC La Hague*	3 892	3 491	302	88	11	0	0	0	0,42
13	AREVA NC Marcoule**	3 144	2 922	185	37	0	0	0	0	0,14
14	MELOX (AREVA NC)	715	288	106	220	101	0	0	0	1,51
15	CEA	6 469	5 851	479	139	0	0	0	0	0,39
16	IPN Orsay	2 804	2 661	122	21	0	0	0	0	0,08
17	« Entreprises extérieures » *** (suivi IRSN)	10 801	9 168	838	658	134	3	0	0	3,23
18	« Entreprises extérieures » *** (suivi LCIE)	8 158	4 871	1 253	1 559	471	4	0	0	9,23
19	IPHC (Strasbourg)	791	783	7	1	0	0	0	0	0,01
20	Défense (DCN)	573	461	97	15	0	0	0	0	0,05
21	Administrations	2 222	1 643	525	53	1	0	0	0	0,29
22	Divers industrie nucléaire (STMI, ANDRA, ...)	2 281	1401	642	226	12	0	0	0	0,88
23	Entreprises de transport	314	274	35	5	0	0	0	0	0,02
	Total	278 150	245 523	21 143	9 653	1 754	51	21	5	52,07
	Rappel des résultats de 2005	273 886	238 793	20 434	12 048	2 489	82	33	7	64,79

* Le laboratoire d'AREVA NC La Hague a la charge de la surveillance dosimétrique des personnels de l'usine de retraitement des combustibles irradiés mais aussi d'unités extérieures (AREVA NC Cadarache, ...).

** Le laboratoire AREVA NC Marcoule a la charge de la surveillance des travailleurs des établissements « Ex-Cogema » situés à Marcoule, Pierrelatte, et Miramas et de FBFC (effectif constitué majoritairement d'agents AREVA, mais aussi CEA, IRSN, etc.). Il assure également le suivi de l'établissement Melox distingué dans le bilan.

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

¹³ 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 (h.mSv).

Comme les années précédentes, le secteur d'activité qui emploie le plus grand nombre de travailleurs surveillés est celui de la radiologie médicale¹⁴ avec 101 008 travailleurs, soit 36,3 % de l'effectif total. Le secteur de la médecine vétérinaire est celui qui enregistre la plus forte croissance en 2006, avec près de 30% de personnels supplémentaires surveillés par rapport à 2005. Inversement, le secteur incluant la médecine nucléaire et l'utilisation des sources non scellées *in vitro* à des fins médicales présente une diminution sensible (- 11,1%).

En 2006, seulement 4,1% des travailleurs surveillés, tous secteurs confondus, ont reçu des doses individuelles supérieures à 1 mSv, valeur limite fixée par la réglementation pour le public. A noter également que seuls 11,9% 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, 1,2 % des travailleurs surveillés en radiologie médicale ont dépassé 1 mSv tandis que 44,9 % des salariés de l'établissement AREVA NC Melox (fabrication de combustible nucléaire) ont dépassé cette valeur. Inversement, 15 travailleurs en radiologie médicale ont reçu une dose annuelle supérieure à la limite réglementaire, alors qu'il n'est pas observé de cas de dépassement dans l'industrie nucléaire.

Les données essentielles du bilan global de la surveillance dosimétrique de l'exposition externe en 2006 sont rassemblées dans l'encadré ci-après.

Il est rappelé que les données du SPRA ne sont pas intégrées à ce bilan (§ 3.1) mais présentées séparément (§ 3.7).

Bilan de la surveillance dosimétrique de l'exposition externe en 2006

- *Effectif total surveillé : 278 150 travailleurs*
- *Dose collective de l'effectif total surveillé : 52,07 homme.Sv*
- *Dose individuelle annuelle moyenne sur l'ensemble des travailleurs surveillés : 0,19 mSv*
- *Dose individuelle annuelle moyenne sur les travailleurs surveillés ayant enregistré une dose non nulle : 1,6 mSv*
- *Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 1 mSv : 11 484 travailleurs (soit 4,1 % de l'effectif total surveillé)*
- *Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 20 mSv : 26 travailleurs (ces dépassements peuvent être ponctuels ou résulter d'une accumulation de doses)*
- *Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 50 mSv : 5 travailleurs*

¹⁴ La radiologie médicale regroupe les techniques de radiologie conventionnelle, de mammographie, de scanographie et de radiologie interventionnelle.

3.3. DEPASSEMENTS DE LA LIMITE ANNUELLE REGLEMENTAIRE

La limite réglementaire pour la dose efficace reçue au cours de douze mois consécutifs est de 20 mSv depuis le 31 mars 2005. Il est souligné que les dépassements pris en compte ici concernent uniquement les doses cumulées (en exposition externe) sur l'année 2006.

L'IRSN exerce un suivi au plus près de chaque dépassement de la limite réglementaire, en concertation avec le médecin du travail à qui il est réglementairement demandé de mener une enquête pour confirmer ou non le résultat.

En 2006, 68 dépassements ont été signalés à l'IRSN par les laboratoires de dosimétrie passive. Dans la grande majorité des cas (42), la dose a été annulée après enquête à la demande du médecin du travail : il s'agit de dosimètres ayant été exposés (volontairement ou accidentellement) alors qu'ils n'étaient pas portés. *In fine*, seuls 26 cas de dépassements des 20 mSv sont finalement retenus, ce qui marque une baisse significative par rapport à l'année précédente (40 cas en 2005).

Les 26 cas retenus se répartissent en 13 cas pour lesquels le dépassement est le résultat du cumul des doses enregistrées sur plusieurs périodes de port du dosimètre et 13 cas où une dose supérieure à 20 mSv a été enregistrée sur une seule période de port. Pour ces derniers cas, l'absence de réponse formelle du médecin du travail à l'IRSN n'a pas permis de confirmer ou d'infirmer la réalité de l'exposition ; la dose est alors maintenue.

La répartition des 26 cas de dépassement de l'année 2006 entre les secteurs d'activité concernés est présentée à la figure 7. La majorité des cas de dépassement des 20 mSv chez des travailleurs classés dans l'industrie non nucléaire concerne des activités de contrôle non destructif et d'assistance technique en arrêt industriel pour maintenance ou encore des activités de transport de matières radioactives. Dans le domaine des activités médicales et vétérinaires, 15 des 18 cas concernent la radiologie.

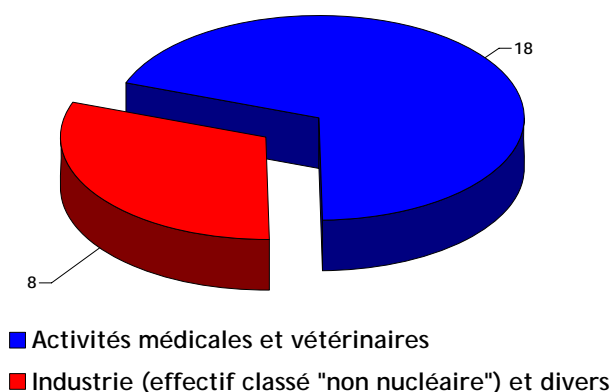


Figure 7 - Répartition des cas de dépassement de la limite annuelle réglementaire en 2006

3.4. ANALYSES PAR DOMAINES D'ACTIVITE

Les données figurant au tableau 1 ont été regroupées par domaines d'activité professionnelle dans le tableau 2, afin de donner une vision plus synthétique des effectifs concernés, des doses collectives et des domaines les plus exposés.

Quatre grands domaines sont considérés, 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 représente moins de 22 % de la dose collective totale mais comprend les travailleurs les plus exposés (18 personnes dont la dose individuelle est supérieure à 20 mSv en 2006).

Tableau 2 - Bilan synthétique des expositions professionnelles - 2006

Rubriques ^a	Secteur d'activité ou établissement	Travailleurs surveillés	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne ^b (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	165 294	11,76	0,07	18	163 118	1 973	185	15	3
8,10	Industrie (effectif classé "non nucléaire"), divers	42 916	17,99	0,42	8	39 194	2 862	852	6	2
9,15,16,19	Recherche, IPN, IPHC, CEA	18 501	0,69	0,04	0	18 307	194	0	0	0
11,12,13,14,17 18,20,21,22,23	Industrie nucléaire	51 439	21,63	0,42	0	46 047	4 624	768	0	0
	Total	278 150	52,07	0,19	26	266 666	9 653	1 805	21	5

^a Cf. rubriques du tableau 1

^b Dose individuelle moyenne = dose collective / nombre de travailleurs surveillés

L'industrie nucléaire représente le cinquième des effectifs totaux mais plus de 40 % 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 près de 18 h.Sv en 2006.

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 (0,4 mSv par an).

La figure 8 (issue du tableau 2) illustre les inégalités importantes dans la distribution des doses pour ces 4 grands domaines d'activité.

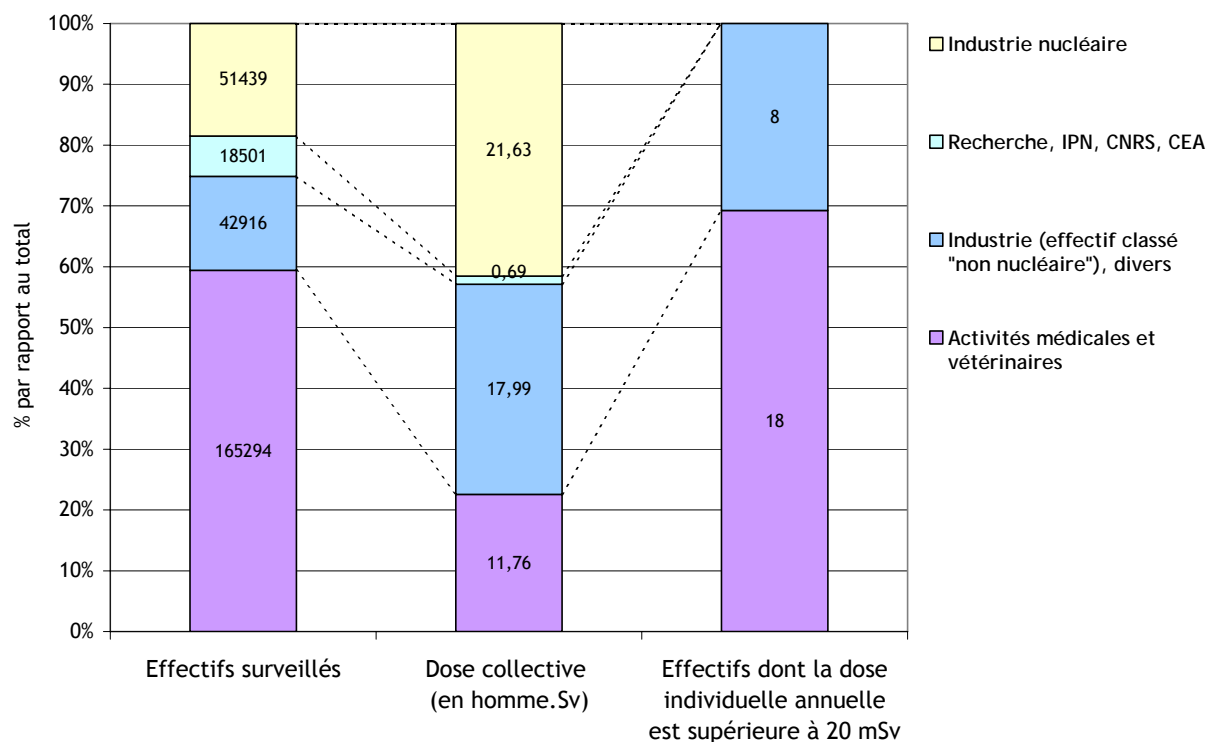


Figure 8 - Bilan synthétique des expositions externes professionnelles en 2006 par domaines d'activité (effectifs surveillés, doses collectives et effectifs dont la dose individuelle annuelle est supérieure à 20 mSv)

3.4.1. Activités médicales et vétérinaires

L'exposition professionnelle résulte essentiellement (pour plus de 62 %) 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 (cf. § 4) - des professionnels de santé lors des différentes étapes de leur administration aux patients.

Parmi toutes les pratiques médicales, c'est la radiologie interventionnelle qui présente le risque d'exposition le plus élevé pour les travailleurs.

La figure 9 donne la répartition des effectifs surveillés et des doses collectives pour les différents secteurs d'activité du domaine médical et vétérinaire.

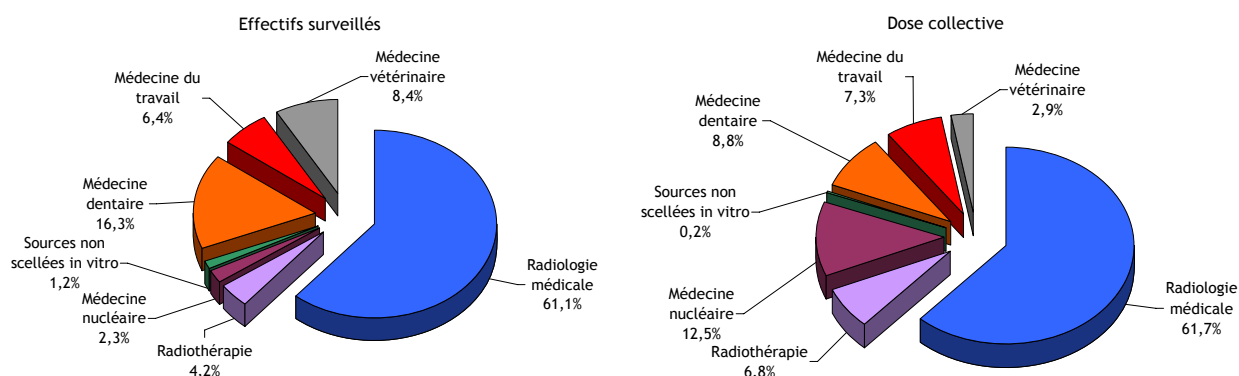


Figure 9 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives dans le domaine médical et vétérinaire en 2006

Quinze travailleurs en radiologie présentent une dose annuelle dépassant 20 mSv en 2006. Il est par ailleurs enregistré un cas en médecine dentaire, un en radiothérapie et un autre en médecine du travail.

Ces chiffres doivent cependant être considérés avec prudence. 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).

3.4.2. Activités de recherche

Les quatre secteurs d'activité « Recherche » (laboratoires universitaires, INSERM, INRA, ...), « CEA », « IPN d'Orsay » et « IPHC de Strasbourg » sont regroupés ici. 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 (CNRS,...).

Un effectif de 18 501 travailleurs a été surveillé dans le domaine de la recherche en 2006, totalisant une dose collective de 0,69 h.Sv. Les doses individuelles annuelles sont très faibles et aucun travailleur n'a reçu de dose supérieure à 6 mSv.

En 2006, l'effectif des agents du CEA surveillés par le laboratoire LSDOS de l'IRSN s'élève à 6 469 travailleurs. La dose collective correspondante est de 0,39 h.Sv, en baisse de presque un facteur

deux par rapport à 2005¹⁵. Sous cet intitulé « CEA » sont en fait regroupés les personnels des centres CEA civils de Cadarache, Saclay, Fontenay-aux-Roses et Grenoble, des centres CEA DAM¹⁶ d'Ile de France, du CESTA, de Valduc et du Ripault, mais aussi du CFCa¹⁷ jusqu'en 2005. En 2006, la surveillance dosimétrique du personnel du CFCa, qui concerne 164 travailleurs pour une dose collective de 0,28 mSv, a été transférée au laboratoire AREVA de la Hague. Cela explique la diminution des effectifs et de la dose collective du « CEA » entre 2005 et 2006.

L'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay (2 804 travailleurs surveillés) et l'Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien¹⁸ (791 travailleurs surveillés) assurent le suivi de la dosimétrie de leurs personnels respectifs. Leurs effectifs surveillés présentent des doses très faibles ; 21 travailleurs ont reçu des doses supérieures à 1 mSv à l'IPN et un seul à l'IPHC. Aucun individu surveillé n'a reçu de dose supérieure à 5 mSv.

3.4.3. Industrie nucléaire

L'industrie nucléaire dont le périmètre est défini d'après les libellés d'affectation fournis par les laboratoires de surveillance dosimétrique regroupe 51 439 travailleurs enregistrant une dose collective de 21,6 h.mSv. La figure 10 donne la répartition des effectifs surveillés et des doses collectives par secteurs d'activité.

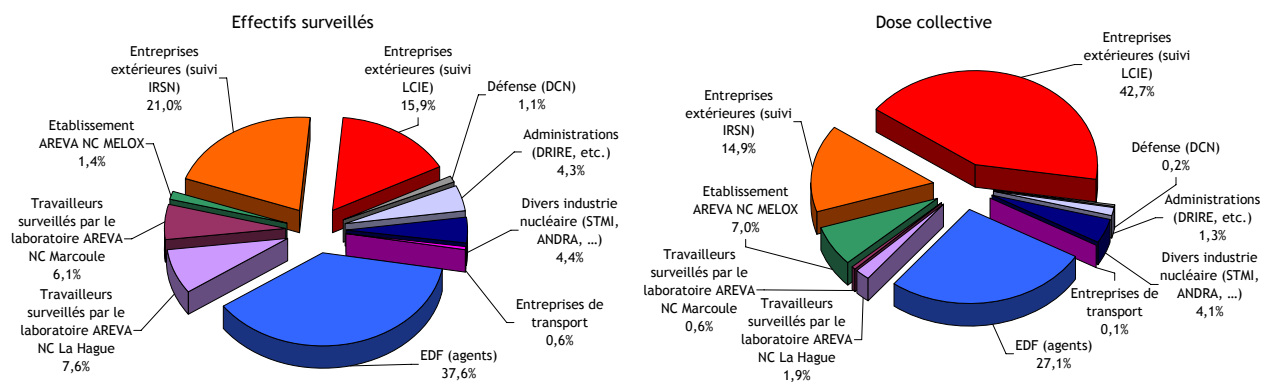


Figure 10 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives dans l'industrie nucléaire en 2006

¹⁵ Il faut également rappeler qu'en 2005, le laboratoire d'exploitation en charge de la surveillance du CEA a corrigé des erreurs sur la valeur de la dose collective relative à l'intitulé « CEA » (ce qui avait déjà conduit à une réduction de la dose collective d'environ un facteur 2 par rapport aux valeurs transmises dans les statistiques annuelles précédentes).

¹⁶ Direction des Applications Militaires

¹⁷ L'Atelier de technologie du plutonium (ATPu - production de combustible MOX) et le Laboratoire de purification chimique (LPC- contrôle de la qualité de la production) de Cadarache constituent le CFCa (Complexe de fabrication de combustibles au plutonium de Cadarache d'AREVA NC) dont l'activité serait plutôt à rattacher au cycle du combustible et qui est en cessation définitive d'exploitation.

¹⁸ Créé le 1er janvier 2006, l'Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien (IPHC) est une unité mixte de recherche (UMR 7178) du CNRS et de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg (ULP). Il regroupe trois laboratoires du campus de Strasbourg-Cronembourg dont l'Institut de Recherches Subatomiques (IReS), laboratoire de l'IN2P3 (Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules) dont les domaines de recherche sont la physique fondamentale de l'infiniment petit (noyau et particules), ainsi que des recherches connexes ou dérivées (chimie nucléaire, aval du cycle électronucléaire, mesures environnementales, recherche et développement en microélectronique).

Il faut cependant rappeler que certaines entreprises sont répertoriées dans le secteur de l'industrie classique pour l'affectation des résultats de la dosimétrie passive alors que les doses enregistrées par leur personnel sont attribuables en réalité à des travaux effectués dans les installations nucléaires de base (INB) pour le compte des exploitants [4]. Ainsi une activité relative à des contrôles non destructifs peut être rattachée au secteur de l'industrie classique pour l'affectation des résultats de la dosimétrie passive même si les doses ont été reçues en tout ou partie sur des INB. L'industrie nucléaire recouvre l'ensemble des étapes du cycle du combustible (principalement AREVA NC¹⁹, 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 3 009 travailleurs surveillés de l'établissement de La Hague, aucun n'a enregistré une dose annuelle supérieure à 5 mSv en 2006. La dose collective de ces travailleurs est faible (0,1 h.Sv). En 2006, le laboratoire d'AREVA NC La Hague effectue également la surveillance de nouvelles unités extérieures au site²⁰, totalisant 883 travailleurs dont la dose collective est de 0,32 mSv. C'est en particulier le cas du CFCa (AREVA NC Cadarache) qui ne représente que 4,2 % de l'ensemble des effectifs surveillés par le laboratoire d'AREVA NC La Hague mais qui contribue pour plus de 66 % à la dose collective de ceux-ci. Le CFCa regroupe également 11 travailleurs dont la dose est supérieure à 6 mSv (la dose individuelle maximale est de 9,75 mSv).

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 AREVA, mais aussi CEA²¹, IRSN, ...). Sur les 3 859 travailleurs surveillés, seuls des travailleurs de Melox enregistrent des doses annuelles supérieures à 6 mSv (en l'occurrence 101 travailleurs) ; aucune dose ne dépasse 15 mSv. La dose collective est égale à 1,65 h.Sv, l'établissement de Melox y contribuant à plus de 90 %. L'usine Melox fabrique des assemblages combustibles MOX destinés à alimenter les réacteurs à eau légère de différents pays. La dosimétrie associée à l'établissement évolue en fonction de la variation de sa capacité de production.

La dose collective à EDF pour l'ensemble du parc s'établit à 5,9 h.Sv pour 19 339 agents surveillés, en baisse par rapport à 2005. Deux agents ont enregistré une dose supérieure à 15 mSv en 2006. La dose individuelle maximale est de 16,5 mSv.

Il faut noter que sur les réacteurs de puissance, les doses sont majoritairement enregistrées par les entreprises prestataires lors des arrêts de tranches [4].

Les entreprises extérieures intervenant pour le compte des exploitants nucléaires telles qu'identifiées par les laboratoires de LCIE-LANDAUER et de l'IRSN totalisent 18 959 travailleurs

¹⁹ A partir du 1er mars 2006, COGEMA adopte le nom commercial AREVA NC.

²⁰ A noter que 35 travailleurs de l'établissement Rokkasho au Japon sont intégrés dans les unités extérieures.

²¹ La surveillance des personnels des centres CEA Valrhô de Marcoule et de Pierrelatte est assurée par le laboratoire AREVA NC de Marcoule. Placé sous la responsabilité de la société COGEMA à partir de 1976, le site de Marcoule a, de nouveau depuis le 17 mars 2006, le CEA comme responsable et exploitant nucléaire. Dans ce cadre, le CEA a recruté plus de 250 salariés d'AREVA NC chargés de la protection du site, de la sûreté, de la radioprotection et du contrôle environnemental.

surveillés avec une dose collective de 12,46 h.Sv. La dose individuelle annuelle maximale est de 18,8 mSv.

L'industrie nucléaire comprend également les activités de transport (essentiellement le transport de matières dangereuses de classe 7, matières radioactives), la propulsion navale, les administrations et les entreprises de contrôle techniques, ainsi que des entreprises d'assainissement (STMI²², ...), de production d'assemblages de combustibles (FBFC Romans²³), de gestion des déchets (ANDRA²⁴), ... Ces différentes activités ont été distinguées de rubriques plus générales (« entreprises extérieures », « divers », « autres ») par le laboratoire de l'IRSN en charge de leur surveillance dosimétrique à partir de 2005. En 2006, elles rassemblent 5 390 travailleurs surveillés pour une dose collective de 1,24 h.Sv.

3.4.4. 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.

42 916 travailleurs ont été surveillés dans ce domaine en 2006, totalisant une dose collective de près de 18 h.Sv. Pour huit travailleurs, la dose individuelle annuelle est supérieure à 20 mSv et parmi ceux-ci, deux 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 reçue par des travailleurs d'entreprises classées dans ce secteur mais qui interviennent aussi en sous-traitance des exploitants CEA, AREVA et EDF.

3.5. EVOLUTIONS PAR RAPPORT AUX ANNEES PRECEDENTES (PERIODE 1996 - 2006)

Les résultats du bilan de l'année 2006 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], [12], [13]).

3.5.1. Evolution des effectifs surveillés par grands domaines d'activité de 1996 à 2006

La figure 11 rend compte de l'évolution des effectifs dans les différents domaines d'activité.

²² Société des Techniques en Milieu Ionisant, filiale du groupe AREVA.

²³ Franco-Belge de Fabrication du Combustible, filiale d'AREVA NP

²⁴ Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs

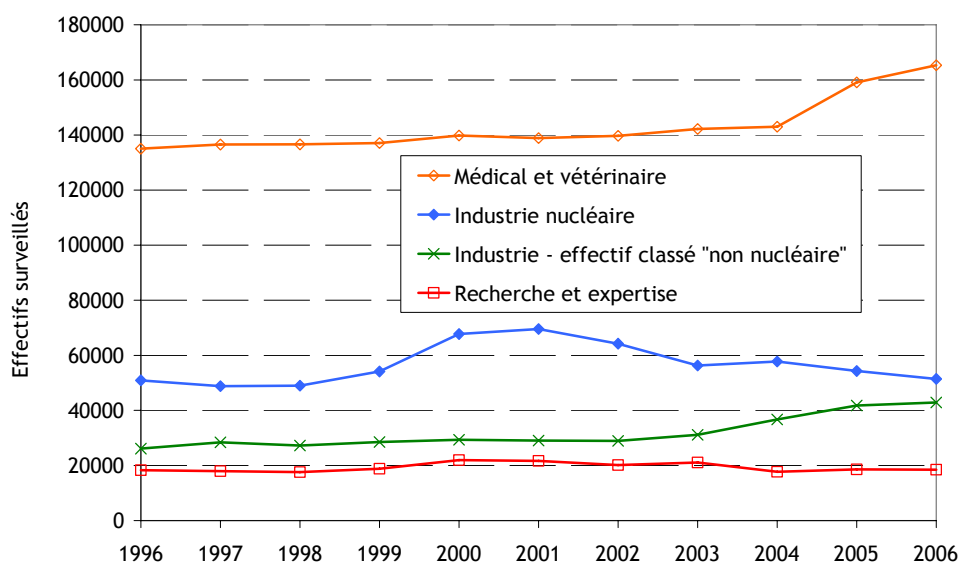


Figure 11 - Evolution des effectifs surveillés, par domaines d'activité, de 1996 à 2006

Entre 1996 et 2006, l'effectif total surveillé est passé de 230 385 à 278 150. Cette évolution reflète davantage une meilleure surveillance des travailleurs professionnellement exposés qu'une croissance des activités mettant en œuvre des sources de rayonnements ionisants.

Ainsi par exemple, la hausse régulière du nombre de personnes surveillées au cours des dernières années dans le secteur vétérinaire ou en médecine dentaire 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.

Il faut aussi considérer que l'intégration des données du laboratoire DOSILAB (ex COMET France) dans le bilan de l'année 2005 (plus de 5 000 travailleurs surveillés en supplément) contribue à l'augmentation des effectifs surveillés dans les secteurs médicaux et vétérinaires.

La figure 11 montre que le nombre de personnes surveillées dans l'industrie nucléaire a augmenté jusqu'en 2001 et qu'il est depuis en diminution ; cette diminution est notamment sensible pour les « entreprises extérieures ». Les modifications du dispositif réglementaire²⁵, entre autres, ont pu contribuer à l'augmentation des effectifs surveillés dans l'industrie nucléaire de 1998 à 2001. Il est plus difficile d'expliquer la diminution des effectifs observée à partir de 2001. Cela pourrait résulter en partie du transfert de la surveillance dosimétrique d'un laboratoire à un autre (en effet, une modification du suivi peut s'accompagner d'un changement d'affectation professionnelle pour l'enregistrement des données). On remarque d'ailleurs une croissance régulière des effectifs surveillés dans l'industrie non nucléaire depuis 2002.

²⁵ En particulier la parution de l'arrêté du 23 mars 1999 précisant les règles de la dosimétrie externe des travailleurs affectés à des travaux sous rayonnements en application des articles 20 bis et 25-I du décret du 28 avril 1975 modifié et des articles 31 bis et 34-I du décret du 2 octobre 1986 modifié (textes aujourd'hui abrogés).

3.5.2. Evolution des doses collectives de 1996 à 2006

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 - 2006.

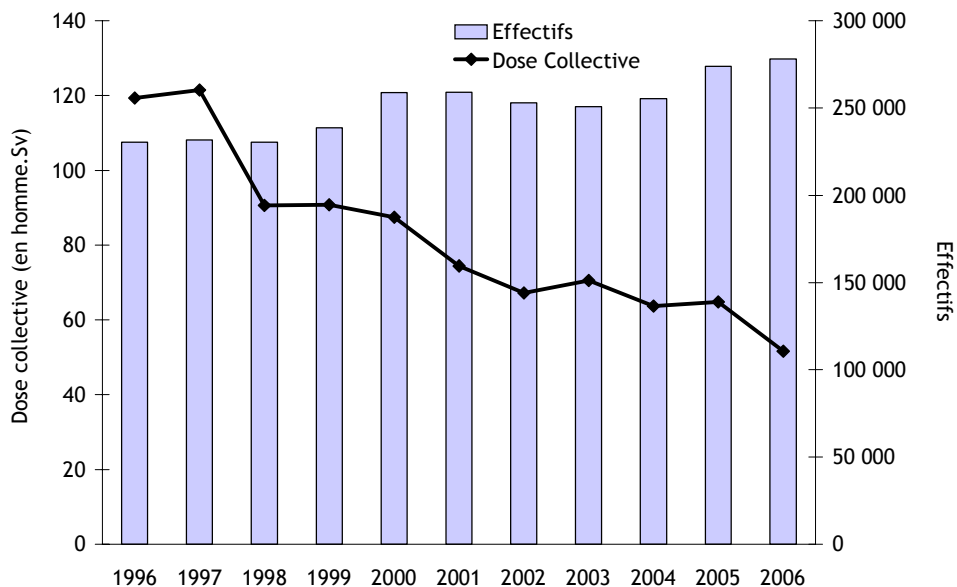


Figure 12 - Evolution des effectifs surveillés et des doses collectives, de 1996 à 2006

La dose collective baisse régulièrement malgré quelques fluctuations en 2003 et 2005. Cette baisse se réalise alors même que le nombre de travailleurs surveillés a plutôt tendance à augmenter, ce qui signifie que la dose individuelle moyenne diminue dans le même temps.

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

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.

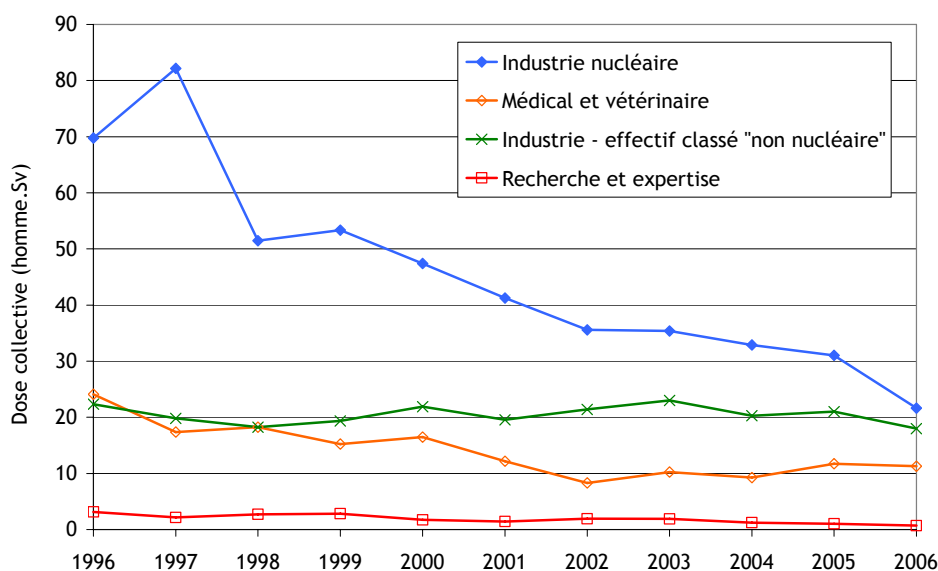


Figure 13 - Evolution des doses collectives, par domaines d'activité, de 1996 à 2006

3.5.3. Evolution du nombre de travailleurs ayant reçu une dose externe annuelle supérieure à 20 mSv, de 1996 à 2006

La figure 14 présente l'évolution du nombre de travailleurs surveillés dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv, de 1996 à 2006.

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 puis a connu une certaine stabilité, aux fluctuations statistiques près, jusqu'en 2003. Le nombre de cas est de nouveau en baisse significative depuis l'année 2003, ceci en partie grâce au suivi exercé par l'IRSN.

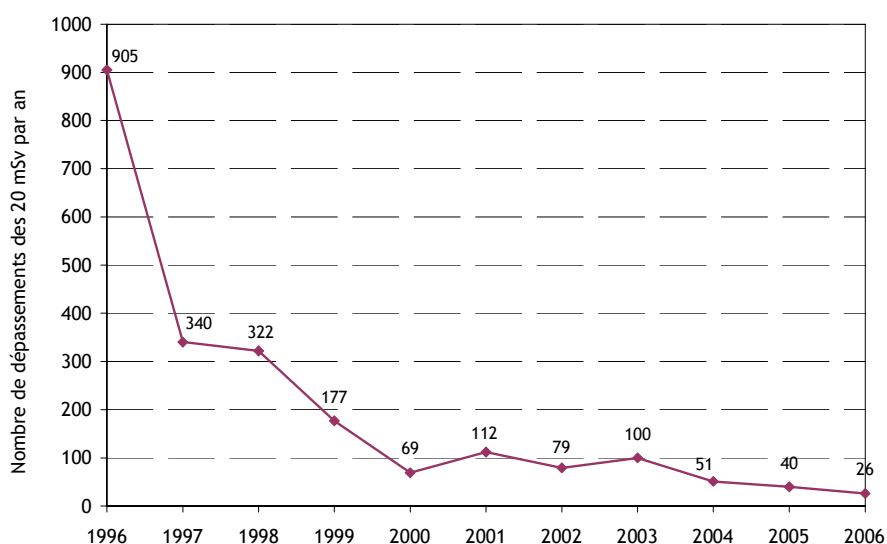


Figure 14 - Evolution du nombre de travailleurs surveillés dont la dose annuelle est supérieure à 20 mSv, de 1996 à 2006

Au cours de ces 11 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 exploitants nucléaires (calorifugeurs, tourneurs, mécaniciens, soudeurs, ...).

Le nombre de cas de dépassement des 20 mSv a fortement diminué dans l'industrie nucléaire²⁶ (487 en 1996, aucun en 2006) mais aussi dans l'industrie non nucléaire (222 en 1996, 8 en 2006).

Une baisse régulière est également observée dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (193 en 1996, 18 en 2006) ; ce domaine est depuis 1997 celui qui concentre les effectifs les plus fortement exposés (figure 15).

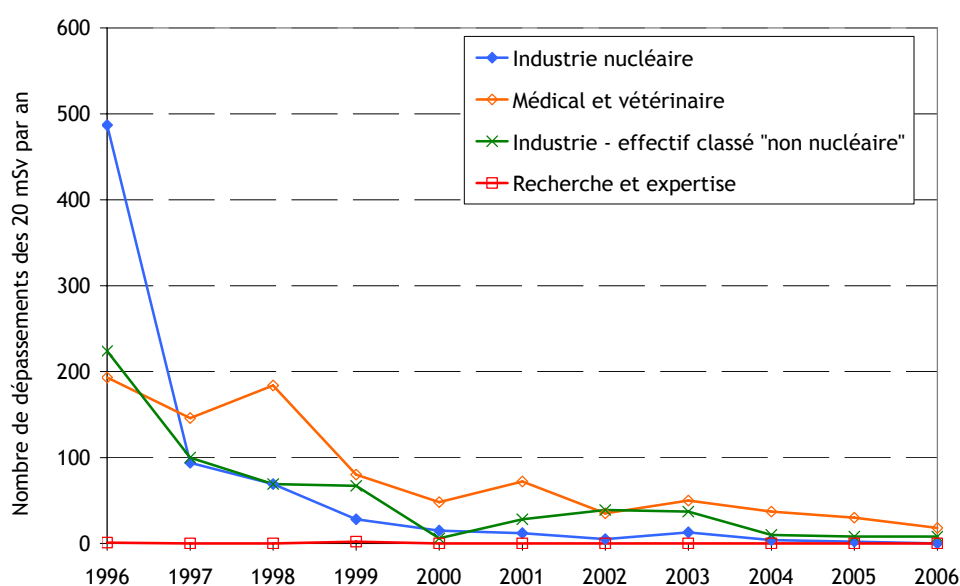


Figure 15 - Evolution du nombre de travailleurs surveillés dont la dose annuelle est supérieure à 20 mSv, de 1996 à 2006, par domaines d'activité

3.5.4. Evolution du nombre de travailleurs ayant reçu une dose externe annuelle supérieure à 50 mSv de 1996 à 2006

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 1996-2006.

En 2006, cinq travailleurs surveillés ont enregistré une dose par exposition externe supérieure à 50 mSv. Ils étaient 63 en 1996.

²⁶ Industrie nucléaire : centrales nucléaires - agents EDF, cycle du combustible - agents AREVA, MELOX, et entreprises extérieures.

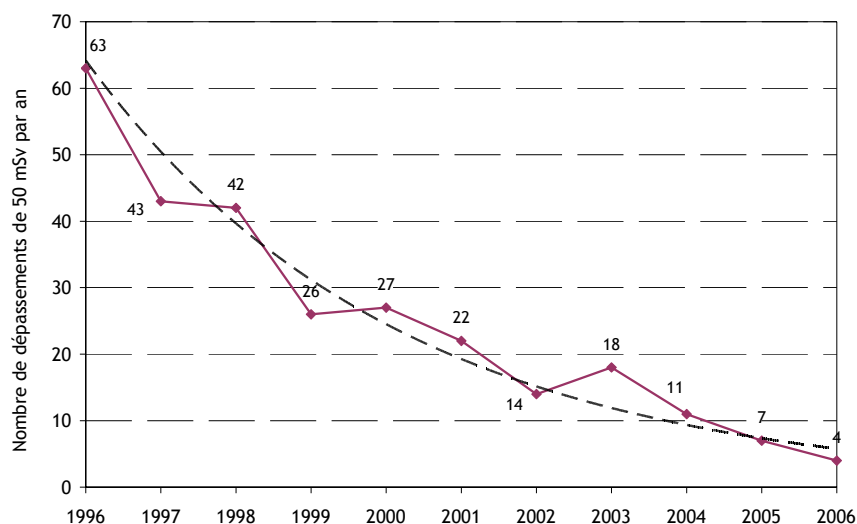


Figure 16 - Nombre de travailleurs ayant reçu une dose externe annuelle supérieure à 50 mSv, de 1996 à 2006

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, 2 en 2006) et dans l'industrie non nucléaire (15 en 1996, 2 en 2006).

3.6. DOSIMETRIES COMPLEMENTAIRES

3.6.1. Dosimétrie des neutrons (corps entier)

La mise en œuvre d'une surveillance de l'exposition des travailleurs aux neutrons peut être nécessaire à certains postes de l'amont à l'aval du cycle électronucléaire, mais aussi auprès d'accélérateurs de particules de haute énergie.

En 2006, la dosimétrie des neutrons (figure 17) a concerné 25 861 travailleurs (pour 24 475 travailleurs en 2005), soit moins de 10% de l'effectif total surveillé en France. La dose collective « neutrons » est de 1,16 h.Sv (pour 1,22 h.Sv en 2005), les activités réalisées dans l'établissement de Melox contribuant pour 64 % à cette dose.

La dose collective « neutrons » représente seulement 2,2 % de la dose collective totale (toutes composantes de rayonnements).

Il n'y a pas de dépassement de limites réglementaires par les doses « neutrons » (corps entier ou extrémités) et la dose individuelle « neutrons » maximale enregistrée est de 6,4 mSv en 2006 pour un travailleur classé dans l'industrie non nucléaire.

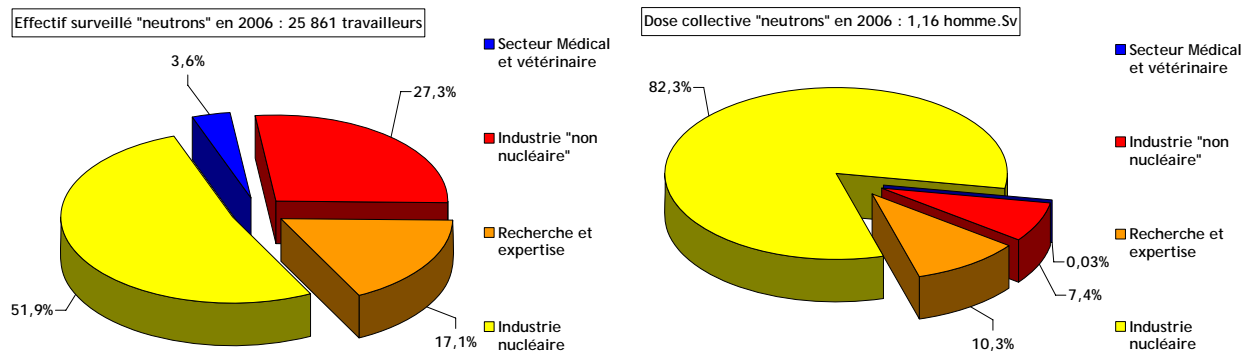


Figure 17 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives pour la dosimétrie des neutrons en 2006

Les informations transmises concernant la dosimétrie des neutrons en 2006 sont regroupées ci-après par laboratoire de surveillance.

- Laboratoire de l'IPN d'Orsay

Le risque d'exposition externe aux neutrons est essentiellement présent auprès des accélérateurs de particules et dans les laboratoires du département PNC (Physique Nucléaire et Corpusculaire) et plus particulièrement ceux de l'IN2P3 (Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules), des Sciences Chimiques (en particulier, le Centre d'Etudes et de Recherche par Irradiation, Orléans) ou sur des sites à l'étranger, par exemple le CERN. Le Centre de Protonthérapie d'Orsay (secteur médical hors du CNRS) est également concerné par la dosimétrie des neutrons.

Parmi les 2 804 travailleurs surveillés par l'IPN d'Orsay, 773 disposent d'une dosimétrie spécifique aux neutrons. Il est à noter six cas seulement d'exposition mixte photons et neutrons enregistrés par l'IPN en 2006.

Parmi les 773 travailleurs surveillés pour leur exposition aux neutrons, 11 enregistrent une dose annuelle « neutrons » supérieure au seuil d'enregistrement. La dose individuelle maximale due à la composante « neutrons » est de 1,35 mSv en 2006.

La dose collective due aux neutrons s'élève à 4,4 h.mSv pour 2006, soit 5,2 % de la dose collective totale (83,9 h.mSv).

- Laboratoire de l'IPHC

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

- Laboratoire DOSILAB

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

- Laboratoire AREVA NC La Hague

Les 3 892 travailleurs surveillés par le laboratoire AREVA NC La Hague font tous l'objet d'une dosimétrie complémentaire « neutrons » au niveau de la poitrine. En 2006, 401 d'entre eux ont reçu une dose totale (neutrons + photons) supérieure au seuil d'enregistrement (dont 185 travailleurs de l'établissement de la Hague) ; parmi eux, 152 ont reçu une dose « neutrons » supérieure au seuil d'enregistrement (dont 64 travailleurs de l'établissement de la Hague).

La dose collective totale (neutrons + photons) est de 419,45 h.mSv en 2006. La contribution de la composante neutronique à la dose collective est de 158,25 h.mSv, soit environ 37,7 % de la dose collective totale. La dose individuelle maximale due à la composante « neutrons » est de 9,75 mSv en 2006. Le nouveau périmètre de surveillance du laboratoire AREVA NC La Hague (intégration de la surveillance des unités AREVA NC de Cadarache notamment) explique les différences observées par rapport au bilan 2005.

- Laboratoire AREVA NC Marcoule

Les 3 859 travailleurs dont la surveillance est assurée par le laboratoire AREVA NC Marcoule sont composés de personnels d'AREVA (2 774 dont 715 sur l'établissement de Melox), du CEA Valrho (1 026) et d'EDF (59). Tous font l'objet d'une dosimétrie complémentaire « neutrons » au niveau de la poitrine. Seuls les établissements de Marcoule, de Pierrelatte et de Melox enregistrent des doses neutrons (dix travailleurs pour l'établissement de Marcoule, deux pour l'établissement de Pierrelatte et 343 pour l'établissement de Melox).

La composante neutronique représente environ 3 % de la dose collective de l'établissement de Marcoule, 1% de la dose collective de l'établissement de Pierrelatte, mais 50 % 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 10,05 mSv en 2005 (sur l'établissement de Melox).

- Laboratoire LCIE-LANDAUER

4 511 travailleurs ont fait l'objet d'une dosimétrie « neutrons » en 2006 (ils étaient 2 602 en 2005), qui correspond à une augmentation des effectifs surveillés de 73 %. La dose collective associée s'élève à 72,5 h.mSv (pour 41,9 h.mSv en 2005), soit une augmentation de 73 % également). La dose individuelle maximale 2,3 mSv a été reçue par un prestataire travaillant dans les Installations Nucléaires de Base (INB).

- Laboratoire de l'IRSN

12 828 travailleurs ont fait l'objet d'une dosimétrie « neutrons » en 2006 (pour 14 053 en 2005). La dose collective correspondante est de 172 h.mSv (pour 422 h.mSv en 2005), soit une diminution de la dose collective de 59 %) et la dose individuelle maximale 4,35 mSv a été reçue par un travailleur classé « industries non nucléaires ».

3.6.2. Dosimétrie des extrémités

Des dosimètres d'extrémités (bagues, dosimètres « poignet ») 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 mSv²⁷.

En 2006, la dosimétrie « poignet » montre une dose totale de 34 h.Sv pour 14 631 travailleurs surveillés (ils étaient 14 967 travailleurs surveillés en 2005 et leur dose totale s'élevait à 32 h.Sv).

La figure 18 illustre la répartition du nombre de travailleurs surveillés et des doses « poignet » reçues en 2006²⁸.

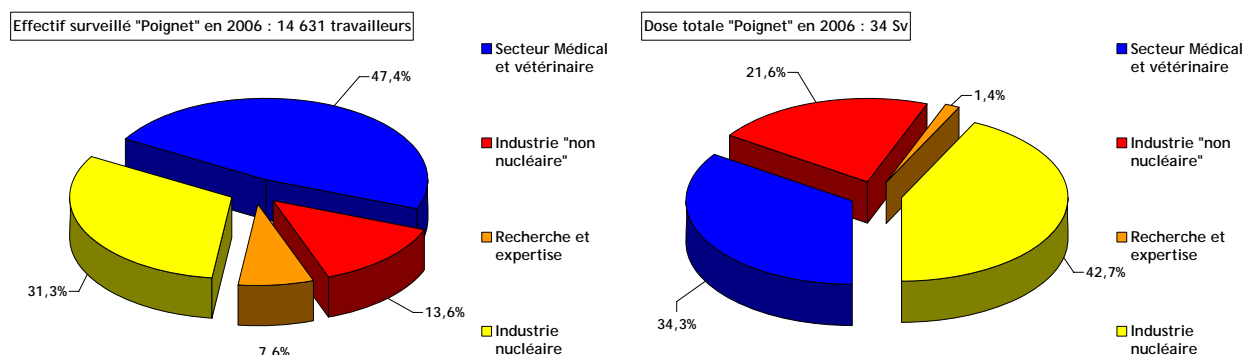


Figure 18 - Répartition des effectifs surveillés et des doses enregistrées pour la dosimétrie « poignet » en 2006

Si la moitié des travailleurs surveillés par une dosimétrie « poignet » appartient au domaine des activités médicales et vétérinaires, c'est le domaine industriel qui contribue le plus à la dose totale en 2006, les deux tiers environ.

La dose totale pour la dosimétrie « bague » est de 36,6 h.Sv pour 6 071 travailleurs surveillés en 2006 (ils étaient 4 814 travailleurs surveillés en données corrigées en 2005 et leur dose totale s'élevait à 22,3 h.Sv).

L'effectif surveillé par une dosimétrie « bague » est inférieur de moitié à celui surveillé par une dosimétrie « poignet ».

La figure 19 illustre la répartition du nombre de travailleurs surveillés et des doses « bagues » reçues en 2006.

²⁷ La dose aux extrémités est généralement assimilée à la dose équivalente à la peau et elle est en pratique mesurée en équivalent de dose individuel à une profondeur de 0,07 mm dans le tissu mou, H_p(0,07).

²⁸ Les effectifs et la dosimétrie « poignet » n'incluent pas la surveillance spécifique des neutrons réalisée par le LSDOS en 2006 (236 travailleurs surveillés, une dose collective de 6,5 h.mSv et une dose individuelle maximale de 1,1 mSv).

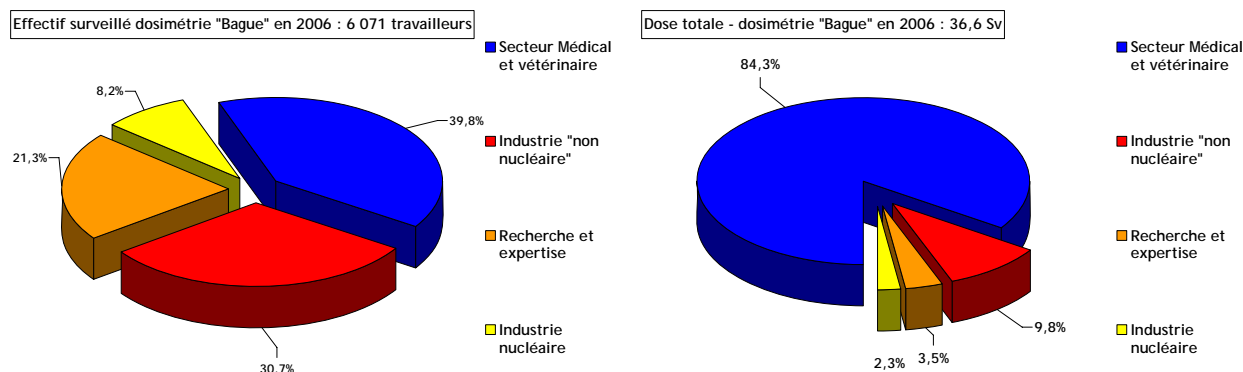


Figure 19 - Répartition des effectifs surveillés et des doses enregistrées pour la dosimétrie « bagues » en 2006

Le domaine des activités médicales et vétérinaires contribue pour plus de 80 % à la dose totale « bague ». La figure 20 détaille la répartition des doses reçues en 2006 pour les activités médicales et vétérinaires.

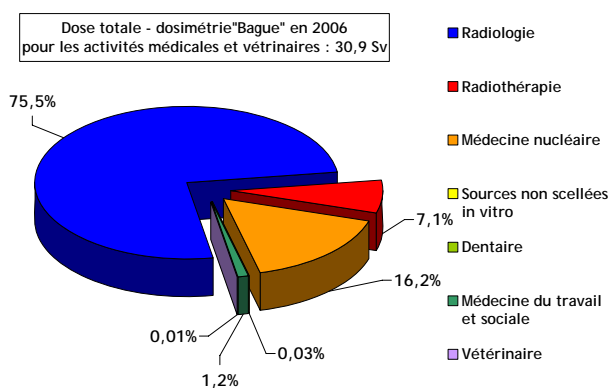


Figure 20 - Répartition des doses enregistrées pour la dosimétrie « bagues » en 2006 pour les activités médicales et vétérinaires

Dans le domaine des activités médicales, c'est le secteur de la radiologie qui contribue majoritairement aux expositions des extrémités. On note cependant un dépassement de la limite de 500 mSv en médecine nucléaire (dose individuelle enregistrée par un dosimètre thermoluminescent égale à 463 mSv sur une période de port).

Les informations transmises en 2006 pour ce qui concerne la dosimétrie des extrémités sont regroupées ci-après par laboratoire.

- Laboratoire de l'IPN d'Orsay

A l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay, le risque d'exposition externe au niveau des extrémités est plus particulièrement présent dans les laboratoires des Sciences du Vivant où les utilisateurs manipulent essentiellement des sources non scellées de ³²P.

La dosimétrie d'extrémités « poignet » a concerné 149 travailleurs en 2006. 28 d'entre eux présentent une dose individuelle annuelle comprise entre le seuil d'enregistrement et 7,05 mSv, soit

une dose très inférieure à la limite réglementaire de 500 mSv. La dose cumulée s'établit à 54,1 h.mSv.

La dosimétrie d'extrémités « bague » a concerné 180 travailleurs en 2006. 37 d'entre eux présentent une dose individuelle annuelle supérieure au seuil d'enregistrement, avec une dose individuelle maximale de 11,4 mSv. La dose cumulée s'établit à 44,4 h.mSv.

Parmi les agents dont les dosimètres ont enregistré une dose aux extrémités, environ la moitié n'a pas enregistré d'exposition au niveau de l'organisme entier.

- Laboratoire de l'IPHC

L'effectif total surveillé par l'Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien (IPHC) de Strasbourg pour la dosimétrie des extrémités « poignet » est de 41 travailleurs ; 3 travailleurs ont enregistré des doses et la dose cumulée s'élève à 1 h.mSv. La dose individuelle annuelle maximale enregistrée est de 0,6 mSv.

- Laboratoire DOSILAB

La dosimétrie d'extrémités « poignet » a concerné 354 travailleurs en 2006. La dose cumulée correspondante s'élève à 687 h.mSv. La dose individuelle annuelle maximale est de 99,6 mSv (enregistrée en radiologie médicale).

La dosimétrie d'extrémités « bague » a concerné 247 travailleurs en 2006. 236 d'entre eux présentent une dose individuelle annuelle comprise entre le seuil d'enregistrement et 500 mSv. La dose individuelle annuelle maximale est de 235,7 mSv (en radiologie médicale). La dose cumulée pour l'effectif surveillé s'établit à 2,75 h.Sv.

- Laboratoire AREVA NC La Hague

La dosimétrie « poignet » a concerné 2 269 travailleurs en 2006 (soit 58 % des salariés surveillés). Sur cet effectif, 409 ont reçu une dose individuelle annuelle supérieure au seuil d'enregistrement et la dose cumulée aux extrémités est de 1,18 h.Sv. La dose individuelle maximale est de 52,1 mSv.

- Laboratoire AREVA NC Marcoule

La dosimétrie d'extrémités « poignet » a été mise en œuvre pour 1 610 agents. Parmi ceux-ci, 545 ont reçu des doses supérieures au seuil d'enregistrement. La dose aux extrémités cumulée est de 10,18 h.Sv dont près 99 % pour le seul établissement de Melox. La dose individuelle annuelle maximale enregistrée est de 124 mSv. Il s'agit d'un agent de l'établissement de Melox.

- Laboratoire LCIE-LANDAUER

La dosimétrie d'extrémités « poignet » a concerné 3 965 travailleurs en 2006. La dose cumulée s'élève à 13 h.Sv. La dose individuelle annuelle maximale est de 308,4 mSv (dans l'industrie « non nucléaire »).

La dosimétrie d'extrémités « bague » a concerné 2 616 travailleurs en 2006. 1 194 d'entre eux présentent une dose individuelle annuelle supérieure au seuil d'enregistrement et inférieure à 150 mSv. 18 travailleurs présentent une dose annuelle comprise entre 150 mSv et 313,2 mSv (seize en radiologie médicale et deux dans l'industrie hors nucléaire). La dose cumulée s'établit à 21,9 h.Sv.

- Laboratoire de l'IRSN

6 243 travailleurs ont fait l'objet d'une dosimétrie « poignet » en 2006. La dose cumulée s'élève à 9 h.Sv et la dose individuelle annuelle maximale enregistrée est de 23 mSv pour un travailleur de l'industrie « non nucléaire ».

3 028 travailleurs ont fait l'objet d'une dosimétrie « bague » en 2006. La dose cumulée s'élève à 11,9 h.Sv. La dose individuelle annuelle maximale enregistrée sur une période de port est de 463 mSv (en médecine nucléaire).

3.7. DONNEES TRANSMISES PAR LE SPRA POUR LE BILAN 2006

La protection radiologique des personnes au sein de la Défense relève des missions du Service de santé des armées et plus précisément du Service de protection radiologique des armées (SPRA, Clamart). Le SPRA assure à ce titre le suivi dosimétrique du personnel exposé aux rayonnements ionisants.

Les données transmises par le SPRA en 2006 sont traitées à part du bilan général car elles sont partielles et n'ont pas été fournies selon le format de transmission des autres laboratoires.

Les données fournies concernent le bilan du personnel hospitalier du Service de santé des armées (9 Hôpitaux d'Instruction des Armées, HIA), soit 974 travailleurs surveillés en 2006, totalisant une dose collective d'environ 0,22 h.Sv. Seulement 24 travailleurs enregistrent une dose annuelle supérieure à 1 mSv (principalement en médecine nucléaire et en cardiologie interventionnelle) et la dose individuelle annuelle maximale enregistrée est 6,1 mSv. L'analyse réalisée par le SPRA pointe des défauts de ports de dosimètre, notamment par le personnel des blocs opératoires.

Globalement les doses collectives sont en augmentation depuis 2003, mais le SPRA considère que le changement de dosimètre et l'amélioration de la surveillance des personnels ont largement contribué à cette augmentation.

La dosimétrie d'extrémités « poignet » a concerné 61 travailleurs en 2006. La dose individuelle annuelle maximale est de 56,1 mSv, observée en cardiologie interventionnelle. L'analyse réalisée par le SPRA pointe des défauts de ports de dosimètre d'extrémités. Le SPRA a lancé en 2007 une campagne de mesure de l'exposition sur la base d'une dosimétrie « bague ». Cette campagne a pour but de déterminer les personnels les plus exposés, afin de leur proposer ce type de surveillance. Elle s'est intéressée particulièrement aux services de chirurgie, d'imagerie médicale, de cardiologie interventionnelle et de médecine nucléaire des HIA.

4. BILAN DE LA SURVEILLANCE DES EXPOSITIONS INTERNES EN 2006

4.1. ELEMENTS DE CONTEXTE

4.1.1. Les secteurs d'activité

La surveillance des expositions internes est mise en œuvre pour les travailleurs susceptibles de manipuler des sources radioactives non scellées ou d'évoluer dans des locaux où existe un risque de contamination de l'atmosphère. En pratique, sont visés les installations nucléaires, les services de médecine nucléaire et les laboratoires de recherche utilisant des traceurs radioactifs (recherche médicale, radiopharmaceutique et biologique essentiellement). En France, la surveillance des personnels travaillant dans des installations nucléaires est assurée par les services de santé au travail et les analyses prescrites par les laboratoires d'analyses de biologie médicale (LABM) des entreprises exploitantes : CEA, AREVA, EDF. S'agissant des professionnels du secteur médical et de la recherche, les examens complémentaires prescrits par les médecins du travail sont réalisés par l'IRSN.

4.1.2. les modalités de surveillance

La surveillance consiste soit en des analyses radiotoxicologiques, c'est-à-dire des dosages de l'activité des radionucléides présents dans des échantillons d'excrétas (urines, fèces, prélèvements nasaux par mouchages), soit en des examens anthroporadiométriques qui permettent une mesure *in vivo* directe de l'activité des radionucléides présents dans l'organisme. Ces mesures peuvent être réalisées à intervalle régulier pour une surveillance de routine ou s'inscrire dans le cadre d'une surveillance spéciale, notamment à l'occasion d'une manipulation inhabituelle ou encore en cas d'incident. Contrairement à la dosimétrie externe qui repose sur des mesures relativement standardisées et simples de mise en œuvre, les protocoles de surveillance interne sont plus contraignants et doivent être adaptés aux pratiques professionnelles considérées, aux niveaux d'activité et aux radionucléides à mesurer. Des considérations pratiques doivent également être prises en compte : par exemple, le fait que l'examen anthroporadiométrique nécessite de faire déplacer le travailleur vers l'installation de mesure.



Passeur d'échantillons pour la l'analyse radiotoxicologique des radionucléides émetteurs γ



Dans la grande majorité des cas, la mesure vise davantage à s'assurer de l'absence de contamination chez le travailleur qu'à calculer une dose interne. En effet, le calcul de la dose interne fait intervenir tout un ensemble de paramètres qui ne sont malheureusement pas toujours connus précisément, à commencer par la date à laquelle l'incorporation de radionucléides s'est produite. Par ailleurs, la présence en trace d'un radionucléide correspond le plus souvent à une dose très faible (une fraction de mSv). En pratique, et tenant compte des incertitudes inhérentes, la dose interne est évaluée seulement pour des résultats de mesures se situant au-dessus d'un seuil d'enregistrement recommandé de 1 mSv.

4.1.3. Données générales

Les tableaux 3, 4, 5 et 6 rassemblent les données relatives respectivement aux analyses radiotoxicologiques urinaires, fécales et nasales et aux examens anthroporadiométriques réalisés dans le cadre de la surveillance de routine, fournies par les différents laboratoires d'analyses de biologie médicale (LABM). Ces données appellent plusieurs observations :

- Les effectifs totaux qui figurent dans ces tableaux doivent être considérés avec une certaine précaution, la méthode de collecte de données utilisée ne permettant pas d'éviter des doubles comptes. En effet, de nombreux travailleurs appartenant aux entreprises sous-traitantes des opérateurs d'installations nucléaires sont amenés à exercer leur activité dans plusieurs établissements différents au cours d'une même année, faisant ainsi l'objet d'un suivi individuel de ces établissements. Ces travailleurs sont alors comptabilisés plusieurs fois.
- En fonction de leurs activités professionnelles, tous les travailleurs surveillés n'ont pas systématiquement eu d'examen au cours de l'année 2006. C'est pourquoi le nombre d'examens réalisés dans un établissement donné peut être inférieur au nombre de travailleurs considérés comme surveillés dans cet établissement.

La figure 21 montre comment se répartissent les différents types d'analyses entre d'une part les grandes entreprises (CEA, EDF et AREVA) et d'autre part, les établissements du secteur médical et de la recherche (autres que CEA).

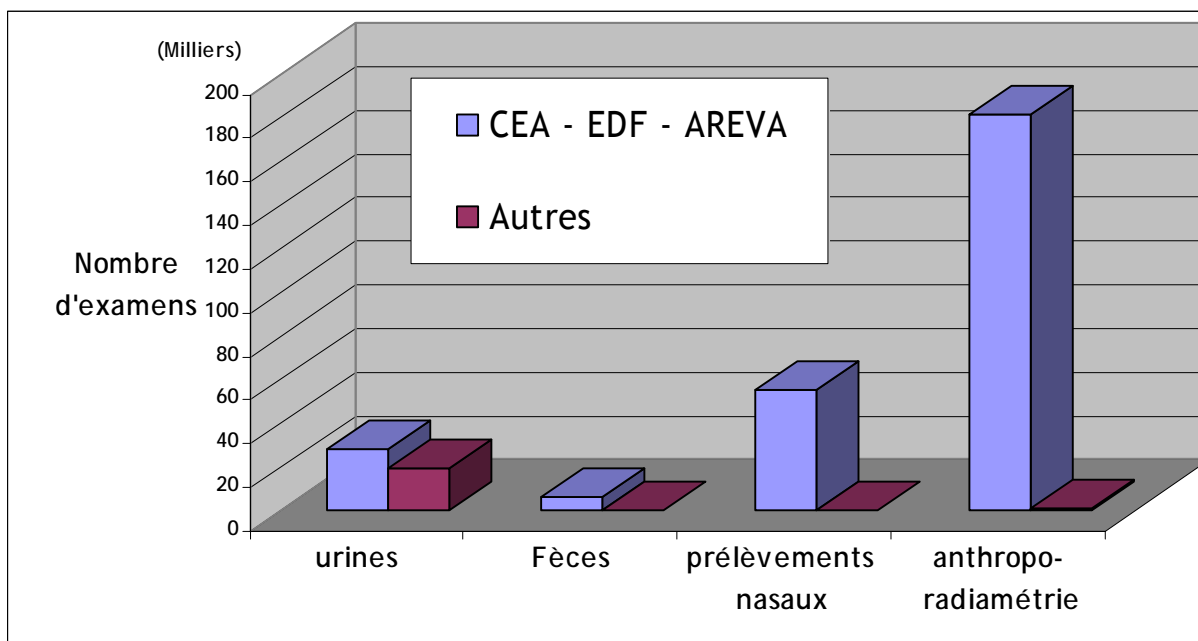


Figure 21 - Répartition des différents types d'examens mis en œuvre pour assurer la surveillance de l'exposition interne dans les 2 grands secteurs d'activité (2006)

On peut noter que les grandes entreprises font appel à l'ensemble des techniques de surveillance alors que le suivi des personnels dans les établissements du secteur médical et de la recherche (hors CEA) repose essentiellement sur des analyses radiotoxicologiques urinaires. Ceci s'explique à la fois par la nature différente des radionucléides à mesurer dans les différents secteurs, mais aussi par des considérations logistiques. Alors qu'il est relativement facile d'organiser un contrôle anthroporadiométrique au CEA, à AREVA et à EDF où les laboratoires sont présents dans les établissements, un tel contrôle des personnels des secteurs médical ou de la recherche qui n'ont pas leurs propres LABM est beaucoup plus difficile à mettre en œuvre, les individus ayant en pratique à se déplacer dans les laboratoires de l'IRSN situés en région parisienne.

Enfin, il faut souligner que les techniques ne sont pas nécessairement exclusives. Pour un suivi optimal de la contamination, il est peut être utile de combiner les différents types de mesure : par exemple, lorsqu'une mesure d'iode 131 au niveau de la thyroïde donne un résultat positif, il sera généralement effectué à la suite une analyse radiotoxicologique urinaire.

Le tableau 7 rassemble les données relatives aux examens réalisés à la suite d'incidents ou de suspicions d'incidents susceptibles d'avoir entraîné une contamination interne de travailleurs. Au final, sur les 1601 individus ayant été contrôlés dans ces circonstances, seuls sept individus ont réellement présenté une contamination interne, la dose maximale engagée ayant été estimée inférieure à 6 mSv.

Tableau 3 - Surveillance des travailleurs par des analyses radiotoxicologiques urinaires

Etablissements	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens > seuil d'enregistrement
AREVA NC Pierrelatte	410	1051	0
AREVA NP Chalon	nc	nc	nc
AREVA NC Marcoule	222	3829	0
MELOX	0	0	0
AREVA NP Jeumont SA	0	0	0
AREVA NC Cadarache	174	26	0
AREVA IC Cadarache	103	40	0
STMI Cadarache	91	129	0
TA Aix	140	5	0
TA Cadarache	361	156	0
SGN	141	67	0
TN International	36	16	0
COMURHEX Pierrelatte	139	278	0
COMURHEX Malvesi	243	572	0
AREVA NC La Hague	6127	6764	5
SGN Marcoule (suivi par CEA)	0	0	0
STMI CENTRACO	0	0	0
SOCODEI	0	0	0
Sous-total 1 : groupe AREVA	8187	12933	5
CEA Cadarache	1565	448	0
Entreprises extérieures du CEA Cadarache	2598	848	0
CEA DAM IDF (Bruyères-le-Châtel)	276	877	0
CEA DAM Valduc	926	5551	nc
CEA Fontenay-aux-Roses	622	1387	0
CEA Grenoble	531	1816	23
CEA Pierrelatte	69	69	0
CEA Marcoule	0	0	0
CEA Saclay	998	2913	159
Sous-total 2 : CEA	7585	13909	182
EDF	179	583	417
CIS-BIO International Marcoule	0	0	0
IRSN Cadarache (suivi par CEA)	166	52	0
Etablissements suivis par IRSN	3631	18924	nd
Sous-total 3 : autres établissements	3976	20903	417
TOTAL GENERAL	19748	47745	604

nc : donnée non communiquée

nd : donnée non disponible. A titre indicatif, 96 analyses sont supérieures au seuil de détection

Tableau 4 - Surveillance des travailleurs par des analyses radiotoxicologiques fécales

Etablissements	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens > seuil d'enregistrement
AREVA NC Pierrelatte	301	289	0
AREVA NP Chalon	nc	nc	nc
AREVA NC Marcoule	430	376	0
MELOX	433	389	0
AREVA NP Jeumont SA	0	0	0
AREVA NC Cadarache	174	313	0
AREVA IC Cadarache	103	3	0
STMI Cadarache	91	119	0
TA Aix	140	1	0
TA Cadarache	361	38	0
SGN	2	4	0
TN International	0	0	0
COMURHEX Pierrelatte	10	10	0
COMURHEX Malvesi	49	49	0
AREVA NC La Hague	124	62	1
SGN Marcoule (suivi par CEA)	8	5	0
STMI CENTRACO	5	5	0
SOCODEI	5	5	0
Sous-total 1 : Groupe AREVA	2236	1668	1
CEA Cadarache	1565	238	0
Entreprises extérieures du CEA Cadarache	2598	664	0
CEA DAM IDF (Bruyères-le-Châtel)	42	48	0
CEA DAM Valduc	669	1552	nc
CEA Fontenay-aux-Roses	159	224	0
CEA Grenoble	162	376	20
CEA Pierrelatte	0	0	0
CEA Marcoule	321	251	0
CEA Saclay	120	208	11
Sous-total 2 : CEA	5636	3561	31
EDF	175	573	124
CIS-BIO International Marcoule	0	0	0
IRSN Cadarache (suivi par CEA)	166	10	0
Etablissements suivis par IRSN	30	103	0
Sous-total 3 : Divers	371	686	124
TOTAL GENERAL	8213	5915	156

nc : donnée non communiquée

Tableau 5 - Surveillance des travailleurs par des analyses radiotoxicologiques de prélèvements nasaux

Etablissement	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens > seuil d'enregistrement
AREVA NC Pierrelatte	0	0	0
AREVA NP Chalon	nc	nc	nc
AREVA NC Marcoule	0	0	0
MELOX	0	0	0
AREVA NP Jeumont SA	0	0	0
AREVA NC Cadarache	174	664	0
AREVA IC Cadarache	103	2	0
STMI Cadarache	91	355	0
TA Aix	140	0	0
TA Cadarache	361	0	0
SGN	2	40	0
TN International	0	0	0
COMURHEX Pierrelatte	0	0	0
COMURHEX Malvesi	0	0	0
AREVA NC La Hague	169	169	8
SGN Marcoule (suivi par CEA)	0	0	0
STMI CENTRACO	0	0	0
SOCODEI	0	0	0
Sous-total 1 : Groupe AREVA	1040	1230	8
CEA Cadarache	1565	78	0
Entreprises extérieures du CEA Cadarache	2598	2501	0
CEA DAM IDF (Bruyères-le-Châtel)	133	4249	0
CEA DAM Valduc	840	34592	nc
CEA Fontenay-aux-Roses	194	9337	0
CEA Grenoble	0	0	0
CEA Pierrelatte	0	0	0
CEA Marcoule	0	0	0
CEA Saclay	11	20	0
Sous-total 2 : CEA	5341	50777	0
EDF	402	2973	343
CIS-BIO International Marcoule	0	0	0
IRSN Cadarache (suivi par CEA)	166	4	0
Etablissements suivis par IRSN	0	0	0
Sous-total 3 : Divers	568	2977	343
TOTAL GENERAL	6949	54984	351

nc : donnée non communiquée

Tableau 6 - Surveillance des travailleurs par des examens anthroporadiométriques

Etablissements	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens > seuil d'enregistrement
AREVA NC Pierrelatte	0	0	0
AREVA NP Chalon	406	1367	0
AREVA NC Marcoule	1010	992	0
MELOX	153	75	0
AREVA NP Jeumont SA	200	nc	0
AREVA NC Cadarache	174	90	0
AREVA IC Cadarache	103	117	0
STMI Cadarache	91	223	0
TA Aix	140	91	0
TA Cadarache	361	285	0
SGN	141	116	0
TN International	36	39	0
COMURHEX Pierrelatte	0	0	0
COMURHEX Malvesi	0	0	0
AREVA NC La Hague	6127	2836	4
SGN Marcoule (suivi par CEA)	193	240	0
STMI CENTRACO	125	229	0
SOCODEI	32	22	0
Sous-total 1 : Groupe AREVA	9292	6722	4
CEA Cadarache	1565	964	0
Entreprises extérieures du CEA Cadarache	2598	2150	0
CEA DAM IDF (Bruyères-le-Châtel)	452	498	0
CEA DAM Valduc	1067	1418	nc
CEA Fontenay-aux-Roses	1134	1363	0
CEA Grenoble	677	1199	29
CEA Pierrelatte	0	0	0
CEA Marcoule	948	1461	0
CEA Saclay	1597	2258	39
Sous-total 2 : CEA	10038	11311	68
EDF	38540	162682	nc
CIS-BIO International Marcoule	93	36	0
IRSN Cadarache (suivi par CEA)	166	75	0
Etablissements suivis par IRSN			
- Agents IRSN		87	0
- Entreprises extérieures IRSN		14	
- Professionnels de santé	53	53	18
- IPN Orsay		53	1
- Partenaires IRSN		2	
Sous-total 3 : Divers	38852	163002	19
TOTAL GENERAL	58182	181035	91

nc : donnée non communiquée

Tableau 7 - Mesures spéciales réalisées suite à un incident (ou une suspicion) de contamination

Etablissements	Nombre total de travailleurs mesurés	Nombre de travailleurs contaminés(*)
AREVA NC Pierrelatte	23	0
AREVA NP Chalon	nc	nc
AREVA NC Marcoule	48	2
MELOX	49	1
AREVA NP Jeumont SA	nd	0
AREVA NC Cadarache	69	1
AREVA IC Cadarache	0	0
STMI Cadarache	16	0
TA Aix	0	0
TA Cadarache	7	0
SGN	0	0
TN International	0	0
COMURHEX Pierrelatte	19	0
COMURHEX Malvesi	130	0
AREVA NC La Hague	nc	nc
SGN Marcoule (suivi par CEA)	0	0
STMI CENTRACO	6	0
SOCODEI	0	0
Sous-total 1 : Groupe AREVA	367	4
CEA Cadarache	29	0
Entreprises extérieures CEA du CEA Cadarache	54	0
CEA DAM IDF (Bruyères-le-Châtel)	3	1
CEA DAM Valduc	154	0
CEA Fontenay-aux-Roses	6	0
CEA Grenoble	4	1
CEA Pierrelatte	2	0
CEA Marcoule	8	0
CEA Saclay	108	0
Sous-total 2 : CEA	368	2
EDF	270	0
CIS-BIO International Marcoule	4	0
IRSN Cadarache (suivi par CEA)	2	0
Etablissements suivis par IRSN :		
- analyses radiotoxicologiques urinaires	585	nd
- mesures anthroporadiométriques	5	1
Sous-total 3 : Divers	866	1
TOTAL GENERAL	1601	7

nc : donnée non communiquée

nd : donnée non disponible

(*) Travailleurs pour lesquels l'activité mesurée conduit à une dose efficace annuelle engagée supérieure à 1 mSv

4.1.4. Données par secteur d'activité

4.1.4.1. Industrie nucléaire

La figure 22 présente, pour chacune des deux grandes entreprises de l'industrie nucléaire - AREVA et EDF - la proportion respective des quatre types d'analyses réalisées par rapport au nombre total d'analyses de l'entreprise.

On voit ainsi que la surveillance individuelle dans les centrales EDF, concernées principalement par un risque de contamination interne par des radionucléides émetteurs γ (produits d'activation et produits de fission), repose essentiellement sur des examens anthroporadiométriques alors que les activités du groupe AREVA conduisent à privilégier les analyses urinaires. Dans les installations en amont et en aval du cycle, la mesure pulmonaire permet un suivi des personnels soumis au risque de contamination par des émetteurs α . Les analyses fécales sont pratiquées essentiellement pour la mesure des actinides.

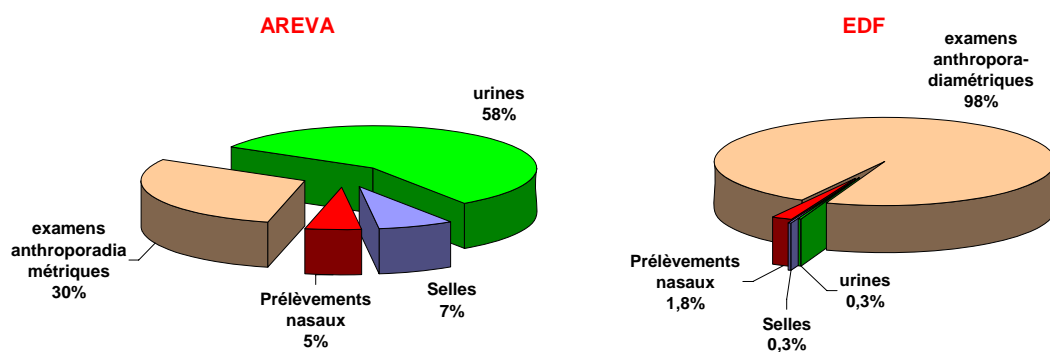


Figure 22 - Répartition des analyses réalisées à AREVA et à EDF

A EDF, en 2006, 17 résultats d'analyses radiotoxicologiques urinaires étaient supérieurs à la limite de détection en tritium. Sur les 417 urines analysées, dix urines présentaient des traces de radionucléides émetteurs γ mais aucune ne présentait de contamination α . Des évaluations dosimétriques ont été réalisées pour 273 travailleurs. Seules trois doses calculées se sont avérées supérieures au seuil d'enregistrement de 0,5 mSv, les valeurs obtenues étant inférieures à 6 mSv.

Le tableau 8 présente le bilan des mesures anthroporadiométriques réalisées par EDF sur ses différents sites en 2006.

Tableau 8 - Bilan des mesures anthroporadiométriques réalisées par EDF sur ses différents sites en 2006

ANTHROPORADIOMETRIE EDF - année 2006	
Nombre de travailleurs EDF exposés	16 240
Nombre de travailleurs d'Entreprises extérieures exposés	22 300
Total des examens effectués	162 682
Pour surveillance de chantiers ou incidents	4 500
Centrale nucléaire	Nombre d'examens
BELLEVILLE	9 056
BLAYAIS	9 660
BUGEY	10 667
CATTENOM	10 559
CHINON	10 000
CHOOZ	6 884
CIVAUX	4 455
CRUAS	10 000
DAMPIERRE	10 447
FESSENHEIM	5 164
FLAMANVILLE	5 547
GOLFECH	6 068
GRAVELINES	14 975
NOGENT	4 267
PALUEL	11 306
PENLY	5 313
SAINT ALBAN	6 777
SAINT LAURENT	5 541
TRICASTIN	14 201

Incidents du groupe AREVA : Le 20 octobre 2006, deux techniciens d'exploitation travaillant sans masque de protection respiratoire ont été contaminés (mélange de plutonium, d'américium et de curium), alors qu'ils réalisaient une opération sur un appareil du procédé de l'atelier HAO/Sud à l'usine de traitement des combustibles usés de La Hague. Les doses engagées par les deux intervenants ont été estimées à 9,7 mSv et 1,3 mSv par l'IRSN, à partir des résultats d'analyses médicales réalisées sur plusieurs semaines. Cet incident a été classé au niveau 1 de l'échelle INES²⁹ par l'ASN.

²⁹ International Nuclear Event Scale (<http://www.asn.fr>)

A la suite d'un incident dans l'installation UP1 de l'usine AREVA de Marcoule, un agent d'une entreprise extérieure a été légèrement contaminé au plutonium (dose évaluée à 1,6 mSv). Egalement à la suite d'un incident, un travailleur du réacteur Célestin de Marcoule a été contaminé au tritium (dose de 0,53 mSv). Enfin, un agent travaillant à l'usine MELOX a été faiblement contaminé au plutonium (dose de 0,7 mSv).

4.1.4.2. Activités du CEA

Comme évoqué précédemment, 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. Les risques de contamination concernent donc les mêmes radionucléides que ceux rencontrés dans l'industrie nucléaire (produits de fission et d'activation, actinides, tritium) mais aussi ceux manipulés comme marqueurs dans les laboratoires de recherche. La figure 23 présente la proportion respective des quatre types d'analyses réalisées au CEA. Celui-ci a recours à l'ensemble des techniques de surveillance individuelle.

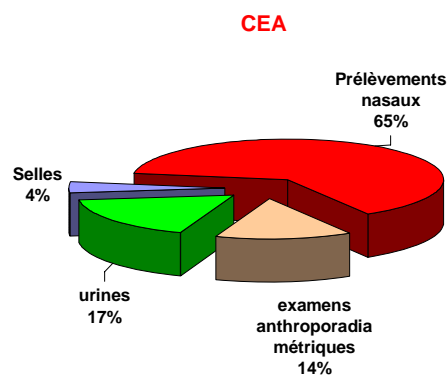


Figure 23 - Répartition des analyses réalisées dans les établissements du CEA

Incidents du CEA : Deux travailleurs ont été contaminés dans les installations du CEA en 2006, l'un sur le site de Grenoble, le second sur celui de la DAM (Division des Applications militaires) à Bruyères-le-Châtel. Les doses ont été estimées entre 1 et 6 mSv.

4.1.4.3. Médecine et recherche médicale

Le personnel médical des services de médecine nucléaire (exploration *in vivo*, radiothérapie) utilise des radionucléides émetteurs γ et, en moindre proportion, des radionucléides émetteurs β . Le personnel des laboratoires pharmaceutiques et de recherche médicale manipule principalement des radionucléides émetteurs β et γ .

Les principaux radionucléides émetteurs γ et β à mesurer dans ces secteurs ainsi que le nombre d'analyses correspondantes réalisées par l'IRSN en 2006 sont précisés dans le tableau 9.

Tableau 9 - Principaux radionucléides émetteurs γ et β analysés par l'IRSN en 2006

Radionucléides émetteurs α (1 336 analyses)	Radionucléides émetteurs γ (4 593 analyses)	Radionucléides émetteurs β (14 339 analyses)
Américium 241	Iode 131	Tritium
Radium 226	Technétium 99m	Phosphore 32
Plutonium	Thallium 201	Carbone 14
Uranium	Iode 123	Soufre 35
	Indium 111	
	Gallium 67	

Les mesures réalisées par le laboratoire de l'IRSN montrent que 99,5% des résultats d'analyses radiotoxicologiques sont inférieurs à la limite de détection. Les trois contaminants les plus fréquemment détectés sont dans l'ordre l'iode 131 (56 cas), le tritium (27 cas) et l'iode 125 (15 cas).

53 travailleurs du secteur médical ont fait l'objet d'un examen anthroporadiométrique de routine à l'IRSN en 2006. Les résultats étaient positifs pour un tiers d'entre eux. Le technétium 99 métastable (^{99m}Tc) est à l'origine des trois quarts des contaminations relevées, sachant que ce radionucléide est le plus utilisé en médecine nucléaire diagnostique. L'activité maximale constatée en 2006 est proche de 9 000 Bq pour une mesure « corps entier ». Deux cas de contamination concernaient le thallium 201 (^{201}Tl) et un cas l'iode 131 (^{131}I), avec des activités maximales pour ces 2 radionucléides comprises entre 130 et 140 Bq.

En 2006, le laboratoire d'anthroporadiométrie de l'IRSN est par ailleurs intervenu à la suite d'un incident de contamination. Lors de la préparation d'une seringue pour une injection de 700 MBq de ^{99m}Tc , une infirmière a reçu des projections de liquide sur sa blouse et au visage. L'examen réalisé le lendemain au laboratoire de l'IRSN a permis d'estimer une charge corporelle en ^{99m}Tc de l'ordre de 160 kBq. Les calculs de dose interne réalisés par l'IRSN ont conduit à estimer une dose efficace engagée de 0,093 mSv, valeur faible comparée à la limite réglementaire de 20 mSv.

4.1.4.4. Autres secteurs d'activité

Le personnel d'entreprises diverses (optique, sécurité incendie, cristallerie...) utilise des radionucléides susceptibles de conduire à des expositions internes. L'IRSN a ainsi réalisé des analyses radiotoxicologiques d'urines pour la recherche de contamination alpha éventuelle. Seules des traces de radionucléides ont été mises en évidence.

L'IRSN a par ailleurs mesuré sur site 53 personnes de l'institut de Physique Nucléaire (IPN d'Orsay) à l'aide d'un camion semi-remorque équipé d'une installation de spectrométrie *in vivo*. Les examens,

d'une durée de 20 minutes, ont mis en évidence un seul cas positif de contamination (activité « corps entier » de 180 Bq en ¹³⁷Cs), sans rapport avec les activités menées par l'agent concerné à l'IPN.

5. EXPOSITION DES TRAVAILLEURS A LA RADIOACTIVITE NATURELLE

5.1. INDUSTRIES « 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 ³⁰ » peuvent entraîner une augmentation notable de l'exposition des travailleurs ou de celle des populations.

Sur le plan réglementaire, ces « expositions naturelles renforcées » sont traitées par le décret n° 2003-296 du 31 mars 2003 complété par les dispositions du décret n° 2007-1570 du 5 novembre 2007. Ainsi, les chefs d'établissement concernés doivent notamment réaliser une évaluation des doses reçues par les travailleurs ou, pour certaines activités ou catégories d'activités professionnelles, de la concentration du gaz radon 222 dans les locaux. Les résultats de ces évaluations sont transmis à l'IRSN qui, à la demande des pouvoirs publics, analyse et rend un avis sur les résultats présentés, enrichissant ainsi les connaissances dans un domaine encore assez mal connu.

Dans ce contexte, les pouvoirs publics ont demandé à l'IRSN d'analyser le dossier de la société Denain-Anzin Minéraux / Kaolins de Beauvoir qui exploite une installation classée pour la protection de l'environnement localisée sur la commune d'Echassières dans l'Allier (03). Cette société a pour vocation d'exploiter un gisement de kaolin relativement important. La matière première alimentant la chaîne de production du kaolin purifié est un minerai contenant des traces d'oxydes métalliques dont certains naturellement radioactifs. Les produits finis sortant de cette chaîne sont non seulement le kaolin purifié, mais aussi un concentré d'étain et de tantale et des sables de différentes granulométries.

Les produits finis sont écoulés dans les filières suivantes :

- le kaolin purifié est utilisé comme matière première dans l'industrie de la céramique ;
- le concentré d'étain et de tantale est utilisé dans l'industrie métallurgique ;
- les sables sont utilisés pour la fabrication de bétons, de laine de verre ou de remblais.

L'IRSN a analysé le dossier de l'industriel présentant des estimations des doses reçues par les personnels de l'usine, fondées sur des hypothèses de fonctionnement (teneurs en radioactivité des matériaux, durée d'exposition aux postes de travail, concentration du radon dans l'atmosphère...).

Pour répondre aux besoins spécifiques à la problématique des industries de type « NORM », l'IRSN a conçu une fiche d'analyse des évaluations des doses efficaces reçues par les travailleurs et les

³⁰NORM = "Naturally Occurring Radioactive Materials" (matériaux naturellement radioactifs)

populations vivant dans l'environnement proche de ces industries. Cette fiche inspirée du « guide méthodologique pour l'acceptation des déchets présentant une radioactivité naturelle dans les installations classées d'élimination »³¹ s'accompagne d'une grille de notation. Elle est destinée aux services déconcentrés de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN). Une première version de la fiche d'analyse a été élaborée et testée en 2006 à partir de premiers dossiers transmis par les industriels.

5.2. RADON

Dans le cadre de l'étude réalisée par l'IRSN pour le Ministère de la Culture et de la Communication, sur la caractérisation de l'atmosphère des grottes ornées vis-à-vis du radon, des mesures de l'activité volumique du radon 222 ont été réalisées dans cinq grottes karstiques (Font-de-Gaume, Combarelles, Lascaux, Niaux et Chauvet) au cours de l'été 2006 (figure 24). Ces mesures viennent en complément de celles effectuées lors de l'hiver 2004/2005 [1], afin d'obtenir une valeur d'activité volumique du radon représentative de la valeur moyenne annuelle dans les cavités et comparable au seuil de 400 Bq.m⁻³ fixé par l'article R231-115 du code du travail.

Ces cavités sont fréquentées par des guides, notamment pour celles ouvertes au public, et 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 celles du décret 2002-460 du 4 avril 2002 relatif à la protection des personnes.



Figure 24 - Mesures de radon dans la grotte de Lascaux

Les mesures estivales confirment les fortes disparités tant spatiales que temporelles de l'activité volumique du radon observées en période hivernale dans les cavités. Deux grottes présentent une forte augmentation des concentrations de radon avec des valeurs entre 2 et 15 fois supérieures à celles observées au cours de l'hiver 2004/2005.

Sur la base de ces deux séries de mesure, quatre cavités sur cinq présentent des valeurs moyennes d'activité volumique supérieures au seuil de 400 Bq.m⁻³, fixé par l'article R.231-115 du code du travail. Cet article 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, pour des raisons de conservation des œuvres pariétales,

³¹ Ce guide est disponible sur le site Internet de l'IRSN (www.irsnn.org)

les techniques classiques de réduction des concentrations de radon, basées 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 diminuer l'exposition des personnes.

Pour les deux cavités présentant les valeurs moyennes annuelles d'activité volumique du radon les plus élevées, les doses efficaces associées à l'inhalation des deux isotopes du radon pour des conditions normales de travail sont comprises entre 1,4 et 3,1 mSv par an.

6. ETUDES DE POSTES DE TRAVAIL

6.1. 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.

6.2. ETUDES DE POSTES REALISEES PAR L'IRSN EN 2006

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 des méthodes de calcul Monte Carlo sont utilisés de façon complémentaire.

6.2.1. Caractérisation d'une installation de type Newtom 3G

L'autorité de sûreté nucléaire (ASN) a demandé l'avis technique de l'IRSN pour un nouvel appareil de radiologie dentaire, dénommé « NewTom 3G », récemment apparu sur le marché. Il s'agissait de caractériser l'environnement radiologique de l'appareil afin d'évaluer les risques afférents d'exposition pour les opérateurs amenés à le manipuler. L'IRSN a réalisé une campagne de mesures auprès d'une installation (figure 25) permettant de dresser une cartographie précise du rayonnement

diffusé dans l'environnement de cet appareil et de formuler des recommandations de prescriptions techniques relatives à son utilisation en routine.



Figure 25 - Vue générale de l'appareil de radiologie dentaire de type « NewTom 3G » et mise en place des chambres d'ionisation utilisées pour la mesure du rayonnement

6.2.2. Etude de radioprotection auprès d'une installation d'IORT de type Mobetron

La radiothérapie intra-opératoire (IORT) consiste à appliquer un faisceau direct d'électrons sur le champ opératoire aussitôt après avoir enlevé la tumeur, avec une dose totale de 10-25 Gy en séance unique. Cette technique de radiothérapie étant inédite en France et une demande d'autorisation d'installation d'un tel dispositif (type Mobetron) ayant été déposée auprès de l'ASN par le Centre Oscar Lambret de Lille (COL), l'ASN a demandé l'avis technique de l'IRSN sur les aspects de radioprotection concernant le dispositif. En collaboration étroite avec les physiciens du département de radiothérapie du COL, une mission a été organisée par l'IRSN au département de radiothérapie du Catharina Hospital de Eindhoven aux Pays-Bas (figure 26) pour réaliser des mesures du rayonnement secondaire produit par l'appareil.

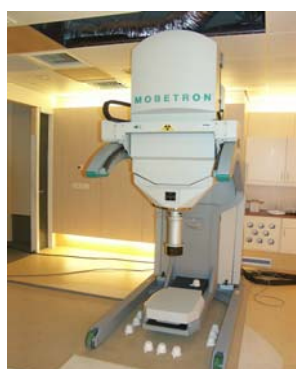


Figure 26 - Vue générale de l'appareil de radiothérapie intra-opératoire de type Mobetron

Les données acquises ont ainsi permis de caractériser l'environnement radiologique de l'installation et de prescrire les règles techniques à respecter pour assurer la protection des équipes médicales chargées de la mettre en œuvre.

6.2.3. Etude du rayonnement neutronique secondaire auprès d'accélérateurs médicaux

Le parc français d'installations de radiothérapie externe fait actuellement l'objet d'importantes évolutions, que ce soit en nombre, du point de vue des techniques utilisées, ou de leur dimensionnement (configurations de l'accélérateur, géométries de la salle, types et épaisseurs des enceintes, etc.).

Les photons et les électrons produits par les accélérateurs médicaux opérant à des énergies supérieures à 8-10 MeV génèrent un champ de radiations neutroniques secondaires principalement par des réactions du type (γ ; n) dans les matériaux composant la tête de l'appareil, la salle de traitement et le patient. L'intensité et la distribution en énergie de ce champ secondaire et l'activation neutronique résultante, ainsi que leur impact sur l'exposition du personnel, varient en fonction du type d'accélérateur (énergie, cible, blindage de la tête,...), de la technique d'irradiation (conventionnel, RTMI³²) et du dimensionnement de l'installation (épaisseur et composition des murs et de la porte, forme de la chicane).

Après avoir effectué une revue de la littérature sur le sujet et à la demande de l'Autorité de Sûreté Nucléaire, l'IRSN a mené en 2006 une campagne de mesures auprès de six installations. Afin d'être aussi représentatives que possible des diverses situations rencontrées, les mesures ont été réalisées auprès d'installations associées aux principaux fabricants (Varian, Elekta, General Electric, Siemens) et ont inclus les techniques conventionnelles et de RTMI. Les différents types de bunkers ont été également considérés : bunker standard (récent) et bunker reconfiguré (ajout de plomb).

Les mesures ont porté sur les champs neutroniques et photoniques produits en cours de traitement et sur les rayonnements issus de la décroissance des produits d'activation. Elles ont été effectuées au moyen de radiamètres (évaluation d'équivalents de dose d'ambiance) et, le cas échéant, avec des spectromètres (spectrométrie photonique et neutronique). Elles ont été faites aux positions occupées par les opérateurs, à savoir au niveau du pupitre en cours de traitement (exposition aux neutrons et aux photons), et au voisinage de la tête de l'accélérateur entre les traitements (exposition aux rayonnements émis par la décroissance des produits d'activation). Des mesures complémentaires ont été réalisées de part et d'autre de la porte d'accès aux salles afin de quantifier son efficacité. Pour chaque installation, il a été considéré les situations d'irradiation usuelles ainsi que celles conduisant aux conditions les plus pénalisantes vis-à-vis de la radioprotection du personnel en explorant différentes incidences (0°, 90°, 180° et 270°) et différentes ouvertures de champ (3 x 3 cm², 40 x 40 cm²).

En considérant une hypothèse de fonctionnement des accélérateurs à leur énergie maximale, la dose efficace annuelle pour un opérateur a été estimée de l'ordre de 1 mSv, l'exposition directe aux neutrons durant les traitements contribuant à hauteur de 7 % à cette dose.

En conclusion de cette étude, l'IRSN a recommandé que certaines protections biologiques au niveau des bunkers abritant les accélérateurs qui délivrent les rayonnements les plus énergétiques soient renforcées et que, à la suite de tirs longs ou répétés, comme ceux réalisés à l'occasion de la recette

³² Radiothérapie de modulation d'intensité

de la machine ou de sa maintenance, les personnels attendent quelques minutes après chaque tir avant l'entrée en salle.

6.2.4. Etude de poste en milieu vétérinaire

L'IRSN a été chargé par le Syndicat National des Vétérinaires d'Exercice Libéral (SNVEL) de réaliser une étude de poste pour évaluer l'exposition aux rayonnements ionisants du personnel de médecine vétérinaire utilisant des générateurs X à des fins de radiodiagnostic. L'objectif principal de cette étude était de caractériser les modes et les niveaux d'exposition nécessaires pour optimiser la surveillance dosimétrique individuelle. Dix cliniques vétérinaires ont été volontaires pour participer à cette étude coordonnée par Formaveto (organisme agréé de formation permanente destinée aux docteurs vétérinaires). Ces dix établissements étaient répartis sur le territoire français et présentaient des caractéristiques diverses concernant la taille des locaux, le nombre d'animaux traités ou le type de clinique (équine ou générale). Un échantillon représentatif des postes de travail rencontrés dans le domaine vétérinaire a été sélectionné. L'étude a consisté à faire porter par les personnels des dosimètres individuels passifs pendant une durée de trois mois puis à en interpréter les résultats. Au vu des valeurs de dose très faibles relevées au cours de cette étude, il a été conclu qu'un suivi dosimétrique individuel trimestriel à l'aide de dosimètres passifs adaptés pour le corps entier et les extrémités était amplement suffisant.

6.2.5. Etude de poste auprès d'installations nucléaires AREVA : dosimétrie d'extrémités en champ mixte neutrons-photons

Une étude a été réalisée par l'IRSN pour évaluer le comportement de dosimètres de type détecteurs de traces de type CR-39 (cf. annexe I) pour la mesure de la dose reçue au niveau des mains dans des champs de rayonnements mixtes (neutrons et photons). L'objectif était de vérifier l'adéquation de ces dosimètres avec l'environnement radiatif rencontré dans les installations nucléaires. Pour cela, une série de mesures en collaboration avec le Service de Protection contre les Rayonnements (SPR) du Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) a été conduite auprès des postes de travail de l'Atelier de Technologie du Plutonium (ATPu) de Cadarache, installation exploitée par AREVA NC dans laquelle du combustible MOX est manipulé.

7. 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 permanente 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, 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.

L'IRSN collecte et analyse les données concernant les évènements et incidents de radioprotection. La collecte se veut exhaustive pour les incidents déclarés aux autorités. Elle s'intéresse aussi à un certain nombre d'évènements 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 450 évènements concernant la radioprotection dont l'IRSN a eu connaissance en 2006, 247 concernent directement les travailleurs. La répartition de ces évènements par secteur d'activité est donnée dans le tableau 10, les chiffres de 2004 et 2005 étant indiqués à titre de comparaison.

Les alertes des laboratoires de dosimétrie pour dépassement de limites réglementaires de dose, au nombre de 68, représentent 28% des évènements avec une très forte prédominance de cas dans le domaine médical (71%). Sur l'ensemble de ces signalements, 42 d'entre eux ont finalement été invalidés après enquête du médecin du travail (§ 3.3).

L'IRSN apporte une assistance téléphonique aux médecins du travail, pour conduire les enquêtes lors d'un signalement de dépassement de limite réglementaire de dose ou d'une alerte de dépassement. Dans les cas plus difficiles, l'IRSN intervient sur site afin de mener les investigations nécessaires. Ces déplacements sont l'occasion, au delà de l'aide apportée au médecin du travail et de la consolidation des données intégrées dans la base SISERI, de rappeler les bonnes pratiques en matière de radioprotection.

Tableau 10 - Evènements de radioprotection concernant les travailleurs en 2006

	2006	2005	2004
Alertes de dépassements de limite réglementaire de dose			
- industrie	13	17	11
- recherche	1	2	2
- transport	5	0	0
- secteur médical	48	63	42
- origine inconnue*	1	0	0
Total alertes de dépassements	68	82	55
Autres évènements			
industrie et recherche	170	182	193
secteur médical	9	8	2
Total autres évènements	179	190	195
TOTAL	247	272	250

* dosimètre retrouvé parmi des déchets

Les autres évènements, au nombre de 179, concernent essentiellement le secteur de l'industrie (nucléaire et non nucléaire) et de la recherche (95%). Il convient de souligner que cette répartition reflète l'existence d'une culture « déclarative » très forte dans le secteur des installations nucléaires de base (INB), basée sur des critères de déclaration précis. De tels critères n'ont été définis que récemment dans le domaine industriel hors INB et dans le secteur médical, par un guide de l'ASN (juin 2007). Une légère progression dans la déclaration des évènements du secteur médical se dessine, si l'on se réfère aux données disponibles depuis 2004.

La ventilation des évènements autres que les alertes de dépassement de dose selon les critères de déclaration définis par l'ASN pour les INB donne les résultats suivants : 52 évènements sont déclarés au titre du critère 7 « *défaut de signalisation ou non respect des conditions techniques d'accès en zone réglementée ou interdite* », 22 évènements au titre du critère 3 « *écart concernant la propreté radiologique* », 10 au titre du critère 4 « *activité comportant un risque radiologique important réalisée sans une analyse de radioprotection formalisée* », 9 au titre du critère 6 « *situation anormale affectant une source scellée ou non scellée* » et 7 au titre du critère 1 « *dépassement d'une limite de dose individuelle réglementaire ou situation ayant pu entraîner ce dépassement* ». Le critère 10 qui regroupe les évènements qui ne peuvent être déclarés au titre des autres critères a fait l'objet de 39 déclarations.

8. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La veille permanente en matière de radioprotection des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants constitue l'une des missions importantes de service public de l'IRSN. Dans ce cadre, l'Institut établit chaque année un bilan des expositions des travailleurs dans tous les secteurs d'activité mettant en jeu des sources de rayonnements ionisants. Le bilan pour l'année 2006 permet de souligner les points marquants suivants :

- Le nombre de travailleurs surveillés tous secteurs d'activité confondus, qui avait enregistré une forte augmentation en 2005 (+ 7,3% par rapport à l'année 2004), a encore légèrement progressé en 2006 (+ 1,5%).
- Les variations observées d'une année sur l'autre sont faibles pour ce qui concerne la dose collective totale associée aux expositions externes.
- Les doses individuelles moyennes ont baissé par rapport à l'année précédente, ceci dans tous les grands secteurs d'activité (nucléaire, industrie classique, recherche, médical).
- C'est dans le secteur de l'industrie que les doses individuelles moyennes sont les plus élevées.
- Le nombre de travailleurs ayant reçu au cours de l'année une dose externe cumulée supérieure à 20 mSv a nettement baissé en 2006 (26 cas). Comme les années précédentes, les secteurs dans lesquels se trouvent les travailleurs ayant reçu les plus fortes doses sont le secteur médical et celui de l'industrie non nucléaire.
- Un travailleur sur dix environ est surveillé vis-à-vis du risque d'exposition aux neutrons, essentiellement dans des installations nucléaires de base ; les doses individuelles correspondantes sont faibles en moyenne par rapport à celles dues aux rayonnements gamma, en dehors de certains établissements de l'industrie nucléaire où elles représentent la moitié des doses totales reçues par les travailleurs.
- Environ 5% des travailleurs surveillés bénéficient d'une dosimétrie complémentaire des extrémités (mains, doigts). En 2006, les doses individuelles moyennes mesurées au niveau des poignets et des doigts sont de 2,3 mSv et 6 mSv respectivement. C'est dans le secteur médical, et plus particulièrement en médecine nucléaire où un dépassement de la limite réglementaire a été enregistré, que les doses aux extrémités sont les plus élevées.
- Les doses internes reçues par les travailleurs sont moins bien connues que celles liées à l'exposition externe. Dans l'immense majorité des cas, les mesures de surveillance individuelle visent davantage à s'assurer de l'absence de contamination chez les travailleurs qu'à calculer une dose interne. En pratique, celle-ci n'est calculée que pour les incidents de contamination avérés, ce qui a représenté moins d'une dizaine de cas en 2006, avec des valeurs de doses estimées ne dépassant pas 10 mSv.

- En 2006, aucun incident avéré n'a entraîné une exposition de travailleur soumis à la réglementation française supérieure à la limite réglementaire, et le nombre « d'évènements de radioprotection » impliquant des travailleurs, recensés par l'IRSN tous types et secteurs d'activité confondus, a diminué par rapport à l'année 2005 (-10%).

La surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants en France et les moyens mis en œuvre pour assurer leur protection ont connu de profonds changements en 2003 avec, d'une part l'entrée en vigueur d'un nouveau dispositif réglementaire plus exigeant issu des directives européennes, d'autre part la réforme du paysage français de la radioprotection ayant conduit à la création d'une autorité indépendante (ASN) et celle d'un institut d'expertise et de recherche en radioprotection (IRSN).

Dans ce contexte, notre connaissance des doses reçues par les travailleurs s'améliore un peu plus chaque année. Pour améliorer encore la robustesse des bilans dosimétriques annuels futurs, plusieurs voies devront être exploitées :

- d'abord exploiter les ressources du système SISERI. Cela permettra d'améliorer les statistiques des expositions professionnelles et 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 disposer d'une nouvelle nomenclature des métiers et des activités. Cette nomenclature commune aux employeurs, aux laboratoires de surveillance dosimétrique et à l'IRSN chargé *in fine* 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 poursuivre l'action engagée pour 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 ;
- poursuivre le processus d'intégration et d'analyse des données de dosimétrie interne. L'IRSN devrait en particulier tirer parti de son nouveau camion laboratoire équipé de moyens d'analyses radiotoxicologiques et anthroporadiométriques pour réaliser un suivi des personnels du secteur médical ; en effet, seul un laboratoire mobile amené au plus près des travailleurs est susceptible de permettre la mesure *in vivo* des radionucléides à vie courte tels que le fluor-18 ou le technétium-99m manipulés par les professionnels de santé ;
- enfin introduire autant que possible les doses reçues par des travailleurs hors du territoire.

9. REFERENCES

- [1] La radioprotection des travailleurs - Synthèse du bilan annuel 2005 des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants. IRSN - Rapport DRPH/SER/2006-21 du 05/10/06 - Olivier COUASNON et Alain RANNOU
- [2] La radioprotection des travailleurs - Activités de l'IRSN en 2005 dans le domaine de la gestion de la radioprotection. IRSN - Rapport DRPH/2006-09 du 04/12/06 - Alain RANNOU (coordinateur), Roselyne AMEON, Patrice BOISSON, Isabelle CLAIRAND, Olivier COUASNON, Didier FRANCK, Pascale SCANFF, Jean-Luc REHEL, Myriam THEVENET
- [3] La radioprotection des travailleurs - Bilan 2004. IRSN - Rapport DRPH/2005-09 du 15/11/05 - Alain RANNOU et Olivier COUASNON
- [4] La radioprotection des travailleurs - Bilan de la surveillance de l'exposition externe en 2004. IRSN - NT SER/UETP/2005-19 du 06/09/05 - Olivier COUASNON
- [5] La radioprotection des travailleurs - Bilan de la surveillance de l'exposition externe en 2003. IRSN - Rapport DRPH/SER/2004-38 du 22/12/04 - Olivier COUASNON et Alain RANNOU
- [6] 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 - Alain BIAU
- [7] Rapport d'activité OPRI - 1996 - OPRI - Protection des travailleurs
- [8] Rapport d'activité OPRI - 1997 - OPRI - Protection des travailleurs
- [9] Rapport d'activité OPRI - 1998 - OPRI - Mission Information et Communication - Bilan scientifique
- [10] Rapport d'activité OPRI - 1999 - OPRI - Mission Information et Communication - Bilan scientifique
- [11] Rapport d'activité OPRI - 2000 - OPRI - Mission Information et Communication - La radioprotection des travailleurs exposés
- [12] Rapport d'activité OPRI - 2001 - OPRI - Mission Information et Communication - La radioprotection des travailleurs exposés
- [13] La radioprotection des travailleurs exposés (Eléments de statistiques dosimétriques de l'année 2002 communiqués à la DRT). IRSN - A. BIAU

ANNEXE I : PANORAMA DES TECHNIQUES DE DOSIMETRIE EXTERNE PASSIVE EN 2006

Cette annexe est consacrée aux différents dosimètres individuels passifs fournis par les laboratoires d'exploitation dosimétrique en France en 2006.

La surveillance individuelle de l'exposition par dosimétrie passive est mise en œuvre par le chef d'établissement dès lors que le travailleur opère dans une zone surveillée ou contrôlée.

Le travailleur ne doit être doté que d'un seul type de dosimètre passif par type de rayonnement mesuré et par période de port. La mesure de rayonnements de nature différente peut rendre nécessaire le port simultané de plusieurs dosimètres qui peuvent, lorsque cela est techniquement possible, être rassemblés dans un même conditionnement.

Selon les circonstances de l'exposition, et notamment lorsque que celle-ci n'est pas homogène, le port de dosimètres supplémentaires (tête, poignet, main, pied, doigt, abdomen, etc.) doit permettre d'évaluer les doses équivalentes à certains organes ou tissus et de contrôler ainsi le respect des valeurs limites de doses équivalentes fixées aux articles R. 231-76 et R. 231-77 du code du travail.

1 - LES DIFFERENTES TECHNIQUES

Il existe plusieurs techniques de dosimétrie passive :

- Le film photographique

Le dosimètre photographique est le plus ancien dosimètre. Cette technique est basée sur le noircissement d'une émulsion sous l'effet des rayonnements ionisants. Après développement du film, le noircissement est mesuré sous forme d'une densité optique. Un étalonnage approprié du film (irradiation de films témoins à des doses connues) permet de transformer la densité optique en dose de rayonnement. En plaçant le film dans un boîtier muni de différents écrans qui atténuent le rayonnement en fonction de son énergie, il est possible d'avoir une détermination grossière de l'énergie moyenne du rayonnement incident.

- Le dosimètre thermoluminescent (TLD)

De manière simplifiée, la thermoluminescence est la propriété que possèdent certains matériaux (le fluorure de lithium par exemple) de libérer, lorsqu'ils sont chauffés, une quantité de lumière qui est proportionnelle à la dose de rayonnements ionisants à laquelle ils ont été soumis. La mesure de cette quantité de lumière permet, moyennant un étalonnage préalable, de déterminer la dose de rayonnements ionisants absorbée par le matériau thermoluminescent.

- Le dosimètre basé sur la luminescence stimulée optiquement (OSL)

La technologie OSL, tout comme pour le TLD, repose sur le principe de lecture d'une émission de lumière par le matériau irradié après une stimulation par diodes électroluminescentes. Contrairement au TLD, l'OSL autorise la relecture du dosimètre. Comme seule une petite fraction du dosimètre est « lue », les dosimètres OSL peuvent être ré-analysés plusieurs fois.

- Le dosimètre utilisant la radio photo luminescence (RPL)

Dans le cas de la technologie RPL, les rayonnements ionisants incidents arrachent des électrons à la structure d'un détecteur en verre. Ces électrons sont ensuite piégés par des impuretés contenues dans le verre. Il suffit alors de placer le dosimètre sous un faisceau ultra-violet pour obtenir une « désexcitation » et donc une émission de lumière proportionnelle à la dose. Ce dosimètre offre également des possibilités de relecture.

- Le détecteur solide de traces

Ce dosimètre fait partie des deux techniques de dosimétrie spécifique des neutrons les plus utilisées (avec le TLD). Le détecteur solide de traces (plastique dur, en général du CR39³³) est inséré dans un étui muni d'un « radiateur » qui, suivant sa composition, permet la détection des neutrons sur une large gamme d'énergie.

2 - LE SEUIL D'ENREGISTREMENT DES DOSES

La réglementation³⁴ fixe les règles de mise en œuvre de la dosimétrie externe passive. Elle impose notamment l'utilisation de grandeurs opérationnelles³⁵, les équivalents de dose individuels $H_p(10)$ $H_p(0,07)$, qui correspondent respectivement à la mesure de dose en profondeur dans les tissus (risque d'exposition du corps entier) et à la mesure de dose à la peau (risque d'exposition de la peau et des extrémités).

Le pas d'enregistrement des doses ne peut être supérieur à 0,05 mSv et la plus petite dose (valeur non nulle) enregistrée ne peut être supérieure à 0,20 mSv. Ce « seuil d'enregistrement » est défini réglementairement et est à distinguer de la notion de « seuil de détection » du dosimètre.

Conformément à la réglementation, le seuil d'enregistrement est passé de 0,20 à 0,10 mSv le 1^{er} janvier 2008.

Si la perspective d'un arrêt de la fabrication industrielle du film photographique est l'élément majeur qui entraîne l'abandon progressif du film dosimètre à travers le monde, l'abaissement programmé du seuil d'enregistrement des doses est aussi une des raisons qui a poussé certains laboratoires à changer de technique de dosimétrie. Ainsi, la société LCIE-LANDAUER et le SPRA ont abandonné progressivement en 2005 le film photographie pour l'OSL. L'IRSN mettra en œuvre la technologie RPL en 2008.

Le changement de technologie peut entraîner notamment une différence de sensibilité de mesure et donc des variations dans les résultats dosimétriques fournis. L'abaissement de 0,20 à 0,1 mSv du seuil d'enregistrement des doses peut faire apparaître des effectifs exposés à des doses comprises entre ces deux valeurs et qui, jusque là, étaient enregistrées comme des « doses nulles ».

Le tableau I rassemble les données relatives aux différents dosimètres utilisés en France en 2006.

³³ Columbia Résin 39

³⁴ Arrêté du 30 décembre 2004 relatif à la carte individuelle de suivi médical et aux informations individuelles de dosimétrie des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants.

³⁵ Selon les recommandations de l'ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements).

Tableau Annexe I - Panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2006

Secteur d'activité ou établissement	Dosimètres corps entier	Seuil* (en mSv)	Dosimètres poignets	Seuil* (en mSv)	Dosimètres bagues	Seuil* (en mSv)
LCIE LANDAUER (Fontenay-aux-Roses),	X, β , γ : OSL (InLight en modèle poitrine)	0,05	X, β , γ : OSL (InLight en modèle poignet)	0,05	X, β , γ : Bague TLD	0,30
	Neutrons : détecteur solide de trace (CR-39 - Neutrak en modèle poitrine) standard ³⁶ ou équipé d'un radiateur en téflon ³⁷	0,20	Neutrons : détecteur solide de trace CR-39 (Neutrak en modèle poignet)	0,20	-	-
IRSN (LSDOS, laboratoires du Vésinet et de Fontenay-aux-Roses)	X, β , γ : film (PS1 ou DC001 poitrine) ou TLD (poitrine)	0,1 (0,2 pour le PS1)	X, β , γ : film (PS1 ou DC001 poignet) ou TLD (poignet)	0,1 (0,2 pour le PS1)	X, β , γ : TLD (bague)	0,1
	Neutrons : détecteur solide de traces (PN3 ³⁸ , associé au film PS1) ou TLD	0,1 (0,2 pour le PN3)	Neutrons : détecteur solide de traces (PN3)	0,2	-	-
DOSILAB (COMET France - Lognes),	X, β , γ : TLD	0,1	X, β , γ : TLD	0,1	X, β , γ : TLD	0,1
IPHC (Strasbourg)	X, β , γ : film (poitrine)	0,2	X, β , γ : Dosimètre film (poignet)	0,2	-	-
IPN (Orsay)	X, β , γ : film (PS1 poitrine)	0,2	X, β , γ : Dosimètre film (poignet)	0,2	X, β , γ : Bague TLD	0,2
	Neutrons : Détecteur solide de traces (à convertisseur en polyéthylène)	0,2	-	-	-	-
AREVA NC - La Hague	X, β , γ et neutrons : Cogebadge ³⁹ (Film photographique et TLD)	0,15	X, β , γ et neutrons : Cogebadge (TLD)	0,15	-	-
AREVA NC Marcoule	X, β , γ et neutrons : TLD	0,15	X, β , γ et neutrons : TLD	0,15	-	-
SPRA (Division technique, Clamart) - Surveillance des HIA seulement ⁴⁰	X, β , γ : OSL	0,1	X, β , γ : OSL	n.c.**	-	-

* Ce seuil correspond à la valeur minimale de dose enregistrée.

** donnée non communiquée

Le changement de technique de dosimétrie ou l'abaissement d'un seuil d'enregistrement ne sont pas les seules circonstances de nature à influencer sur des résultats dosimétriques. La période de port retenue peut également entraîner des variations dans les statistiques dosimétriques annuelles. Ainsi, des valeurs d'équivalent de dose inférieures au seuil d'enregistrement du dosimètre sur un mois d'exposition sont assimilées à des doses « nulles », mais peuvent être positives dans le cas d'une période de port plus importante du fait du cumul des expositions.

A titre d'exemple, l'IPN d'Orsay indique qu'à effectif surveillé sensiblement constant par rapport à 2005, la dose collective a augmenté de 35 % en 2006. Une des raisons principales est l'allongement significatif de la période de port des dosimètres à 3 mois. Il a permis de mettre en évidence un nombre important de valeurs d'équivalent de dose proches du seuil de détection (122 agents sont enregistrés en 2006 dans la classe de dose [0,2-1] mSv pour l'organisme entier, contre 22 en 2005).

La période durant laquelle le dosimètre doit être porté est fonction de la nature et de l'intensité de l'exposition. Elle ne doit pas être supérieure à un mois pour les travailleurs de catégorie A et à trois mois pour les travailleurs de catégorie B.

³⁶ Mesure des neutrons intermédiaires et rapide.

³⁷ Permettant la mesure supplémentaire des neutrons thermiques.

³⁸ PN3 : détecteur de traces créées par les protons de recul sur les noyaux d'hydrogène.

³⁹ Dosimètre développé par COGEMA (AREVA) pour la mesure des rayonnements X, β , γ et neutrons. Le support comprend un film photographique et une partie constituée de dosimètres thermoluminescents (cartouche de fluorure de lithium), ainsi que des détecteurs fonctionnant par activation (dosimétrie accidentelle de criticité).

⁴⁰ Le SPRA utilise aussi des détecteurs solides de traces de type PN3 en dehors de la surveillance des HIA.

ANNEXE II : BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES DES TRAVAILLEURS EN 2005

Tableau Annexe II

Cf. [1]

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 h.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
	Total	273886	238793	20434	12048	2489	82	33	7	64,79
	<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 exploitants dans les INB.