

La radioprotection des travailleurs

Bilan 2007 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

RESUME

En France, près de 300 000 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 2007.

ABSTRACT

In France, nearly 300 000 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 2007.

MOTS-CLES

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

SOMMAIRE

1.	INTRODUCTION.....	8
2.	MODALITES DE LA SURVEILLANCE DOSIMETRIQUE DES TRAVAILLEURS.....	9
	2.1. OBJECTIFS DE LA SURVEILLANCE	9
	2.2. AGREMENT DES ORGANISMES DE DOSIMETRIE.....	9
	2.2.1. Avis de l'IRSN sur l'adéquation des techniques de dosimétrie avec la surveillance individuelle des travailleurs	10
	2.2.2. Intercomparaison d'analyses radiotoxicologiques	10
	2.2.3. Intercomparaison de mesures anthroporadiométriques	11
	2.3. SYSTEME SISERI	12
	2.3.1. La transmission des données à SISERI en 2007.....	13
	2.3.2. La consultation des données de SISERI.....	15
3.	BILAN DE LA SURVEILLANCE DES EXPOSITIONS EXTERNES EN 2007.....	17
	3.1. METHODOLOGIE ET HYPOTHESES RETENUES	17
	3.2. RESULTATS GENERAUX.....	19
	3.3. ANALYSES PAR DOMAINES D'ACTIVITE	21
	3.3.1. Activités médicales et vétérinaires.....	23
	3.3.2. Activités de recherche.....	23
	3.3.3. Industrie nucléaire	24
	3.3.4. Industrie non nucléaire	26
	3.4. DEPASSEMENTS DE LA LIMITE ANNUELLE REGLEMENTAIRE DE 20 mSv ...	27
	3.5. EVOLUTIONS PAR RAPPORT AUX ANNEES PRECEDENTES (PERIODE 1996 - 2007)	28
	3.5.1. Evolution des effectifs surveillés par grands domaines d'activité de 1996 à 2007	28
	3.5.2. Evolution des doses collectives de 1996 à 2007.....	29
	3.5.3. Evolution du nombre de travailleurs ayant reçu une dose externe annuelle supérieure à 20 mSv, de 1996 à 2007	30
	3.5.4. Evolution du nombre de travailleurs ayant reçu une dose externe annuelle supérieure à 50 mSv de 1996 à 2007	32
	3.6. DOSIMETRIES SUPPLEMENTAIRES.....	32
	3.6.1. Dosimétrie des neutrons (corps entier).....	32
	3.6.2. Dosimétrie des extrémités	35
	3.7. CONCLUSION	39
	3.8. PERSPECTIVES	40
4.	BILAN DE LA SURVEILLANCE DES EXPOSITIONS INTERNES EN 2007	41
	4.1. ELEMENTS DE CONTEXTE	41
	4.1.1. Les secteurs d'activité.....	41
	4.1.2. Les modalités de surveillance	41

4.1.3.	Méthodologie et hypothèses retenues	42
4.2.	BILAN GENERAL.....	42
4.2.1.	Données concernant la surveillance de routine	42
4.2.2.	Données concernant les surveillances spéciale ou de contrôle.....	43
4.3.	BILAN PAR SECTEUR D'ACTIVITE	50
4.3.1.	Industrie nucléaire (hors CEA).....	51
4.3.2.	Activités du CEA	54
4.3.3.	Médecine et recherche (hors CEA).....	54
4.3.4.	Défense (hors applications militaires du CEA).....	55
4.4.	EVOLUTIONS PAR RAPPORT A L'ANNEE 2006	56
4.4.1.	Evolutions dans le cadre de la surveillance de routine	56
4.4.2.	Evolutions dans le cadre de la surveillance spéciale ou de contrôle	58
4.4.3.	Evolution de la répartition des examens réalisés	59
4.5.	CONCLUSION	59
5.	EXPOSITION DES TRAVAILLEURS A LA RADIOACTIVITE NATURELLE	61
5.1.	INDUSTRIES « NORM »	61
5.1.1.	Etudes analysées en 2007	63
5.1.2.	Evaluation de l'exposition aux rayonnements ionisants des personnels travaillant dans une fonderie utilisant des farines de zircon	63
5.2.	RADON.....	64
5.3.	EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS COSMIQUES	65
6.	ETUDES DE POSTES DE TRAVAIL	66
6.1.	CONTEXTE REGLEMENTAIRE.....	66
6.2.	ETUDES DE POSTES REALISEES PAR L'IRSN EN 2007.....	66
6.2.1.	Caractérisation d'un dispositif de tomographie à faisceau conique utilisé pour le diagnostic dentaire.....	66
6.2.2.	Caractérisation d'une installation utilisant un scanner à deux tubes.....	67
6.2.3.	Appui méthodologique des personnes compétentes en radioprotection (PCR) d'un service de radiologie dans la mise en œuvre du zonage conformément à l'arrêté du 15 mai 2006.....	67
6.2.4.	Etude réalisée pour le Syndicat de traitement des ordures ménagères de la région parisienne (SYCTOM).....	68
6.2.5.	Evaluation de l'exposition externe auprès d'un convoi de sesquioxyde d'uranium (U ₃ O ₈).....	68
6.2.6.	Caractérisation neutronique et évaluation de la réponse de dosimètres neutrons sur des postes de travail en CNPE	69
6.3.	PUBLICATION D'UN GUIDE PRATIQUE D'AIDE A LA REALISATION D'ETUDES DE POSTES DE TRAVAIL	70
7.	SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	71
8.	CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	74
9.	REFERENCES.....	77

ANNEXE I : PANORAMA DES TECHNIQUES ACTUELLEMENT UTILISEES EN FRANCE POUR LA SURVEILLANCE DES TRAVAILLEURS EXPOSES AUX RAYONNEMENTS IONISANTS.....	79
1. SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION EXTERNE	79
1.1. LES ORGANISMES IMPLIQUES DANS LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION EXTERNE.....	80
1.2. LES DIFFERENTES TECHNIQUES	80
1.3. LE SEUIL D'ENREGISTREMENT DES DOSES EXTERNES PASSIVES	81
2. SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION INTERNE.....	82
2.1. LES ORGANISMES IMPLIQUES DANS LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION INTERNE	83
2.2. LES METHODES DE MESURE DE CONTAMINATION	83
2.2.1. Les examens anthroporadiométriques.....	83
2.2.2. Les analyses radiotoxicologiques	84
2.3. L'ESTIMATION DOSIMETRIQUE	85
2.4. LES SEUILS UTILISES POUR LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION INTERNE	85
ANNEXE II : BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES DES TRAVAILLEURS EN 2006	88

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Tableau 1 - Bilan des doses externes - 2007	19
Tableau 2 - Bilan synthétique des expositions professionnelles - 2007	22
Tableau 3 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires.....	45
Tableau 4 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques fécales.....	46
Tableau 5 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de prélèvements nasaux.....	47
Tableau 6 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques	48
Tableau 7 - Estimations dosimétriques réalisées à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale ou de contrôle).....	49
Tableau 8 - Bilan détaillé des mesures anthroporadiométriques réalisées par EDF pour les travailleurs exposés des centrales nucléaires en 2007	53
Tableau 9 - Principaux radionucléides émetteurs α , γ et β analysés par l'IRSN en 2007	55
Tableau 10 - Evolution du nombre d'examens réalisés dans le cadre de la surveillance de routine entre 2006 et 2007.....	57
Tableau 11 - Evolution du nombre d'examens de routine réalisés dans l'industrie nucléaire (hors CEA) entre 2006 et 2007	57
Tableau 12 - Evolution du nombre d'examens de routine réalisés au CEA entre 2006 et 2007	58
Tableau 13 - Evolution du nombre d'examens de routine réalisés dans le médical et la recherche entre 2006 et 2007.....	58
Tableau 14 - Evénements de radioprotection concernant les travailleurs en 2007	72
Tableau I-1 - Panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2007	82
Tableau I-2 - Panorama des limites de détection observées pour les principales techniques de dosimétrie interne mises en œuvre en France en 2007	87
Tableau II - Bilan des expositions externes des travailleurs en 2006	88
.....	11
Figure 1 - Exemple de présentation graphique des résultats de l'intercomparaison en radiotoxicologie pour le plutonium 238	11
Figure 2 - Fantôme anthropomorphe COU (RDS)	11
Figure 3 - Le système SISERI	12
Figure 4 - Répartition par secteurs d'activité des établissements ayant transmis des données de dosimétrie opérationnelle en 2007	14
Figure 5 - Répartition par secteurs d'activité des valeurs de dosimétrie opérationnelle transmises à SISERI en 2007	14
Figure 6 - Progression du nombre de personnes compétentes en radioprotection (PCR) et de médecins du travail ayant accès à SISERI depuis sa mise en service	15
Figure 7 - Répartition par secteurs d'activité des personnes compétentes en radioprotection (PCR) ayant accès à SISERI en 2007	16
Figure 8 - Bilan synthétique des expositions externes professionnelles en 2007 par domaines d'activité (effectifs surveillés et doses collectives)	22
Figure 9 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives dans le domaine médical et vétérinaire en 2007.....	23
Figure 10 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives dans le domaine de l'industrie nucléaire en 2007.....	25
Figure 11 - Evolution des effectifs surveillés, par domaines d'activité, de 1996 à 2007.....	28
Figure 12 - Evolution des effectifs surveillés et des doses collectives, de 1996 à 2007.....	29
Figure 13 - Evolution des doses collectives, par domaines d'activité, de 1996 à 2007.....	30
Figure 14 - Evolution du nombre de travailleurs surveillés dont la dose efficace annuelle est supérieure à 20 mSv, de 1996 à 2007.....	31
Figure 15 - Evolution du nombre de travailleurs surveillés dont la dose annuelle est supérieure à 20 mSv, de 1996 à 2007, par domaines d'activité	31
Figure 16 - Nombre de travailleurs ayant reçu une dose externe annuelle supérieure à 50 mSv, de 1996 à 2007.....	32

Figure 17 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives pour la dosimétrie des neutrons en 2007.....	33
Figure 18 - Evolution des effectifs surveillés et des doses collectives pour l'exposition spécifique aux neutrons de 2005 à 2007	33
Figure 19 - Répartition des effectifs surveillés et des doses enregistrées pour la dosimétrie « poignet » en 2007.....	36
Figure 20 - Répartition des effectifs surveillés et des doses enregistrées pour la dosimétrie « bague » en 2007	36
Figure 21 - Répartition des doses enregistrées pour la dosimétrie « bague » en 2007 pour les activités médicales et vétérinaires.....	37
Figure 22 - Nombre d'examens suivant le type d'analyses mises en œuvre pour assurer la surveillance de l'exposition interne dans les grands secteurs d'activité en 2007	50
Figure 23 - Répartition des analyses réalisées dans les différentes entreprises du secteur nucléaire ...	51
Figure 24 - Répartition des analyses réalisées dans les établissements du CEA	54
Figure 25 - Répartition des analyses réalisées au profit des personnels du ministère de la défense	56
Figure 26 - Répartition des dossiers reçus selon les catégories d'activités professionnelles concernées par les dispositions de l'arrêté du 25 mai 2005	62
Figure 27 - Distribution des doses efficaces individuelles	62
Figure 28 - Vue générale de l'appareil de tomographie à faisceau conique de type « I-CAT » et positionnement des appareils de mesure	67
Figure 29 - Représentation schématique des zones réglementées obtenues suite à l'étude dosimétrique autour d'une table télécommandée dans une salle de radiodiagnostic	68
Figure 30 - Photographie du convoi.	69
Figure 31 - Photographie d'un emballage combustible de type MX8.	70
Figure 32 - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs	86

PRINCIPALES ABREVIATIONS

ASN : Autorité de Sûreté Nucléaire
ATPu : Atelier de Technologie du Plutonium
CEA : Commissariat à l'Energie Atomique
CIPR : Commission Internationale de Protection Radiologique
CNPE : Centre nucléaire de Production d'Electricite
COFRAC : Comité Français d'Accréditation
DAM : Direction des Applications Militaires du CEA
DGT : Direction Générale du Travail
INES : International Nuclear Event Scale
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
SISERI : Système d'Information de la Surveillance de l'Exposition aux Rayonnements Ionisants
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 pour la santé humaine. 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)], à l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) ainsi qu'au Délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection pour les activités et installations intéressant la défense. L'Institut mène également 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 les principales activités menées au sein de l'institut dans le domaine de la surveillance de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants, ainsi que le bilan des expositions professionnelles établi par l'IRSN pour l'année 2007.

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 servir à la mise en œuvre du 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 dans ce cas 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 à la suite d'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

Les dispositions réglementaires du code du travail prévoient que la surveillance de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants soit assurée par les laboratoires de l'IRSN ou par des organismes agréés par décision de l'Autorité de sûreté nucléaire.

L'arrêté du 21 décembre 2007 modifiant 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*, précise les deux missions importantes confiées à l'IRSN dans le processus d'agrément des laboratoires de surveillance dosimétrique :

- 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 l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) 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 2007, l'IRSN a répondu aux demandes d'avis émanant de trois organismes de dosimétrie externe, sur l'adéquation de leurs matériels et méthodes avec la surveillance individuelle des travailleurs. Sur avis favorable de l'institut, ces organismes ont été agréés ou, selon le cas, ont vu leur agrément renouvelé par la décision n° 2007-DC-0087 du 18 décembre 2007 *portant agrément d'organismes en charge de la surveillance individuelle de l'exposition externe des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants*.

2.2.2. 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 2007, 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 2007 étaient les suivants : ^3H , ^{14}C , $^{228-230}\text{Th}$, $^{234-235-238}\text{U}$, $^{238-239}\text{Pu}$, ^{241}Am et ^{244}Cm .

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 [1] ;
- aux valeurs des activités déterminées par les autres laboratoires participants.

Un exemple de présentation des résultats est donné sur la figure 1.

Les résultats des mesures réalisées par les participants se sont avérés satisfaisants, puisque 93% d'entre eux étaient dans les bornes de tolérance définies par la norme ISO 12790-1 [1]. Ces résultats constituent l'un des éléments sur lesquels s'appuie l'IRSN pour élaborer les avis prévus dans le processus d'agrément (§ 2.2.1). Les résultats d'intercomparaison permettent aux laboratoires de revoir en tant que de besoin leurs protocoles d'analyse.

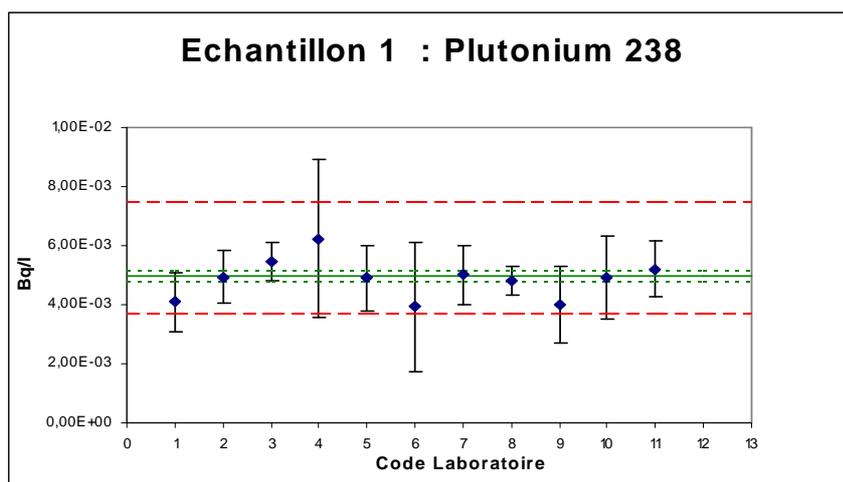


Figure 1 - Exemple de présentation graphique des résultats de l'intercomparaison en radiotoxicologie pour le plutonium 238

2.2.3. Intercomparaison de mesures anthroporadiométriques

En 2007, le laboratoire d'évaluation de la dose interne (LEDI) de l'IRSN a organisé une intercomparaison concernant les mesures anthroporadiométriques thyroïdiennes. Cette intercomparaison a concerné 10 laboratoires français. Deux laboratoires étrangers ont également participé à cette intercomparaison.

Les mesures ont été réalisées à l'aide d'un fantôme anthropomorphe simulant un cou, fabriqué par la société Radiology Support Devices et présenté sur la figure 2. Pour cette intercomparaison, deux conteneurs thyroïdiens ont été utilisés : le premier chargé avec 97,2 Bq d'iode 129, et le second chargé avec 49,7 Bq de baryum 133. Neuf installations ont réalisé la mesure du conteneur d'iode 129, six d'entre elles répondant aux critères de performance. Quinze installations ont réalisé la mesure du conteneur de baryum 133, parmi lesquelles huit répondent aux critères de performance. Les sept installations ne répondant pas à ces critères présentaient soit des problèmes de fantôme ou de positionnement, soit des limites de détection supérieures à la valeur cible.

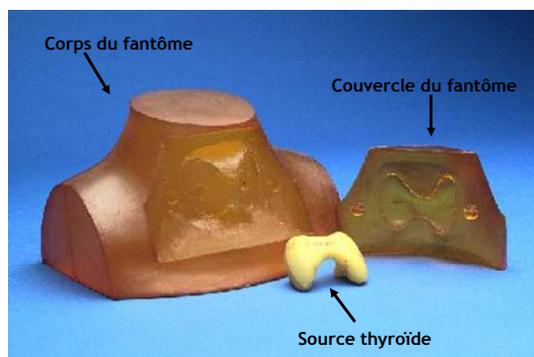


Figure 2 - Fantôme anthropomorphe COU (RDS)

2.3. SYSTEME SISERI

Le système SISERI¹ a été mis en service 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, ces résultats sont mis à disposition des médecins du travail et des personnes compétentes en radioprotection (PCR) via Internet (<http://www.siseri.com>) afin d'optimiser la surveillance médicale et la radioprotection des travailleurs (figure 3).

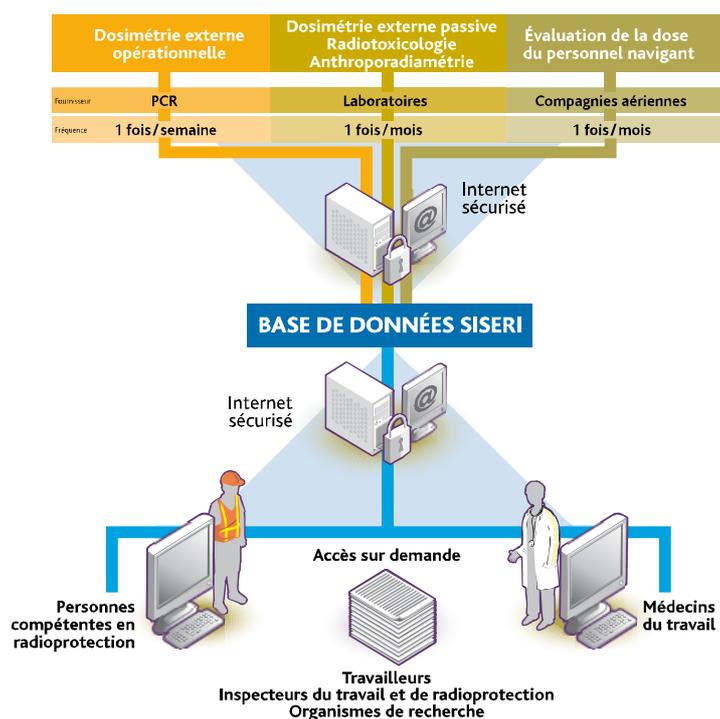


Figure 3 - Le système SISERI

Le système SISERI est conçu pour gérer les données issues de :

- la dosimétrie externe passive (corps entier ou supplémentaire), dont les résultats sont fournis par les laboratoires de surveillance dosimétrique ;
- la dosimétrie externe opérationnelle, dont les résultats sont envoyés directement par les personnes compétentes en radioprotection (PCR) des établissements exploitant des zones contrôlées ;
- la dosimétrie interne : d'une part les résultats d'analyses radiotoxicologiques et d'exams anthroporadiamétriques 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 ;

¹ Système d'information de la surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants

- la dosimétrie du personnel navigant, dont les résultats sont transmis par les compagnies aériennes (www.sievert-system.org).

2.3.1. La transmission des données à SISERI en 2007

Les résultats individuels de la **dosimétrie externe passive** transmis mensuellement à SISERI par les laboratoires agréés ont représenté 2,2 millions de données en 2007, ce qui correspond au volume déjà observé en 2006. Les données sont rapidement intégrées dans la base dès lors qu'elles respectent les formats définis. En 2007, près de 75% des données envoyées par les laboratoires ont été intégrées, contre 54% en 2006. Cette évolution notable est le résultat d'efforts importants de l'IRSN pour faciliter l'intégration des données. Cette progression est également due à l'effort consenti par les 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. Cependant pour certains laboratoires, 20% de leurs données sont encore rejetées par le système car non correctement renseignées. L'effort des laboratoires doit donc être poursuivi car un traitement *a posteriori* par des opérateurs de l'IRSN est nécessaire pour résoudre ces difficultés d'intégration, ce qui limite la mise à disposition des données vers les utilisateurs. Ainsi, les données de dosimétrie externe passive de l'année 2007 non intégrées représentaient encore 15% au 31 décembre 2007 et 6% au 31 août 2008. Il faut préciser que ces taux sont calculés sur les données effectivement transmises à SISERI et ne tiennent pas compte des éventuelles données non transmises par les laboratoires.

S'agissant de la **dosimétrie externe opérationnelle** des travailleurs, 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 1862, fin 2007, soit une augmentation de 44% par rapport au nombre de protocoles signés fin 2006. Sur l'ensemble de l'année 2007, 470 établissements ont effectivement transmis au moins une donnée de dosimétrie opérationnelle. Près de 60% de ces établissements appartiennent au secteur médical, près de 20% au secteur industriel et 7% à celui de l'industrie nucléaire (figure 4).

Le nombre moyen de fichiers reçus mensuellement est d'environ 1200 pour l'année 2007, ce qui confirme l'augmentation observée en 2006. Au total 6,2 millions de valeurs de dose « opérationnelle » ont été enregistrées dans SISERI en 2007. Parmi ces données, près de la moitié proviennent des entreprises de l'industrie nucléaire, 20% du secteur médical et 10 % du secteur industriel (figure 5). 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 puisque 100% des données de dosimétrie opérationnelle sont désormais intégrées dans les trois jours suivant leur transmission à SISERI.

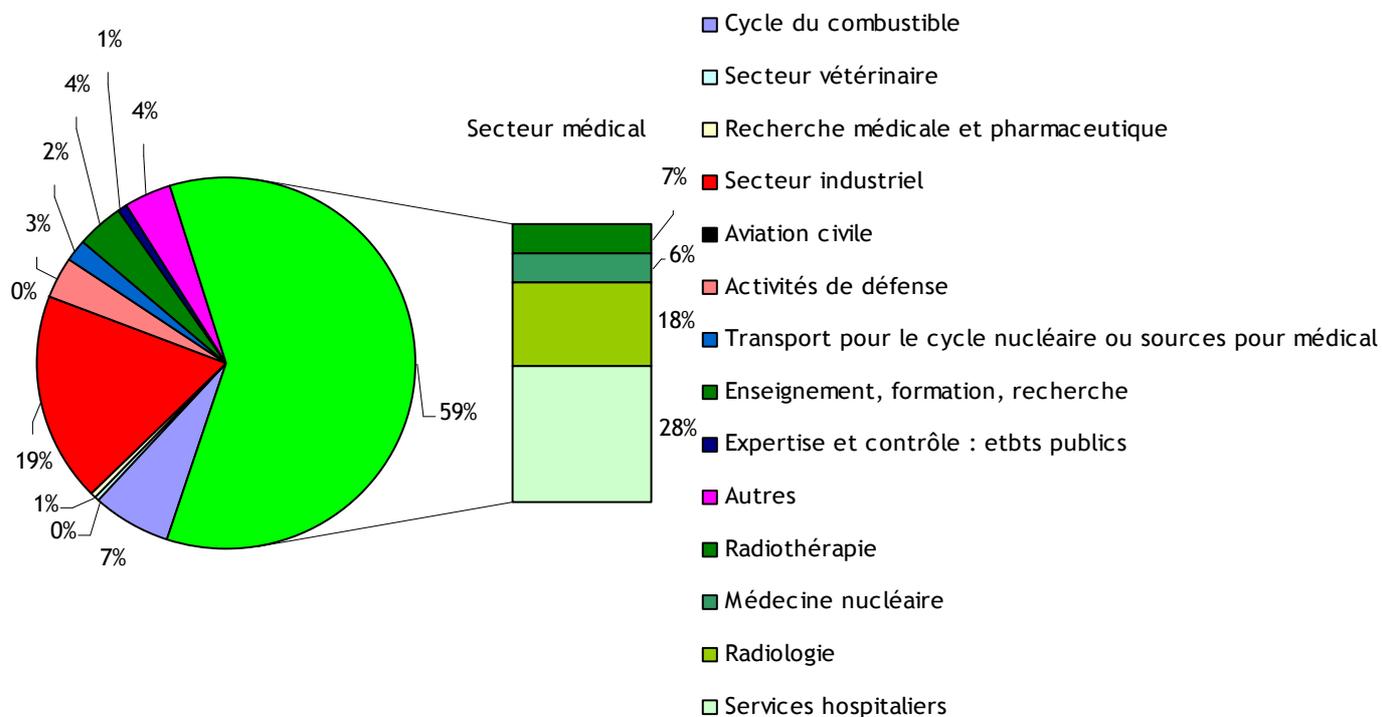


Figure 4 - Répartition par secteurs d'activité des établissements ayant transmis des données de dosimétrie opérationnelle en 2007

Enfin, les modalités de transmission des données de dosimétrie interne ont commencé à être élaborées à la fin de l'année 2007, en relation avec les LABM qui fourniront à SISERI les résultats des mesures d'activité incorporée. La mise en place de cette transmission devrait être effective pour la fin de l'année 2008. Le cas échéant, la dose calculée par le médecin du travail sera également transmise au système.

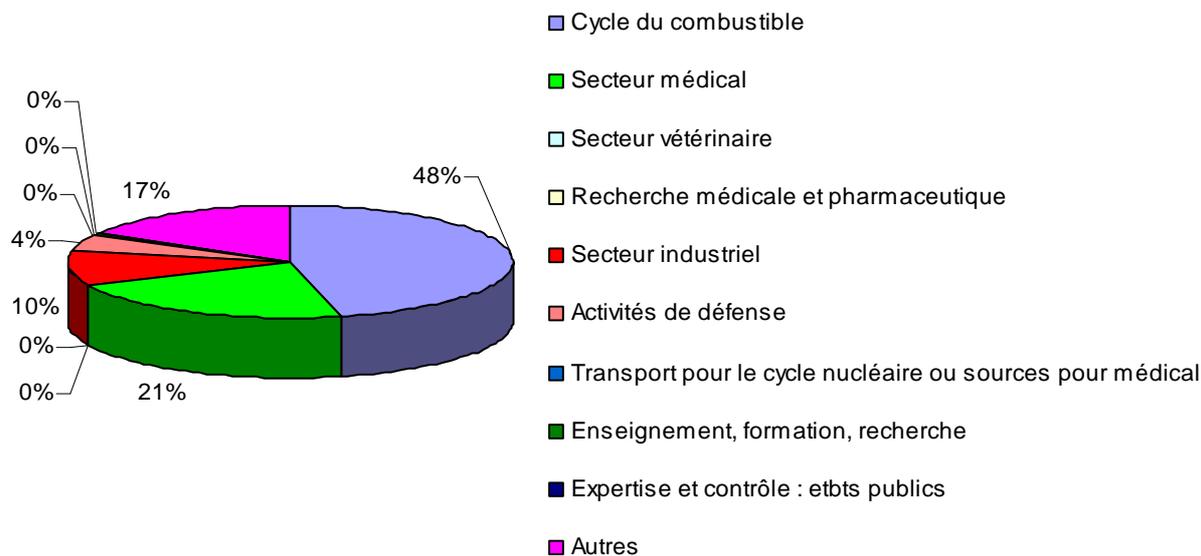


Figure 5 - Répartition par secteurs d'activité des données de dosimétrie opérationnelle transmises à SISERI en 2007

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 6).

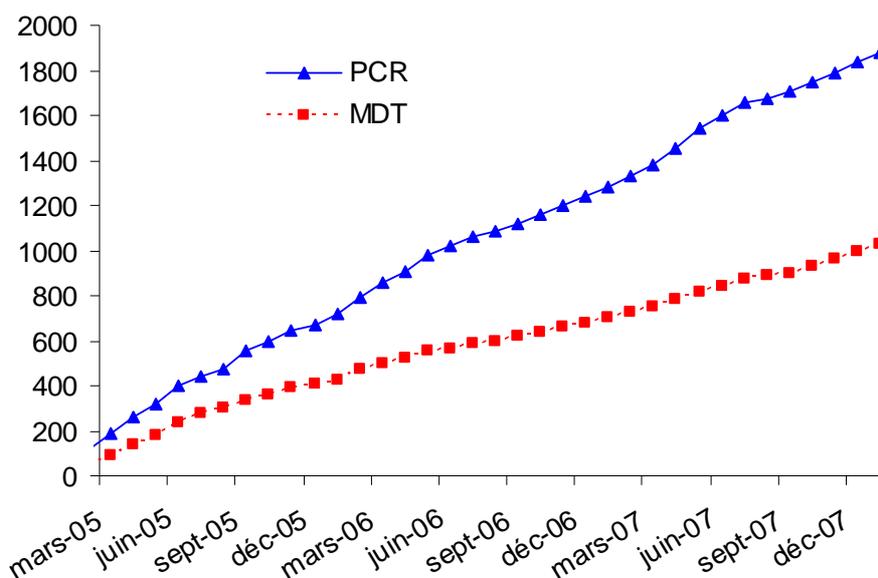


Figure 6 - Progression du nombre de personnes compétentes en radioprotection (PCR) et de médecins du travail ayant accès à SISERI depuis sa mise en service

A la fin de l'année 2007, 995 MDT et 1826 PCR avaient accès à SISERI. Les PCR pouvant accéder à SISERI se répartissaient pour environ un tiers dans le secteur médical et respectivement un quart et 15% pour le secteur industriel et l'industrie nucléaire (figure 7). Cette répartition ne diffère pratiquement pas de celle observée fin 2006.

Une estimation faite fin mai 2008 a montré que 50% des PCR et 15% des MDT ayant un code d'accès à SISERI avaient consulté au moins une fois la base depuis le 1^{er} janvier 2008. Ces chiffres démontrent que le système SISERI est loin d'être utilisé au maximum de son potentiel pour ce qui concerne la consultation de la base de données par les PCR et les MDT.

Une enquête menée par la DGT fin 2007 a confirmé le fait que le système SISERI était encore mal connu des MDT en charge du suivi des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants :

- 50% des MDT théoriquement concernés par SISERI ne connaissent pas le système, la moitié d'entre eux suivant moins de 10 travailleurs exposés ;
- parmi les MDT qui connaissent SISERI, deux tiers n'ont jamais accédé ou cherché à accéder au système.

Cette enquête de la DGT a par ailleurs révélé que, parmi les MDT qui accèdent à SISERI, deux tiers n'ont pas retrouvé tous les travailleurs qu'ils suivent. Ceci est lié au fait que tous ces travailleurs ne

sont pas employés par la même entreprise : les MDT n'ont pas accès aux données concernant les travailleurs d'entreprises qui n'ont pas signé le protocole d'accès à SISERI.

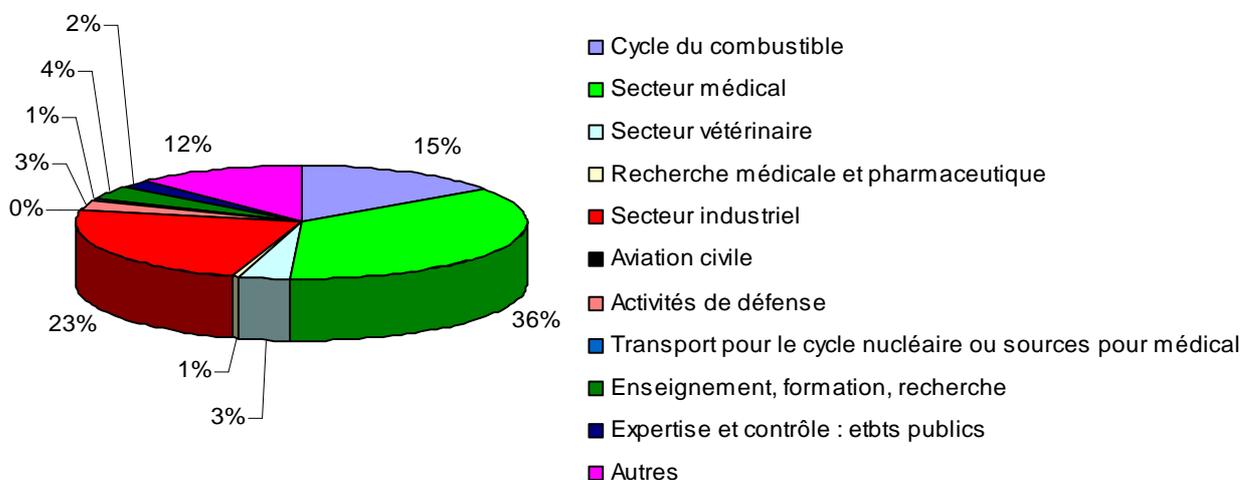


Figure 7 - Répartition par secteurs d'activité des personnes compétentes en radioprotection (PCR) ayant accès à SISERI en 2007

Au cours de l'année 2007, l'amélioration du suivi de la surveillance de l'exposition des travailleurs via le système SISERI s'est poursuivie avec la mise en œuvre de moyens importants pour résoudre les difficultés identifiées au cours des deux premières années de son fonctionnement. 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. Il s'agit des difficultés d'intégration rencontrées lorsque les données transmises ne permettent pas une identification fiable des travailleurs : numéro de RNIPP² mal renseigné, mauvaise identification de l'établissement d'appartenance de l'individu... Les efforts engagés par l'IRSN ont permis de résoudre les points bloquants, ceci de façon durable, et d'augmenter progressivement le taux d'intégration des données. Cependant, une amélioration significative du fonctionnement de SISERI passe non seulement par les solutions techniques mises en œuvre par l'IRSN mais aussi par 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.

² Répertoire national d'identité des personnes physiques

3. BILAN DE LA SURVEILLANCE DES EXPOSITIONS EXTERNES EN 2007

Le bilan de l'exposition externe des travailleurs de l'année 2007, présenté ci-après, a été établi par l'IRSN comme les années précédentes ([2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11]) 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 (LSDOS³, laboratoires du Vésinet et de Fontenay-aux-Roses)
- LCIE-LANDAUER (Fontenay-aux-Roses)
- DOSILAB SARL⁴ (Meaux)
- IPHC⁵ (Strasbourg)
- IPN⁶ (Orsay)
- AREVA NC (laboratoires de La Hague et de Marcoule)
- SPRA⁷ (Clamart).

3.1. METHODOLOGIE ET HYPOTHESES RETENUES

Tout porteur d'au moins un dosimètre entre le 1^{er} janvier et le 31 décembre 2007 est considéré dans l'effectif surveillé par chaque laboratoire.

Le bilan des expositions professionnelles pour l'année 2007 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 (somme des doses individuelles reçues par un groupe de personnes) correspondantes et répartition des travailleurs par classes de doses.

Les données transmises par le SPRA sont intégrées à partir de l'année 2007 au bilan général (Cf. § 3.2) ; elles sont agrégées dans la rubrique « Défense » qui comprend aussi les données relatives aux directions des chantiers navals.

Comme les années précédentes, certaines hypothèses ont été retenues pour l'analyse des données agrégées, fournies par les laboratoires avec des caractéristiques différentes (classes de doses, seuils d'enregistrement des doses, règles d'affectation par secteurs d'activité).

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

- Seuil d'enregistrement⁸ des doses ;

³ Laboratoire de Surveillance DOSimétrique

⁴ ex COMET France

⁵ Institut Pluridisciplinaire Hubert CURIE

⁶ Institut de Physique Nucléaire d'Orsay

⁷ Service de Protection Radiologique des Armées

⁸ 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 de 0,05 à 0,2 mSv selon les dispositifs, pour la mesure de l'exposition « corps entier ».

- 1 mSv/an (limite de dose efficace pour les personnes du public et seuil bas de délimitation de la zone surveillée, art. R4452-1 du Code du travail) ;
- 6 mSv/an (seuil bas de la catégorie A des travailleurs exposés, art. R4453-1 du Code du travail et seuil bas de délimitation de la zone contrôlée, art. R4452-1 du Code du travail) ;
- 15 mSv/an (ancien seuil bas de délimitation de la zone contrôlée) ;
- 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. R4451-12 du Code du travail) ;
- 50 mSv/an (ancienne valeur de la limite réglementaire pour les travailleurs exposés).

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 (contrôles gammagraphiques de soudures) interviennent aussi bien dans le secteur nucléaire que dans des installations de l'industrie classique (les raffineries, le BTP...). Ces entreprises sont le plus souvent répertoriées dans le secteur de l'industrie classique pour l'affectation des résultats de la dosimétrie passive alors qu'une partie importante de la dose collective des travailleurs exposés dans ce secteur est attribuable à des travaux effectués par ces travailleurs dans les installations nucléaires de base (INB) pour le compte des exploitants (Cf. § 3.3.3).

Le bilan réalisé reste une « photographie » des expositions professionnelles au moment de l'envoi des données par chaque laboratoire. Le nombre de cas de dépassements de la limite réglementaire de 20 mSv sur 12 mois glissants peut encore diminuer par la suite, en fonction des résultats d'enquêtes validant ou invalidant les doses mesurées.

Enfin, il faut noter certains autres éléments qui peuvent avoir une incidence sur les bilans réalisés :

- l'abaissement du seuil d'enregistrement des doses prescrit à partir de fin 2007 à 0,1 mSv⁹ et anticipé par les laboratoires (Cf. tableau I-1 à l'annexe I) provoque, par rapport aux années précédentes, une augmentation « artificielle » des effectifs dont la dose n'est pas nulle ;
- l'évolution que connaît l'industrie du film argentique entraîne l'abandon progressif du film dosimètre et des changements de technique de dosimétrie, ce qui peut également conduire à des variations des résultats de la surveillance dosimétrique ;
- la période de port¹⁰ retenue peut également entraîner des variations d'évolution des statistiques dosimétriques annuelles. Ainsi, des valeurs d'équivalents 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.

⁹ 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.

¹⁰ 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.

3.2. RESULTATS GENERAUX

Le tableau 1 présente par secteur d'activité ou par établissement, le nombre de travailleurs concernés pour chacune des classes de dose¹¹ présentées ci-dessus ainsi que la dose collective. A des fins de comparaison, le bilan des doses externes en 2006 est rappelé à l'annexe II.

Tableau 1 - Bilan des doses externes - 2007

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	92 841	77 242	14 415	1 066	90	14	10	4	7,46
2	Radiothérapie	5 408	4 550	714	134	8	1	1	0	0,58
3	Médecine nucléaire	3 229	2 202	644	370	13	0	0	0	1,05
4	Sources non scellées in vitro	4 635	4 513	121	1	0	0	0	0	0,02
5	Médecine dentaire	29 983	27 999	1 889	90	3	2	0	0	0,65
6	Médecine Travail	8 529	6 537	1 880	100	10	1	1	0	0,78
7	Médecine vétérinaire	14 108	12 965	1 098	44	1	0	0	0	0,31
8	Industrie non nucléaire	30 013	18 689	7 835	2 749	725	9	6	0	18,63
9	Recherche	4 607	3 915	658	32	0	0	0	2	0,54
10	Divers	33 940	26 226	6 931	694	79	4	6	0	4,03
11	EDF (agents)	19 161	11 786	5 417	1 926	30	0	2	0	6,00
12	AREVA NC La Hague ^(a)	4 258	3 685	477	91	5	0	0	0	0,42
13	AREVA NC Marcoule ^(b)	3 881	3 119	568	194	0	0	0	0	0,55
14	MELOX (AREVA NC)	916	369	234	233	80	0	0	0	1,40
15	CEA	6 192	5 865	259	68	0	0	0	0	0,22
16	IPN Orsay	2 656	2 464	151	41	0	0	0	0	0,12
17	« Entreprises extérieures » ^(c) (suivi IRSN)	8 463	6 826	833	652	152	0	0	0	3,37
18	« Entreprises extérieures » ^(c) (suivi LCIE)	7 345	2 842	2 520	1 587	392	4	0	0	8,48
19	IPHC (Strasbourg)	671	666	5	0	0	0	0	0	0,00
20	Défense (militaires et DCNS)	10 522	5 893	4 501	128	0	0	0	0	1,34
21	Administrations	1 270	1 080	187	3	0	0	0	0	0,06
22	Divers industrie nucléaire (ANDRA, ...)	921	345	381	174	21	0	0	0	0,77
23	Entreprises de transport	327	243	79	5	0	0	0	0	0,03
	Total	293 876	230 021	51 797	10 382	1 609	35	26 ^(d)	6 ^(d)	56,83
	<i>Rappel des résultats de 2006</i>	278 150	245 523	21 143	9 653	1 754	51	21	5	52,07

(a) 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, ...)

(b) 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 Comurhex (effectif constitué majoritairement d'agents AREVA, mais aussi CEA, IRSN, etc.). Il assure également le suivi de l'établissement Melox distingué dans le bilan.

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

(d) Ces chiffres ne tiennent pas compte des résultats d'enquête envoyés directement à l'IRSN par les médecins du travail.

¹¹ Doses efficaces annuelles dues à l'exposition externe, obtenues comme le cumul des équivalents de dose individuels H_p(10) mesurés par les dosimètres passifs.

Les effectifs des travailleurs surveillés sont en augmentation par rapport à 2006.

L'amélioration de la surveillance dosimétrique des travailleurs dans certains secteurs d'activité participe à cette augmentation générale du nombre de travailleurs surveillés. La médecine dentaire enregistre par exemple plus de 3 000 travailleurs surveillés supplémentaires en 2007.

Le secteur des activités relatives à la défense voit aussi ses effectifs augmenter en 2007 ; à cela, deux raisons :

- l'intégration des données fournies par le SPRA concernant la surveillance dosimétrique des personnels du ministère de la défense (soit un effectif supplémentaire de 8 818 personnes en 2007) ;
- le réajustement par le laboratoire en charge du suivi des travailleurs de DCNS¹² de l'effectif complet du groupe qui était partagé en 2006 sur deux activités : « Défense » et « Administrations » (Cf. tableau de l'annexe II).

Si l'augmentation générale des effectifs est importante en 2007, il faut cependant noter que le nombre de travailleurs surveillés diminue dans certains secteurs d'activité. Ainsi, la diminution amorcée en 2001 du nombre de travailleurs surveillés appartenant à des entreprises intervenant pour le compte d'exploitants nucléaires (« entreprises extérieures ») se prolonge en 2007.

Enfin, il faut noter certains transferts d'effectifs entre les différentes rubriques du bilan.

L'augmentation des effectifs surveillés par les laboratoires d'AREVA est essentiellement due à la reprise initiée en 2006 de l'ensemble des filiales d'AREVA autrefois suivies par d'autres laboratoires.

La diminution d'effectifs constatée dans un certain nombre de secteurs d'activité est à mettre en correspondance avec l'augmentation importante des effectifs de la rubrique « Divers » : les années passées, les effectifs suivis par le laboratoire LCIE-LANDAUER dont le secteur d'activité n'était pas déterminé étaient répartis de façon proportionnelle parmi les différents secteurs d'activité. En 2007, cette réaffectation arbitraire n'a pas été appliquée, faisant apparaître dans cette dernière rubrique l'ensemble des effectifs qui n'ont pu être classés par le laboratoire dans un des secteurs d'activité.

Le nombre de travailleurs surveillés ayant enregistré une dose comprise entre le seuil d'enregistrement du dosimètre et 1 mSv a plus que doublé de 2006 à 2007. Ceci est le résultat direct de l'abaissement du seuil d'enregistrement des doses prescrit à partir de fin 2007 à 0,1 mSv et anticipé par les laboratoires.

Comme en 2006, le secteur d'activité qui emploie le plus grand nombre de travailleurs surveillés au plan dosimétrique en 2007 est celui de la radiologie médicale¹³ (92 841 travailleurs, soit 31,6 % de l'effectif total).

¹² La Direction des constructions navales est devenue le groupe DCNS en avril 2007 après le rachat de la branche navale de Thales. Le groupe DCNS est l'expert européen du secteur naval de défense (bâtiment de surface, sous-marins conventionnels et nucléaires, systèmes de combat, torpilles,...), tant pour l'entretien (maintien en condition opérationnelle) que pour les constructions neuves.

¹³ La radiologie médicale regroupe les techniques de radiologie conventionnelle, de mammographie, de scanographie et de radiologie interventionnelle.

En 2007, tous secteurs d'activité confondus, seulement 4,1 % des travailleurs ont reçu des doses individuelles supérieures à 1 mSv, limite fixée pour le public. A noter également qu'environ 22 %¹⁴ des travailleurs ont reçu au moins une fois une dose supérieure au seuil d'enregistrement.

Comme les années précédentes, des différences importantes sont observées selon les secteurs d'activité. Par exemple, seuls 1,3% des travailleurs surveillés en radiologie médicale ont dépassé 1 mSv tandis que 34,2% des salariés de l'établissement AREVA NC Melox (fabrication de combustible nucléaire) ont dépassé cette valeur. Inversement, la majorité des cas de dépassements de la limite annuelle réglementaire de dose efficace ont été observés dans le secteur de la radiologie médicale.

A noter enfin que près de 5,4 % des travailleurs des « Entreprises extérieures (suivi LCIE) » ont reçu des doses supérieures à 6 mSv au cours de l'année 2007 alors que, tous secteurs d'activité confondus, ils sont moins de 1 % à être dans ce cas. Ces entreprises interviennent globalement en sous-traitance lors des arrêts de tranches des centrales. Les travaux réalisés par les travailleurs concernés (notamment les calorifugeurs, les monteurs d'échafaudages, ...) peuvent s'accompagner de doses reçues relativement importantes.

3.3. ANALYSES PAR DOMAINES D'ACTIVITE

Les données figurant au tableau 1 ont été regroupées par domaines d'activité professionnelle afin de donner une vision plus synthétique des effectifs concernés et des doses collectives (cf. tableau 2). A partir des regroupements d'activités professionnelles effectués dans le tableau 2, il est possible de considérer quatre grands domaines regroupant respectivement les activités médicales et vétérinaires, les activités de recherche et d'expertise, les activités réalisées dans le cadre de l'industrie nucléaire et celles réalisées dans le cadre de l'industrie non nucléaire.

Comme évoqué précédemment, des inégalités importantes dans la répartition des doses sont observées selon les domaines d'activité. Bien que la majorité des effectifs surveillés soit employée dans le domaine des activités médicales et vétérinaires, ce domaine représente à peine 20 % de la dose collective totale.

L'industrie nucléaire représente le cinquième de l'effectif total mais la moitié des effectifs du secteur industriel et près de 40 % de la dose collective totale. La recherche contribue peu à la dose collective et l'industrie « classique » représente également environ 40 % de la dose collective totale avec près de 22,7 homme.Sv en 2007.

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 (de l'ordre de 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.

¹⁴ En prenant en compte le seuil de 0,05 mSv pour les dosimètres OSL de LCIE-LANDAUER, hormis ceux pour le suivi « EDF » dont le seuil est à 0,1 mSv).

Tableau 2 - Bilan synthétique des expositions professionnelles - 2007

Rubriques ^a	Secteur d'activité ou établissement	Travailleurs surveillés	Dose collective ^(b) (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne ^(b,c) (mSv)	Effectifs dont la dose individuelle annuelle est supérieure à 20 mSv ^(b)	Répartition des effectifs par Intervalles de dose ^(b)				
						< 1 mSv	1 à 6 mSv	6 à 20 mSv	20 à 50 mSv ^(b)	> 50 mSv ^(b)
1,2,3,4,5,6,7	Activités médicales et vétérinaires	158 733	10,86	0,07	16	156 769	1 805	143	12	4
8,10	Industrie (effectif classé "non nucléaire"), divers	63 953	22,66	0,35	12	59 681	3 443	817	12	0
9,15,16,19	Recherche, IPN, IPHC, CEA	14 126	0,88	0,06	2	13 983	141	0	0	2
11,12,13,14,17 18,20,21,22,23	Industrie nucléaire	57 064	22,43	0,39	2	51 385	4 993	684	2	0
	Total	293 876	56,83	0,19	32	281 818	10 382	1 644	26	6

^a Cf. rubriques du tableau 1

^b Ces chiffres ne tiennent pas compte des résultats d'enquête envoyés directement à l'IRSN par les médecins du travail (Cf. §3.4).

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

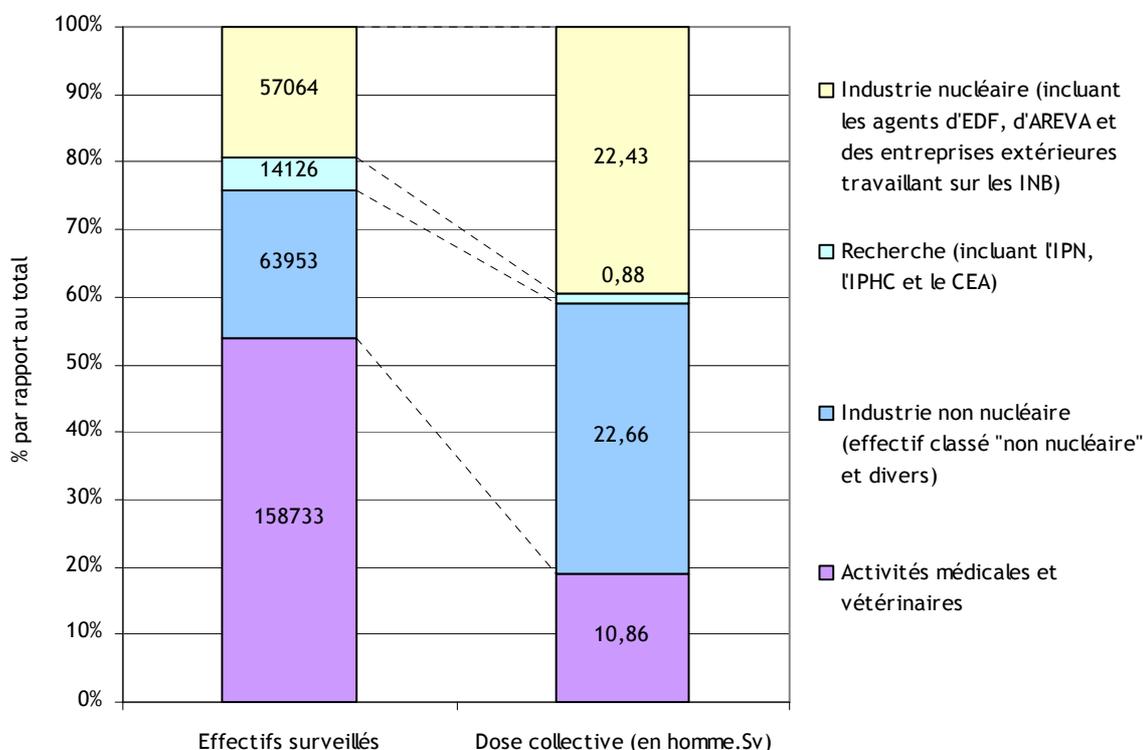


Figure 8 - Bilan synthétique des expositions externes professionnelles en 2007 par domaines d'activité (effectifs surveillés et doses collectives)

3.3.1. Activités médicales et vétérinaires

La majorité des travailleurs surveillés est employée dans le domaine médical et vétérinaire, avec 158 733 travailleurs (plus de 54 % des effectifs surveillés).

Dans ce domaine, l'exposition professionnelle résulte essentiellement 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 périodes relativement courtes (quelques heures à quelques jours) pouvant conduire à une exposition externe (et parfois interne) des professionnels de santé lors des différentes étapes de leur administration aux patients.

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

La figure 9 donne la répartition des effectifs surveillés et des doses collectives par secteurs d'activité.

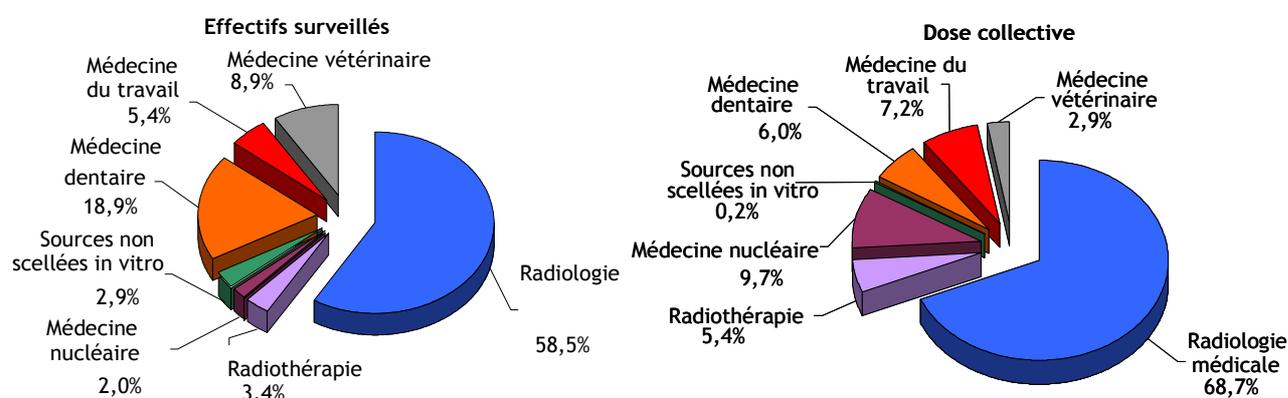


Figure 9 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives dans le domaine médical et vétérinaire en 2007

Ces chiffres doivent cependant être considérés avec prudence. En effet, 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).

3.3.2. Activités de recherche

Sont ici regroupés les quatre secteurs d'activité « Recherche », « CEA », « IPN » et « IPHC ». Les travaux de recherche du CEA sont en majorité effectués pour l'industrie nucléaire, cependant une

partie d'entre eux concerne d'autres domaines : sciences du vivant, étude des matériaux, applications médicales, etc. Relèvent aussi de la « Recherche » les travaux effectués au sein de laboratoires pharmaceutiques, de centres universitaires, de laboratoires des organismes nationaux de recherche (INSERM, INRA, CNRS,...).

Les 14 126 travailleurs surveillés dans le domaine de la recherche en 2007 totalisent une dose collective de 0,88 homme.Sv. Les doses individuelles annuelles sont très faibles dans ce domaine.

En 2007, l'effectif des agents du CEA surveillés par le laboratoire LSDOS de l'IRSN s'élève à 6 192 travailleurs. La dose collective correspondante est de 0,22 homme.Sv. 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 DAM¹⁵ d'Ile de France, du CESTA, de Valduc et du Ripault. En 2006, la surveillance dosimétrique du CFCa¹⁶ (personnel AREVA NC¹⁷, auparavant inclus dans le périmètre « CEA ») a été transférée au laboratoire AREVA de la Hague (en 2007, cela représente 154 travailleurs surveillés pour une dose collective de 0,22 homme.Sv, soit l'équivalent de la dose collective du libellé « CEA »).

L'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay (2 656 travailleurs surveillés) et l'Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien¹⁸ (671 travailleurs surveillés) assurent le suivi de la dosimétrie de leurs personnels respectifs. Leurs effectifs surveillés présentent des doses faibles ; seuls 41 travailleurs ont reçu des doses supérieures à 1 mSv à l'IPN et aucun à l'IPHC. Aucun des travailleurs surveillés n'a reçu de dose supérieure à 5 mSv.

3.3.3. Industrie nucléaire

L'industrie nucléaire, dont le périmètre est défini d'après les libellés d'affectation fournis par les laboratoires de surveillance dosimétrique, regroupe 57 064 travailleurs enregistrant une dose collective de 22,4 homme.Sv¹⁹. La figure 10 donne la répartition des effectifs surveillés et des doses collectives par secteurs d'activité.

Comme précisé au § 3.1, les doses enregistrées par le personnel de certaines entreprises et attribuables à des travaux effectués dans les installations nucléaires de base (INB) sont en fait comptabilisées dans le secteur de l'industrie classique.

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

¹⁵ Direction des Applications Militaires

¹⁶ 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.

¹⁷ A partir du 1^{er} mars 2006, COGEMA adopte le nom commercial AREVA NC.

¹⁸ Créé le 1^{er} 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-Cronenbourg 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).

¹⁹ Erratum : l'unité était erronée dans le rapport de l'année précédente (H.mSv)

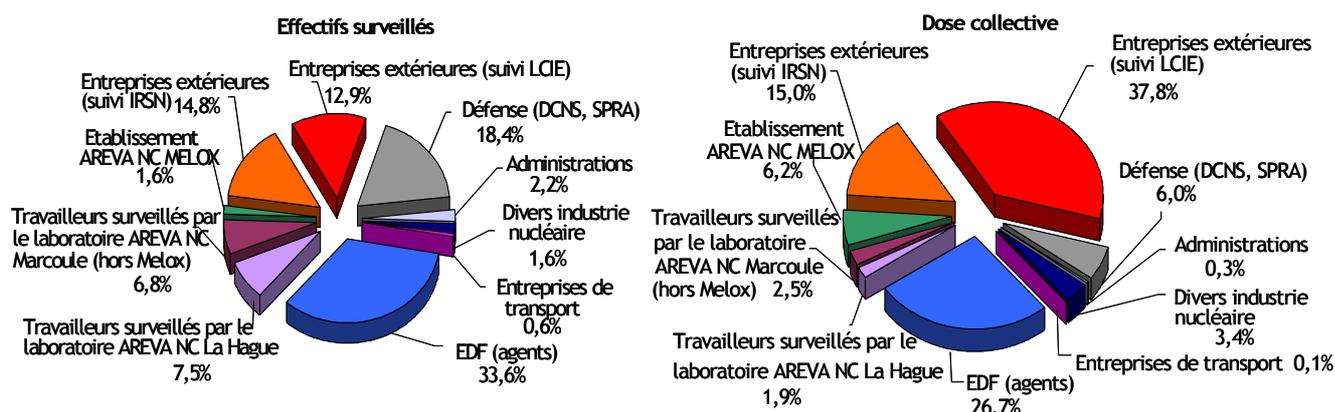


Figure 10 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives dans le domaine de l'industrie nucléaire en 2007

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 des unités AREVA NC Cadarache (CFCa), AREVA NP Romans (production d'assemblages de combustibles, FBFC Romans²⁰), AREVA NC Rokkasho²¹ et de quelques filiales. Sur les 3 058 travailleurs surveillés de l'établissement de La Hague, la dose maximale annuelle enregistrée est de 3,2 mSv en 2007. La dose collective de ces travailleurs est faible (0,1 homme.Sv). Les unités extérieures au site, dont la surveillance est effectuée par le laboratoire d'AREVA NC La Hague, représentent un effectif de 1 200 travailleurs surveillés, pour une dose collective de 0,32 homme.Sv. Le CFCa (AREVA NC Cadarache) ne représente que 5 % de l'ensemble des effectifs surveillés par le laboratoire d'AREVA NC La Hague mais contribue pour plus de 52 % à la dose collective de ceux-ci. Le CFCa regroupe également 5 travailleurs dont la dose est supérieure à 6 mSv (la dose individuelle maximale est de 7,84 mSv).

Le laboratoire d'AREVA NC Marcoule assure la surveillance dosimétrique des personnels des établissements de Marcoule²², Miramas et Pierrelatte, des établissements Comurhex et SICN, ainsi que de l'usine Melox (effectif constitué majoritairement d'agents AREVA, mais aussi CEA, IRSN, ...). Sur les 4 797 travailleurs surveillés, seuls des travailleurs de Melox enregistrent des doses annuelles supérieures à 6 mSv (en l'occurrence 80 travailleurs) ; aucune dose ne dépasse 9 mSv. La dose collective est égale à 1,95 homme.Sv, l'établissement de Melox y contribuant à près de 72 %. 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.

Les résultats du suivi par les laboratoires d'AREVA présentés ici ne concernent que le territoire français. La dose collective totale des salariés du groupe AREVA et des entreprises extérieures est de 30,4 homme.Sv sur la base de la dosimétrie active [12] (la dose collective des salariés des entreprises extérieures représente le quart de celle des salariés d'AREVA). Sur la base de cette dosimétrie

²⁰ Franco-Belge de Fabrication de Combustible, filiale d'AREVA NP

²¹ 24 travailleurs de l'établissement Rokkasho au Japon sont suivis en 2007 par le laboratoire AREVA de la Hague.

²² 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.

active, 13 salariés du groupe ont enregistré une dose supérieure à 20 mSv en 2007 essentiellement « dans des pays où la limite réglementaire annuelle est de 50 mSv ».

La dose collective à EDF s'établit à 6 homme.Sv pour 19 161 agents surveillés, en légère hausse par rapport à 2006. Cette dose collective ne comprend pas la composante « neutrons », propre à certaines activités spécifiques (§ 3.6.1).

Le parc nucléaire d'EDF compte 34 tranches (ou réacteurs) de 900 MWe²³, 20 tranches de 1 300 MWe²⁴ et 4 tranches N4 de 14 150 MWe. La plus ancienne de ces tranches a été couplée au réseau en avril 1977. Un réacteur est en phase de conception (EPR site de Flamanville) et neuf réacteurs s'inscrivent dans un programme de déconstruction (EL4D, Bugey 1, Chinon A1, Chinon A2D, Chinon A3D, Chooz A, Saint Laurent A1, Saint Laurent A2 et Superphénix).

Il faut noter que, sur les réacteurs de puissance, les doses sont majoritairement enregistrées par les entreprises prestataires lors des arrêts de tranches [5].

Les entreprises extérieures intervenant pour le compte d'exploitants nucléaires, telles qu'identifiées par les laboratoires de LCIE-LANDAUER et de l'IRSN, totalisent 15 808 travailleurs surveillés avec une dose collective de 11,85 homme.Sv. La dose individuelle annuelle maximale est de 17,8 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 contrôles techniques, ainsi que des entreprises de gestion des déchets (ANDRA²⁵), ... Ces différentes activités ont été distinguées de rubriques plus générales (« entreprises extérieures », « divers », « autres ») à partir de 2005 par le laboratoire de l'IRSN en charge de leur surveillance dosimétrique. En 2007, augmentées du personnel de la défense²⁶ suivi par le SPRA, elles rassemblent 13 040 travailleurs surveillés pour une dose collective de 2,21 homme.Sv.

3.3.4. Industrie non nucléaire

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

Les 63 953 travailleurs surveillés dans ce domaine en 2007 totalisent une dose collective de 22,7 homme.Sv. Pour 4 travailleurs, la dose individuelle annuelle est supérieure à 20 mSv mais parmi ceux-ci, aucun n'a reçu 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. Le bilan s'est même

²³ 6 CP0 , 18 CP1 et 10 CP2 (CP : Contrat de programme, il s'agit à chaque fois d'une série de tranches de 900 MW semblables, le palier CP0 correspondant à la présérie et donc aux plus anciens Réacteurs à Eau sous Pression encore en activité).

²⁴ 8 P4 et 12 P'4 (il s'agit à chaque fois d'une série de tranches de 1 300 MW semblables, le palier P'4 présentant une optimisation des bâtiments par rapport au palier P4).

²⁵ Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs

²⁶ Les données fournies englobent également le bilan du personnel hospitalier du Service de santé des armées (9 Hôpitaux d'Instruction des Armées, HIA, soit 974 travailleurs surveillés totalisant une dose collective de 0,22 homme.Sv en 2006) qui n'est pas distingué du reste du personnel de la défense en 2007.

dégradé en 2007 avec l'augmentation significative du nombre de travailleurs dans des rubriques telles que « non classé », « divers »²⁷, ...

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 nucléaires (cf. § 3.1). Ainsi, l'ordre de grandeur de la dose collective issue de la dosimétrie active pour tous les agents (agents EDF et prestataires) qui sont intervenus sur les 58 tranches du parc EDF se situe autour de 36 homme.Sv. Il n'est pas possible de retrouver la valeur correspondante à partir de la dosimétrie passive sur la base des libellés d'affectation professionnelle actuels.

3.4. DEPASSEMENTS DE LA LIMITE ANNUELLE REGLEMENTAIRE DE 20 MSV

Des valeurs limites d'exposition sont réglementairement fixées par le code du travail. Ainsi, la somme des doses efficaces reçues par exposition externe et interne ne doit pas dépasser 20 mSv sur douze mois consécutifs. Sur ce même laps de temps, des limites de doses équivalentes sont également fixées pour différentes parties du corps : l'exposition des extrémités (mains, avant-bras, pieds et chevilles) ne doit pas dépasser 500 mSv, celle de la peau également 500 mSv pour toute surface de 1 cm² et celle du cristallin 150 mSv.

Les laboratoires en charge de la surveillance de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants doivent informer immédiatement le médecin du travail et l'employeur de tout dépassement de l'une de ces limites d'exposition. Conformément à l'arrêté du 30 décembre 2004, relatif aux informations individuelles de dosimétrie des travailleurs exposés, le médecin du travail diligente une enquête en cas de résultat dosimétrique jugé anormal et donc *a fortiori* en situation de dépassement de limite réglementaire de dose mis en évidence par ces laboratoires. Cette enquête peut conduire *in fine* à une modification, voire une annulation de la dose attribuée au travailleur.

Afin que ces modifications puissent être prises en compte dans la base SISERI, une procédure permettant le retour sans délai des conclusions d'enquête vers l'IRSN a été mise en place après consultation de la Direction Générale du Travail. Cette organisation permet de consolider les données de la base SISERI et d'avoir un suivi de chacun des signalements de dépassement de limite réglementaire de dose. L'IRSN peut ainsi prendre directement contact avec le médecin du travail en charge du dossier, suivre l'enquête, en enregistrer les conclusions et, le cas échéant, proposer une assistance et des conseils pour sa réalisation.

Pour l'année 2007, l'IRSN a recensé 72 alertes de dépassement de limite réglementaire de dose. La plupart ont été transmises par les laboratoires et quelques unes ont été mises en évidence par interrogation de la base de données SISERI. A la rédaction de ce rapport, les dépassements de limite réglementaire confirmés par le MDT étaient au nombre de 15 ; 8 signalements supplémentaires, restés sans retour du médecin du travail, ont été considérés comme des dépassements avérés. Le nombre des dépassements de limite réglementaire pour l'année 2007 est donc égal à 23.

²⁷ Ces rubriques sont traditionnellement « rattachées » arbitrairement à l'industrie « non nucléaire » dans le cadre du bilan annuel des expositions professionnelles.

Parmi ces 23 dépassements, 22 cas concernent la limite de dose efficace. Ils sont très majoritairement observés dans le secteur médical (18 cas sur 22), les autres étant enregistrés dans le secteur industriel non nucléaire. Ils se répartissent en 9 dépassements « ponctuels », *i.e.* observés sur une seule période de port au cours de l'année, et 13 dépassements obtenus par le cumul de doses de plusieurs périodes de port de l'année 2007. Le cas unique de dépassement de la limite de dose annuelle aux extrémités est précisé au paragraphe 3.6.2.

3.5. EVOLUTIONS PAR RAPPORT AUX ANNEES PRECEDENTES (PERIODE 1996 - 2007)

Les résultats du bilan de l'année 2007 sont analysés ci-après par comparaison avec les données statistiques issues des bilans établis antérieurement ([2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20]).

3.5.1. Evolution des effectifs surveillés par grands domaines d'activité de 1996 à 2007

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

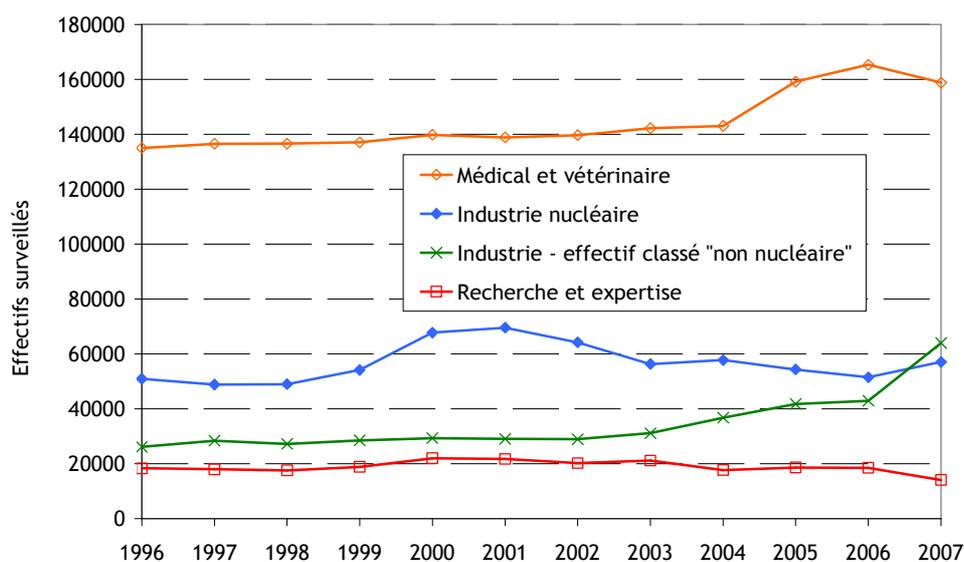


Figure 11 - Evolution des effectifs surveillés, par grands domaines d'activité, de 1996 à 2007

Entre 1996 et 2007, l'effectif total surveillé est passé de 230 385 à 293 876 travailleurs. Cette évolution est à la fois le résultat d'une croissance des activités mettant en œuvre des sources de rayonnements ionisants et celui d'une meilleure surveillance des travailleurs professionnellement exposés. Par exemple, la hausse régulière du nombre de personnes surveillées au cours des dernières années dans les secteurs de la médecine vétérinaire et 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 de nouveaux laboratoires dans le bilan (DOSILAB - COMET France l'année 2005 avec plus de 5 000 travailleurs surveillés en supplément et le SPRA en 2007 avec plus de 8 000 travailleurs surveillés) contribue à l'augmentation des effectifs.

On note que le nombre de personnes surveillées dans l'industrie nucléaire a augmenté jusqu'en 2001 et est depuis en diminution (cette baisse est sensible pour les « entreprises extérieures » même si globalement en 2007 la tendance est à nouveau à la hausse). Plusieurs facteurs ont pu contribuer à l'augmentation des effectifs surveillés dans l'industrie nucléaire de 1998 à 2001 dont les modifications des prescriptions réglementaires²⁸. Il est plus difficile d'expliquer la diminution des effectifs depuis 2001 qui peut 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.

3.5.2. Evolution des doses collectives de 1996 à 2007

L'évolution de la dose collective de l'ensemble des travailleurs surveillés apparaît sur la figure 12, parallèlement à l'évolution du nombre de ces travailleurs, sur la période 1996 - 2007.

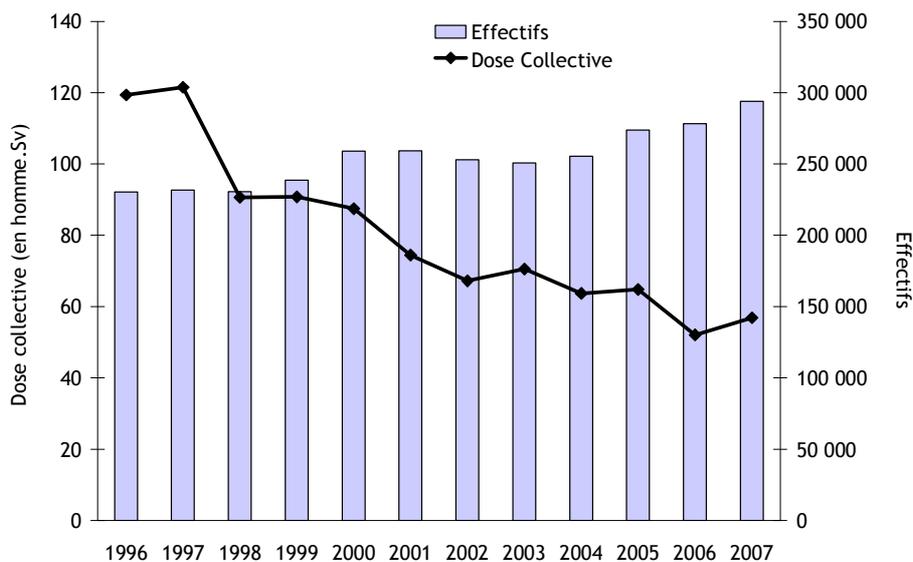


Figure 12 - Evolution des effectifs surveillés et des doses collectives, de 1996 à 2007

La dose collective baisse régulièrement avec toutefois de très légères remontées au cours des années 2003, 2005 et 2007. Cette évolution à la baisse se réalise alors même que le nombre de travailleurs surveillés a plutôt tendance à augmenter. Entre 2006 et 2007, une hausse de 5,7% des effectifs s'accompagne d'une augmentation de 9% de la dose collective associée. Cette augmentation est principalement due à la diminution des seuils d'enregistrement des doses.

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

²⁸ 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).

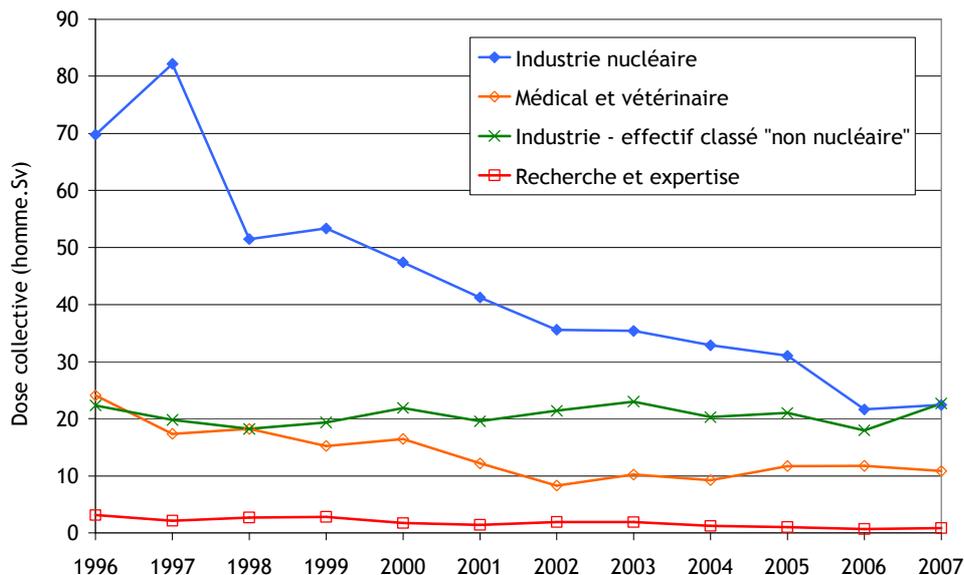


Figure 13 - Evolution des doses collectives, par domaines d'activité, de 1996 à 2007

L'industrie nucléaire, où ont été consentis des efforts importants pour développer la radioprotection, voit se confirmer la baisse importante observée en 2006. 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. Dans le domaine de l'industrie non nucléaire, la dose collective est relativement stable depuis 1996.

3.5.3. Evolution du nombre de travailleurs ayant reçu une dose externe annuelle supérieure à 20 mSv, de 1996 à 2007

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

La figure 14 présente l'évolution de 1996 à 2007 du nombre de travailleurs surveillés dont la dose annuelle est supérieure à 20 mSv. 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. Entre 2000 et 2004, la situation est restée relativement stable, les variations annuelles relevant de fluctuations statistiques. Une évolution plus significative à la baisse est observée depuis 2004.

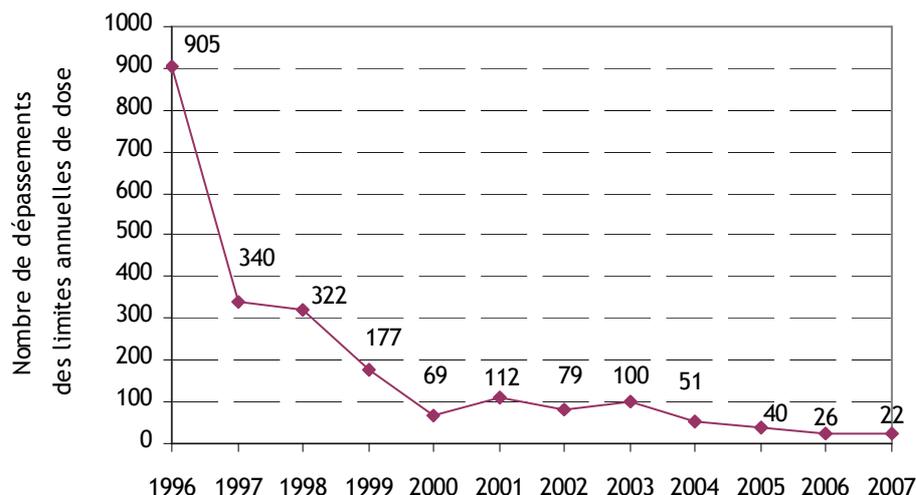


Figure 14 - Evolution du nombre de travailleurs surveillés dont la dose efficace annuelle est supérieure à 20 mSv, de 1996 à 2007

Trois secteurs d'activité présentent de façon récurrente des doses supérieures à 20 mSv par an (figure 15) : le secteur médical et vétérinaire, 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...).

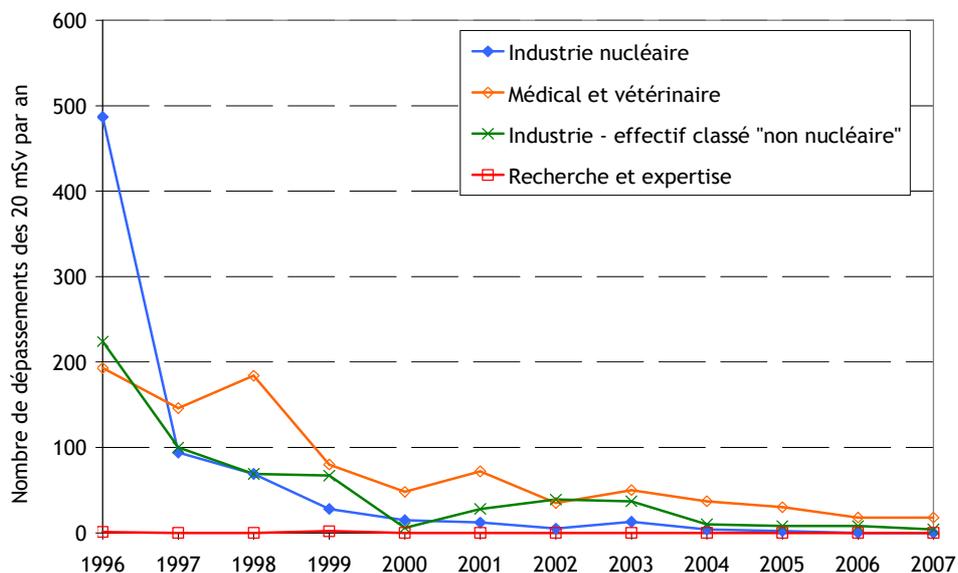


Figure 15 - Evolution du nombre de travailleurs surveillés dont la dose annuelle est supérieure à 20 mSv, de 1996 à 2007, par domaines d'activité

Le nombre de cas de dépassement des 20 mSv a fortement diminué dans l'industrie nucléaire²⁹ (487 en 1996, aucun en 2007) mais aussi dans l'industrie non nucléaire (222 en 1996, 4 en 2007).

Une baisse régulière est également observée dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (193 en 1996, 18 en 2007) ; ce domaine est depuis 1997 celui qui concentre les effectifs les plus fortement exposés.

²⁹ Industrie nucléaire : centrales nucléaires - agents EDF, cycle du combustible - agents AREVA et entreprises extérieures.

3.5.4. Evolution du nombre de travailleurs ayant reçu une dose externe annuelle supérieure à 50 mSv de 1996 à 2007

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 1996-2007. En 1996, 63 travailleurs surveillés avaient reçu une dose par exposition externe supérieure à 50 mSv. Ce nombre a été divisé par 30 entre 1996 et 2007, et par 9 depuis le passage en 2003 de la limite réglementaire à 20 mSv sur 12 mois.

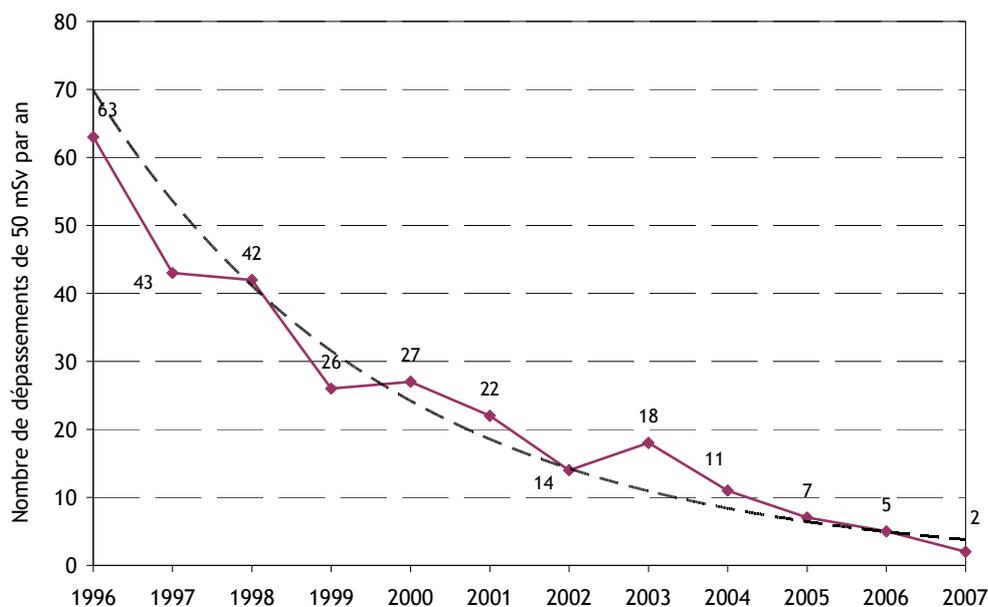


Figure 16 - Nombre de travailleurs ayant reçu une dose externe annuelle supérieure à 50 mSv, de 1996 à 2007

3.6. DOSIMETRIES SUPPLEMENTAIRES

3.6.1. Dosimétrie des neutrons (corps entier)

En 2007, la dosimétrie des neutrons (figure 17) a concerné 30 102 travailleurs (pour 25 861 travailleurs en 2006). La dose collective « neutrons » est de 1,15 homme.Sv (pour 1,16 homme.Sv en 2006), les activités réalisées dans l'établissement de Melox contribuant pour 62 % à cette dose.

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

Il n'y a pas de dépassement de limites réglementaires par les doses « neutrons » signalé (corps entier ou extrémités).

Effectif surveillé "neutrons" en 2007 : 30 102 travailleurs

Dose collective "neutrons" en 2007 : 1,15 homme.Sv

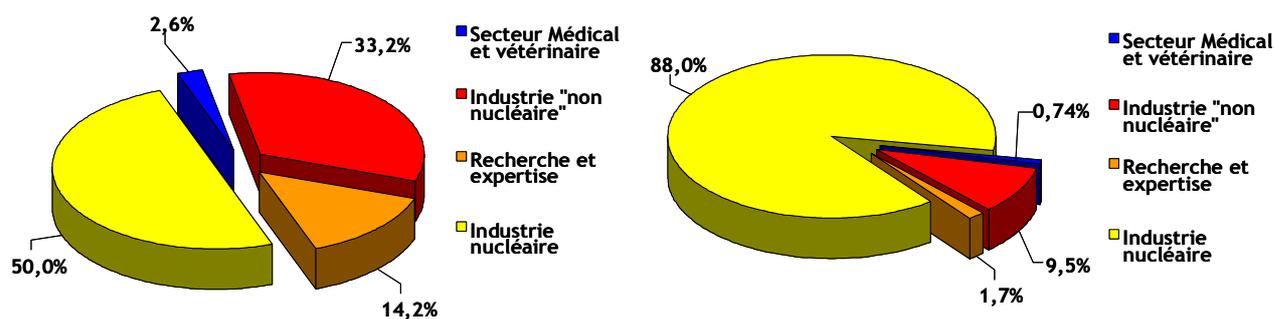


Figure 17 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives pour la dosimétrie des neutrons en 2007

La dose collective pour l'exposition spécifique aux neutrons diminue légèrement ces dernières années alors que les effectifs faisant l'objet d'une dosimétrie « neutrons » sont en augmentation (figure 18).

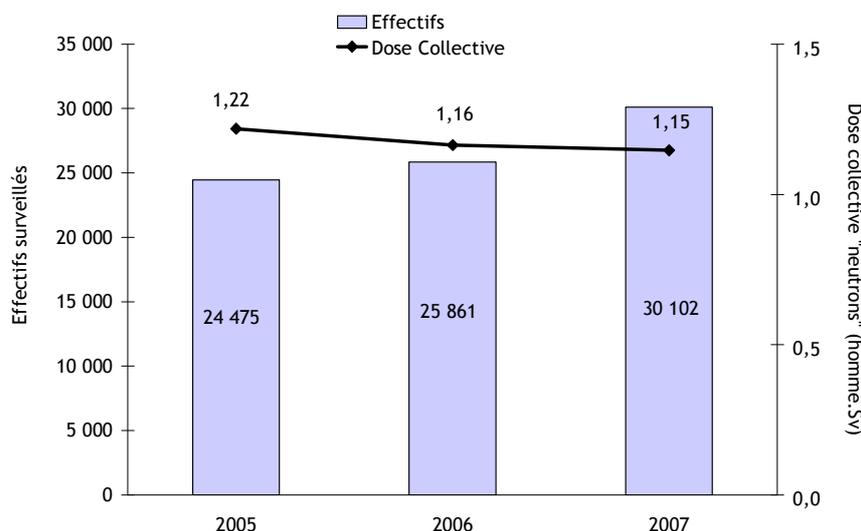


Figure 18 - Evolution des effectifs surveillés et des doses collectives pour l'exposition spécifique aux neutrons de 2005 à 2007

Les informations transmises concernant la dosimétrie des neutrons en 2007 sont regroupées ci-après par laboratoire de surveillance.

- o Laboratoire de l'IPN d'Orsay

La plupart des laboratoires dont l'IPN assure la surveillance sont des unités propres ou associées au CNRS. Le risque d'exposition externe aux neutrons est essentiellement présent auprès des accélérateurs 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 2 656 travailleurs surveillés par l'IPN d'Orsay, 730 disposent d'une dosimétrie spécifique aux neutrons. Il est à noter 11 cas seulement d'exposition mixte photons et neutrons enregistrés par l'IPN en 2007.

Parmi les 730 travailleurs surveillés pour leur exposition aux neutrons, 37 enregistrent une dose annuelle « neutrons » comprise entre le seuil d'enregistrement et 1,25 mSv (dose individuelle maximale due à la composante « neutrons » en 2007).

La dose collective due aux neutrons s'élève à 10,15 homme.mSv pour 2007, soit 8,5 % de la dose collective totale (118,8 homme.mSv).

- Laboratoire AREVA NC La Hague

Les 4 258 travailleurs surveillés par le laboratoire AREVA NC La Hague ont tous une dosimétrie « neutrons » au niveau de la poitrine. En 2007, 573 d'entre eux ont reçu une dose totale (neutrons + photons) supérieure au seuil d'enregistrement (dont 263 travailleurs de l'établissement de la Hague) ; parmi eux, 111 ont reçu une dose « neutrons » supérieure au seuil d'enregistrement (dont 35 travailleurs de l'établissement de la Hague).

La dose collective totale (neutrons + photons) est de 422,25 homme.mSv en 2007. La contribution de la composante neutronique à la dose collective est de 124,6 homme.mSv, soit environ 29 % de la dose collective totale.

La dose individuelle maximale due à la composante « neutrons » est de 5 mSv en 2007.

- Laboratoire AREVA NC Marcoule

Les 4 797 travailleurs dont la surveillance est assurée par le laboratoire AREVA NC Marcoule font également l'objet d'une dosimétrie « neutrons » au niveau de la poitrine. Les établissements de Marcoule, de Pierrelatte, de Comurhex et de Melox enregistrent des doses neutrons supérieures au seuil d'enregistrement (11 travailleurs pour l'établissement de Marcoule, 7 pour l'établissement de Pierrelatte, 41 pour les établissements de Comhurex et 370 pour l'établissement de Melox).

La composante neutronique représente environ 1,5 % de la dose collective des établissements de Marcoule et de Pierrelatte et 2 % de celle des établissements Comurhex, mais 51 % de celle de l'établissement de Melox ; ceci s'explique notamment 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 5,9 mSv en 2007 (sur l'établissement de Melox).

- Laboratoire LCIE-LANDAUER

7 228 travailleurs ont fait l'objet d'une dosimétrie « neutrons » en 2007 (ils étaient 4 511 en 2006, soit une augmentation des effectifs surveillés de près de 38 %, tout comme l'année précédente). La dose collective correspondante s'élève à 85 homme.mSv (pour 72,5 homme.mSv en 2006) et la dose individuelle maximale de 8,3 mSv est reçue dans l'industrie (« divers industrie »).

Paradoxalement, le laboratoire identifie l'effectif « EDF » (agents EDF) pour ce qui concerne la dosimétrie corps entier X, B et γ , mais pas pour la dosimétrie des neutrons.

- Laboratoire de l'IRSN

11 530 travailleurs ont fait l'objet d'une dosimétrie « neutrons » en 2007 (ils étaient 12 828 en 2006). La dose collective correspondante est de 82,5 homme.mSv (pour 172 homme.mSv en 2006, soit une diminution de la dose collective de 52 %, tout comme l'année précédente).

La dose individuelle maximale « neutrons » est comprise entre 15 et 20 mSv (travailleur classé « divers »).

- Laboratoire du SPRA

Parmi le personnel surveillé du ministère de la défense, soit 8 818 personnes, 1 647 ont fait l'objet d'une dosimétrie « neutrons » en 2007.

La dose collective correspondant à la dosimétrie « neutrons » est de 121,6 homme.mSv (soit 11 % de la dose collective totale prenant en considération toutes les composantes de rayonnements).

La dose individuelle maximale « neutrons » est de 1,7 mSv.

3.6.2. Dosimétrie des extrémités

Des dosimètres d'extrémités (dosimètres « bague », 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.

Des limites réglementaires de dose sur douze mois consécutifs sont fixées pour différentes parties du corps : l'exposition des extrémités (mains, avant-bras, pieds et chevilles) ne doit pas dépasser 500 mSv, celle de la peau également 500 mSv pour toute surface de 1 cm² et celle du cristallin 150 mSv.

La mesure de la dose maximale reçue aux extrémités doit permettre de vérifier le respect de la limite réglementaire.

Le choix entre la dosimétrie « poignet » et la dosimétrie « bague », le cas échéant la prise en compte du risque d'exposition aux neutrons, doit reposer sur l'analyse précise des postes de travail [21].

En 2007, la dosimétrie « poignet » montre une dose totale de 30,8 Sv pour 14 528 travailleurs surveillés (ils étaient 14 631 travailleurs surveillés en 2006 et leur dose totale s'élevait à 34 Sv).

La figure 19 illustre la répartition du nombre de travailleurs surveillés et des doses reçues en 2007 pour la dosimétrie « poignet ».

Effectif surveillé "Poignet" en 2007 : 14 528 travailleurs

Dose totale "Poignet" en 2007 : 30,8 Sv

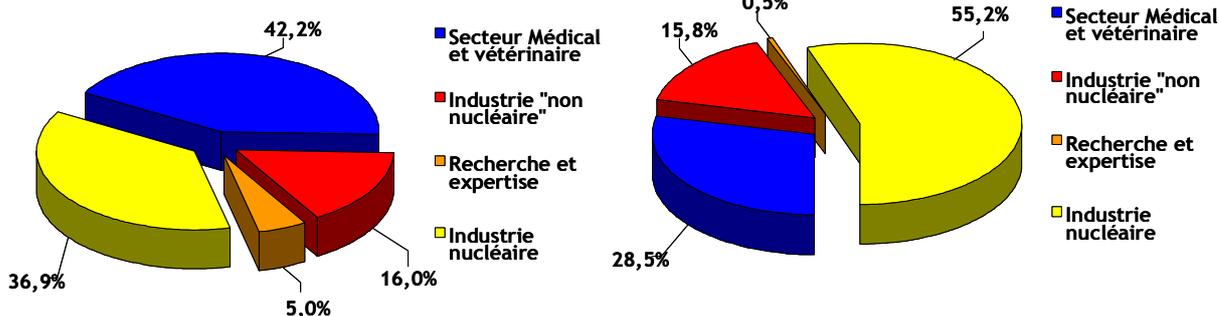


Figure 19 - Répartition des effectifs surveillés et des doses enregistrées pour la dosimétrie « poignet » en 2007

Si presque la moitié des travailleurs surveillés par une dosimétrie « poignet » appartient au domaine des activités médicales et vétérinaires, le domaine industriel contribue aux deux tiers de la dose totale en 2007.

La dose totale pour la dosimétrie « bague » (ou « doigt ») est de 46 Sv pour 6 771 travailleurs surveillés en 2007 (ils étaient 6 071 travailleurs surveillés en 2006 et leur dose totale s'élevait à 36,6 Sv).

L'effectif surveillé par une dosimétrie « bague » est inférieur de moitié à celui surveillé par une dosimétrie « poignet ». Ceci s'explique en grande partie par la contrainte supplémentaire que représente le port d'une bague par rapport au dosimètre poignet.

La figure 20 illustre la répartition du nombre de travailleurs surveillés et des doses reçues en 2007 pour la dosimétrie « bague ».

Effectif surveillé - dosimétrie "Bague" en 2007 : 6 771 travailleurs

Dose totale - dosimétrie "Bague" en 2007 : 46 Sv

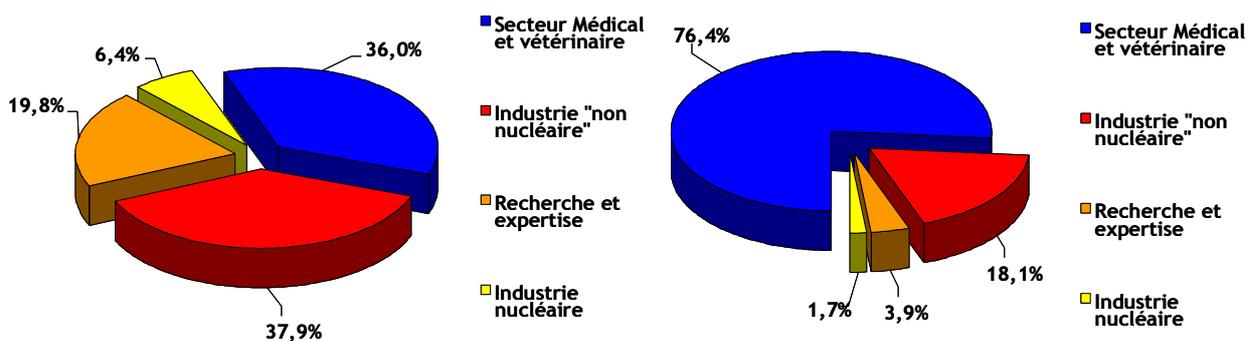


Figure 20 - Répartition des effectifs surveillés et des doses enregistrées pour la dosimétrie « bague » en 2007

Le domaine des activités médicales et vétérinaires contribue pour plus de 75 % à la dose totale « bague ».

La figure 21 illustre la répartition des doses reçues en 2007 pour les activités médicales et vétérinaires.

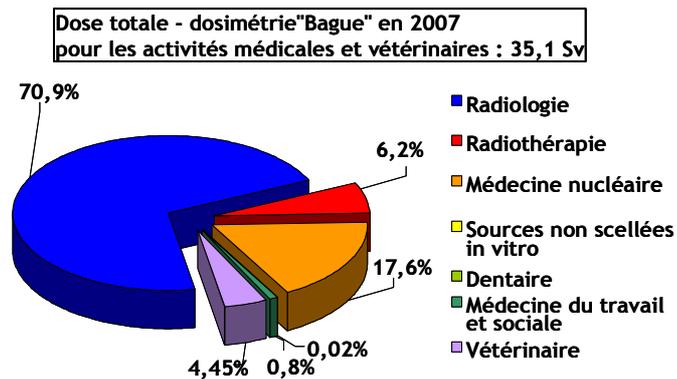


Figure 21 - Répartition des doses enregistrées pour la dosimétrie « bague » en 2007 pour les activités médicales et vétérinaires

Dans le domaine des activités médicales, c'est le secteur de la radiologie qui contribue majoritairement aux expositions des extrémités. En 2007, un dépassement de la limite de 500 mSv sur la dosimétrie « bague » a été recensé dans ce secteur avec une valeur de 563 mSv enregistrée au cours d'un mois de mesure.

Les informations transmises en 2007 pour ce qui concerne la dosimétrie des extrémités sont regroupées ci-après par laboratoire.

- Laboratoire de l'IPN d'Orsay

Le risque d'exposition externe au niveau des extrémités est essentiellement présent dans les laboratoires des Sciences du Vivant où les utilisateurs manipulent des sources non scellées de ³²P notamment.

La dosimétrie d'extrémités « poignet » a concerné 144 travailleurs en 2007. 31 d'entre eux présentent une dose individuelle annuelle comprise entre le seuil d'enregistrement et un peu moins de 7 mSv, soit une dose très inférieure à la limite réglementaire de 500 mSv. La dose totale pour l'effectif surveillé s'établit à 50,3 mSv.

La dosimétrie d'extrémités « doigt » a concerné 242 travailleurs en 2007. 31 d'entre eux présentent une dose individuelle annuelle comprise entre le seuil d'enregistrement et 10,1 mSv. La dose totale de l'effectif surveillé s'établit à 30,5 mSv.

Il est intéressant de noter que parmi les 56 agents dont les dosimètres ont enregistré une dose aux extrémités, près de la moitié (23) n'a pas enregistré d'exposition au niveau de l'organisme entier.

- Laboratoire de l'IPHC

L'effectif total surveillé pour la dosimétrie des extrémités « poignet » est de 41 travailleurs ; parmi ceux-ci, 4 présentent une dose annuelle supérieure au seuil d'enregistrement. La dose totale pour ces 4 travailleurs s'élève à 6,6 mSv en 2007. La dose individuelle annuelle maximale enregistrée est de 3 mSv.

- Laboratoire DOSILAB

La dosimétrie d'extrémités « poignet » a concerné 360 travailleurs en 2007. La dose totale correspondante s'élève à 431 mSv. La dose individuelle annuelle maximale est de 52,3 mSv (relevée en radiologie médicale).

La dosimétrie d'extrémités « doigt » a concerné 392 travailleurs en 2007. 320 d'entre eux présentent une dose individuelle annuelle comprise entre le seuil d'enregistrement et 150 mSv. Un seul travailleur a enregistré une dose supérieure à 150 mSv (194,6 mSv, en radiologie médicale). La dose totale pour l'effectif surveillé s'établit à 2,89 Sv.

- Laboratoire AREVA NC La Hague

La dosimétrie « poignet » a concerné 2 271 travailleurs en 2007, soit plus de la moitié des travailleurs surveillés (70% des travailleurs en catégorie A et 30 % des travailleurs en catégorie B). Sur les 2 271 travailleurs, 467 ont reçu une dose individuelle annuelle supérieure au seuil d'enregistrement et la dose totale aux extrémités est de 1,28 homme.Sv. La dose individuelle maximale est de 39 mSv.

- Laboratoire AREVA NC Marcoule

La dosimétrie d'extrémités « poignet » a été mise en œuvre pour 1 882 agents dont 805 ont reçu des doses supérieures au seuil d'enregistrement. La dose totale aux extrémités pour ces 805 travailleurs est de 14,2 Sv (l'établissement de Melox contribuant pour plus de 98 % à la dose totale). La dose individuelle annuelle maximale enregistrée est de 112,5 mSv pour un agent de l'établissement de Melox.

- Laboratoire LCIE-LANDAUER

La dosimétrie d'extrémités « poignet » a concerné 3 661 travailleurs en 2007. La dose totale pour l'effectif s'élève à 7,3 Sv. La dose individuelle annuelle maximale est supérieure à 150 mSv (secteur « non classé »).

La dosimétrie d'extrémités « doigt » a concerné 3 075 travailleurs en 2007. 1 392 d'entre eux présentent une dose individuelle annuelle comprise entre le seuil d'enregistrement et 150 mSv. Quinze travailleurs présentent une dose annuelle comprise entre 150 mSv et 340 mSv (11 en radiologie médicale, 3 en médecine nucléaire et 1 dans un secteur d'activité « non classé » rattaché dans ce bilan par défaut à l'industrie « hors nucléaire »). La dose totale de l'effectif surveillé s'établit à 25 Sv.

- Laboratoire de l'IRSN

En 2007, 5 661 travailleurs ont fait l'objet d'une dosimétrie « poignet ». La dose totale de l'effectif s'élève à 7 Sv et la dose individuelle annuelle maximale enregistrée s'élève à 32,9 mSv (dans l'industrie « non nucléaire »).

Les travailleurs ayant fait l'objet d'une surveillance à l'aide d'une bague dosimétrique en 2007 sont au nombre de 3 062. La dose totale pour l'effectif s'élève à 18 Sv. La dose individuelle annuelle maximale enregistrée dépasse la limite des 500 mSv (un travailleur classé dans le secteur

« recherche »). A noter également que la médecine nucléaire enregistre une dose individuelle maximale de 480 mSv sur l'année 2007.

- Laboratoire du SPRA

Parmi le personnel de la défense surveillé en 2007 par le Service de Protection Radiologique des Armées, 533 personnes ont fait l'objet d'une dosimétrie « poignet ». La dose totale de cet effectif s'établit à 457,5 mSv et la dose individuelle annuelle maximale enregistrée s'élève à 15,5 mSv.

Concernant les hôpitaux d'instruction des armées (HIA), après avoir pointé des défauts de ports de dosimètre d'extrémités « poignet », le SPRA a lancé en 2007 une campagne de mesure de l'exposition aux extrémités 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.

3.7. CONCLUSION

Le bilan des expositions externes des travailleurs pour l'année 2007 a été réalisé avec la même méthode que pour l'année 2006. Les données essentielles du bilan global de la surveillance dosimétrique de l'exposition externe en 2007 sont rassemblées dans l'encadré ci-après.

Bilan de la surveillance dosimétrique de l'exposition externe en 2007

- *Effectif total surveillé : 293 876 travailleurs*
- *Dose collective de l'effectif total surveillé : 56,83 homme.Sv*
- *Dose individuelle annuelle moyenne sur l'ensemble des travailleurs surveillés : 0,19 mSv*
- *Dose individuelle annuelle moyenne sur l'ensemble des travailleurs surveillés ayant enregistré une dose supérieure au seuil d'enregistrement: 0,89 mSv*
- *Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 1 mSv : 12 048 travailleurs (soit 4,1 % de l'effectif total surveillé)*
- *Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 20 mSv : 22 travailleurs (ces dépassements peuvent être ponctuels ou résulter d'une accumulation de doses)*
- *Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle aux extrémités > 500 mSv : 1 travailleur*

Les variations observées d'une année sur l'autre sont faibles pour ce qui concerne la dose collective.

Le bilan pour l'année 2007 permet de souligner les points marquants suivants :

- Le premier est la diminution des doses collectives amorcée depuis la fin des années 90. Cette évolution positive est notamment due à la mise en application de la directive européenne 96/29/Euratom (1996) transposée en mars 2003 dans la réglementation française. Il faut cependant noter que la dose collective globale tend à se stabiliser (l'augmentation observée en 2007 étant liée à l'abaissement du seuil d'enregistrement des doses).

- Le nombre de travailleurs surveillés tous secteurs d'activité confondus, qui était en légère progression en 2006 (+ 1,5%), a connu une nette augmentation en 2007 (+ 5,7%).
- Les doses individuelles moyennes ont baissé par rapport à l'année précédente dans les secteurs de l'industrie (nucléaire et non nucléaire) ; toutefois, ces secteurs restent ceux où les doses individuelles moyennes sont les plus élevées.
- La baisse du nombre de dépassements des limites annuelles de dose efficace observée au cours des dernières années s'est poursuivie (22 cas en 2007, contre 26 en 2006 et 40 en 2005). Les travailleurs concernés appartiennent au secteur médical et à celui de l'industrie non nucléaire.

3.8. PERSPECTIVES

L'exploitation des données de SISERI devrait à terme améliorer la robustesse des bilans dosimétriques annuels futurs. Néanmoins, l'analyse par secteur d'activité des données dosimétriques des travailleurs exposés se heurte à plusieurs difficultés liées à la classification des travailleurs. L'utilisation d'une nomenclature des secteurs d'activité et d'une nomenclature des métiers permettra une plus juste classification des travailleurs. Un projet de nomenclatures communes 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) sera proposé par l'institut fin 2008.

Pour obtenir le panorama complet des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants, il faudra aussi élargir le bilan en introduisant autant que possible les doses reçues hors du territoire et en distinguant les données par catégorie de travailleurs (A et B).

4. BILAN DE LA SURVEILLANCE DES EXPOSITIONS INTERNES EN 2007

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 des domaines civil et militaire, 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 (SST). Les analyses prescrites sont effectuées par les laboratoires d'analyses de biologie médicale (LABM) des entreprises exploitantes : défense, CEA, AREVA, EDF, ou par les SST dans certains cas. S'agissant des professionnels du secteur médical et de la recherche, les examens prescrits par les médecins du travail au titre de la surveillance de la contamination interne sont réalisés par l'IRSN.

4.1.2. Les modalités de surveillance

L'annexe I présente un panorama des techniques mises en œuvre en France à l'heure actuelle pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs. Cette 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, à l'occasion d'une manipulation inhabituelle ou encore en cas d'incident. La norme ISO 20553 [8] définit quatre programmes de surveillance individuelle : surveillance de routine, surveillance spéciale, surveillance de contrôle et surveillance de chantier. 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. 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 pas toujours connus précisément, à commencer par la date à laquelle l'incorporation de radionucléides s'est produite (sauf à être liée à un incident connu). Par ailleurs, la présence en trace d'un radionucléide correspond le plus souvent à une dose très faible (une fraction de mSv).

4.1.3. Méthodologie et hypothèses retenues

Le bilan statistique présenté dans ce rapport a été établi à partir des données communiquées à l'IRSN par les laboratoires en charge de la surveillance de l'exposition interne dans les établissements concernés, sur la base d'un questionnaire.

Le bilan général détaille les données concernant la surveillance de routine et les données concernant les mesures réalisées à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination dans le cadre des surveillances spéciale ou de contrôle. Le recensement des travailleurs contaminés est établi en considérant un niveau d'enregistrement égal à 1 mSv, conformément aux recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR)³⁰ et à la norme ISO 20553 [8] qui fixe une valeur maximale pour ce niveau égale à 5% des limites annuelles de dose. Une analyse de ces données par secteur d'activité est ensuite présentée. Enfin, une comparaison avec les résultats du bilan 2006 est réalisée.

4.2. BILAN GENERAL

4.2.1. Données concernant la surveillance de routine

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) ou les services de santé au travail (SST). Ces tableaux présentent pour chaque type d'examen : le nombre de travailleurs suivis quand il est connu, le nombre total d'examens réalisés et, parmi eux, le nombre d'examens considérés comme positifs suivant les seuils considérés par chaque laboratoire. La présentation de ces résultats appelle quelques précisions :

- tous les laboratoires sont en mesure de fournir le nombre total d'examens effectués mais pas toujours le nombre de travailleurs concernés par ces analyses ;
- chaque examen n'est pas nécessairement exclusif. Pour un suivi optimal de la contamination, il peut être utile de combiner les différents types de mesure : par exemple, lorsqu'une mesure d'iode 131 par anthroporadiométrie au niveau de la thyroïde donne un résultat positif, il sera généralement effectué à la suite une analyse radiotoxicologique urinaire ;
- la méthode de collecte de données ne permet pas d'éviter des doubles comptes dans le nombre total de travailleurs suivis, puisque l'effectif est indiqué pour chaque examen, indépendamment du fait que le travailleur bénéficie d'une autre analyse ;
- un travailleur peut avoir bénéficié de plusieurs examens anthroporadiométriques dans plusieurs entreprises exploitantes où il est intervenu au cours de la même année. Chaque fois, il est recensé dans le nombre de travailleurs suivis par le laboratoire en charge de l'entreprise.

³⁰ Publication 78, Individual monitoring for internal exposure of workers - Replacement of ICRP Publication 54. vol. 27, n° 3/4, 1997.

Par conséquent, il est impossible d'établir précisément le nombre de travailleurs suivis dans le cadre de la surveillance de l'exposition interne. Les nombres de travailleurs qui figurent dans ces tableaux doivent donc être considérés avec une certaine précaution et seuls les nombres d'examens présentés sont fiables.

Les résultats de plusieurs établissements ont parfois été communiqués de façon groupée. Ainsi, les effectifs de FBFC Pierrelatte incluent ceux du CERCA-LEA, les effectifs d'AREVA NP Chalon sont inclus dans ceux des centrales nucléaires d'EDF, et ceux de la SOCODEI dans les effectifs de CENTRACO. Alors qu'ils étaient détaillés en 2006, les effectifs des établissements suivants (suivis par le CEA Cadarache) ont été regroupés : AREVA NC Cadarache, AREVA TA Aix, AREVA TA Cadarache, Intercontrole (IC), STMI. Par ailleurs, les effectifs de l'ANDRA sont respectivement inclus dans les effectifs des établissements suivants : AREVA La Hague pour le site de la Manche, le CEA de Valduc pour le site de l'Aube et le CEA de Fontenay-aux-Roses pour le siège. Les analyses réalisées par le CEA DAM Ile-de-France à la demande des SST du CEA DAM Le Ripault et du CEA DAM CESTA pour les agents de ces centres sont incluses dans les statistiques du CEA DAM Ile-de-France.

En fonction de leurs activités professionnelles, tous les travailleurs surveillés n'ont pas systématiquement eu d'examen au cours de l'année 2007. 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.

Dans ce bilan général concernant la surveillance de routine, il apparaît que les examens anthroporadiométriques sont les plus nombreux, avec 178 433 examens réalisés en 2007, suivis par les analyses radiotoxicologiques des urines et des prélèvements nasaux en nombres comparables, avec respectivement 43 807 et 43 626 examens. Les effectifs sont en revanche différents pour ces deux derniers types d'analyses : 11 032 travailleurs ont été suivis en 2007 pour des analyses urinaires, contre 2 397 pour des analyses de prélèvements nasaux. Enfin 7 572 analyses radiotoxicologiques fécales ont été réalisées.

Les évolutions par rapport à 2006 sont discutées au paragraphe 4.4.

4.2.2. Données concernant les surveillances spéciale ou de contrôle

Le tableau 7 rassemble les données relatives aux examens réalisés à la suite d'incidents ou de suspicions d'incidents susceptibles d'avoir entraîné la contamination interne d'un ou plusieurs travailleurs (surveillances spéciale ou de contrôle). D'après la norme ISO 20553 [8] la surveillance spéciale est mise en place pour quantifier des expositions significatives à la suite des événements anormaux réels ou suspectés, et la surveillance de contrôle pour confirmer des hypothèses sur les conditions de travail, par exemple pour vérifier que des incorporations significatives ne se sont pas produites. Dans ce bilan, sont indiqués les nombres de travailleurs considérés comme contaminés, c'est-à-dire les travailleurs pour lesquels l'activité mesurée conduit à une dose efficace annuelle engagée supérieure à 1 mSv. En 2007, sur les 1 344 travailleurs ayant été contrôlés dans ces circonstances, 5 cas de contamination interne ont été rapportés, la dose individuelle maximale ayant été estimée égale à 2,5 mSv.

A ce bilan, viennent s'ajouter les 4 077 examens anthroporadiométriques réalisés dans les centrales nucléaires d'EDF dans le cadre des surveillances spéciale ou de contrôle, lesquels n'ont conduit à aucune estimation dosimétrique supérieure à 0,5 mSv. Le nombre des travailleurs concernés par ces 4 077 examens n'est pas connu. Il est important de préciser que ces examens ne sont pas majoritairement réalisés à la suite d'un événement significatif de radioprotection.

Parmi les événements significatifs de radioprotection déclarés en 2007 dans les centrales nucléaires, seuls 3 événements concernant un risque de contamination interne ont été recensés. Le premier événement recensé a pour origine le non respect du port des protections respiratoires par un intervenant. Le deuxième événement concerne 4 travailleurs exposés suite à une dispersion de contamination dans le bâtiment réacteur d'une tranche à l'arrêt. Le troisième événement concerne 131 travailleurs et fait suite à un défaut de propreté radiologique lié à une défaillance d'un dispositif de mise en dépression. Ces événements n'ont pas conduit à une contamination avérée des travailleurs.

Tableau 3 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires

Etablissements	Nombre de travailleurs suivis (*)	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs
AREVA NC siège	7	7	0
AREVA NC Pierrelatte	nc	965	nc
AREVA NC Marcoule	225	3 761	132
MELOX	0	0	0
AREVA NP Jeumont SA	0	0	0
AREVA NC Cadarache, TA Aix, TA Cadarache, IC, STMI (suivis par CEA)	202	255	0
SGN St-Quentin	40	40	0
SGN Marcoule (source CEA)	0	0	0
TN International	49	18	0
COMURHEX Pierrelatte	130	375	0
COMURHEX Malvesi	151	716	71
AREVA NC La Hague	1 816	3 679	0
CENTRACO (suivis par CEA)	nc	27	0
EURODIF	612	1 204	0
SOCATRI	95	80	0
FBFC Pierrelatte (+ CERCA)	2	8	0
FBFC Romans	232	177	2
EDF	96	216	27
Sous-total industrie nucléaire hors CEA	3 657	11 528	232
CEA Cadarache	300	422	0
Entreprises extérieures du CEA Cadarache	nc	396	0
CEA DAM IDF (BIII)	49	683	0
CEA DAM Valduc	nc	4 260	0
CEA Fontenay-aux-Roses	598	1 582	0
CEA Grenoble	615	1 810	17
CEA Pierrelatte (suivi par AREVA)	50	49	0
CEA Marcoule	12	26	1
CEA Saclay	993	2924	140
Sous-total CEA	2 617	12 152	158
CIS-BIO International Marcoule	0	0	0
IRSN Cadarache (suivi par CEA)	45	45	0
Etablissements suivis par IRSN	3 132	19 062	nd
Sous-total médecine et recherche hors CEA	3 177	19 107	0
Sous-total défense hors CEA (SPRA)	1 581	1 020	0
TOTAL GENERAL	11 032	43 807	390

nc : donnée non communiquée

nd : donnée non disponible

(*) Les sous-totaux indiqués pour un secteur d'activité donné sont à considérer avec précaution lorsque tous les établissements de ce secteur n'ont pas communiqué les effectifs concernés.

Tableau 4 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques fécales

Etablissements	Nombre de travailleurs suivis (*)	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs
AREVA NC siège	0	0	0
AREVA NC Pierrelatte	nc	224	nc
AREVA NC Marcoule	356	443	50
MELOX	350	350	22
AREVA NP Jeumont SA	0	0	0
AREVA NC Cadarache, TA Aix, TA Cadarache, IC, STMI (suivis par CEA)	193	384	0
SGN St-Quentin	0	0	0
SGN Marcoule (source CEA)	4	7	0
TN International	49	0	0
COMURHEX Pierrelatte	6	6	0
COMURHEX Malvesi	54	64	6
AREVA NC La Hague	231	494	2
CENTRACO (suivis par CEA)	17	16	0
EURODIF	0	0	0
SOCATRI	0	0	0
FBFC Pierrelatte (+ CERCA)	0	0	0
FBFC Romans	232	467	5
EDF	134	459	45
Sous-total industrie nucléaire hors CEA	1 626	2 914	130
CEA Cadarache	91	134	0
Entreprises extérieures du CEA Cadarache	nd	866	0
CEA DAM IDF (BIII)	28	37	0
CEA DAM Valduc	nc	2 246	7
CEA Fontenay-aux-Roses	169	266	0
CEA Grenoble	199	595	33
CEA Pierrelatte (suivi par AREVA)	0	0	0
CEA Marcoule	382	283	9
CEA Saclay	151	228	5
Sous-total CEA	1 020	4 655	54
CIS-BIO International Marcoule	0	0	0
IRSN Cadarache (suivi par CEA)	3	3	0
Etablissements suivis par IRSN	0	0	0
Sous-total médecine et recherche hors CEA	3	3	0
Sous-total défense hors CEA (SPRA)	1 349	nc	nc
TOTAL GENERAL	3 998	7 572	184

nc : donnée non communiquée

nd : donnée non disponible

(*) Les sous-totaux indiqués pour un secteur d'activité donné sont à considérer avec précaution lorsque tous les établissements de ce secteur n'ont pas communiqué les effectifs concernés.

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

Etablissements	Nombre de travailleurs suivis (*)	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs
AREVA NC siège	0	0	0
AREVA NC Pierrelatte	0	0	0
AREVA NC Marcoule	17	17	0
MELOX	0	0	0
AREVA NP Jeumont SA	0	0	0
AREVA NC Cadarache, TA Aix, TA Cadarache, IC, STMI (suivis par CEA)	207	877	0
SGN St-Quentin	0	0	0
SGN Marcoule (source CEA)	0	0	0
TN International	49	0	0
COMURHEX Pierrelatte	0	0	0
COMURHEX Malvesi	0	0	0
AREVA NC La Hague	0	0	0
CENTRACO (suivis par CEA)	0	0	0
EURODIF	0	0	0
SOCATRI	0	0	0
FBFC Pierrelatte (+ CERCA)	0	0	0
FBFC Romans	232	0	0
EDF	262	2 310	449
Sous-total industrie nucléaire hors CEA	767	3 204	449
CEA Cadarache	nd	50	0
Entreprises extérieures du CEA Cadarache	nd	511	0
CEA DAM IDF (BIII)	100	2 768	0
CEA DAM Valduc	nc	32 355	1
CEA Fontenay-aux-Roses	180	4 733	0
CEA Grenoble	0	0	0
CEA Pierrelatte (suivi par AREVA)	0	0	0
CEA Marcoule	0	0	0
CEA Saclay	1	1	0
Sous-total CEA	281	40 418	1
CIS-BIO International Marcoule	0	0	0
IRSN Cadarache (suivi par CEA)	nd	4	0
Etablissements suivis par IRSN	0	0	0
Sous-total médecine et recherche hors CEA	0	4	0
Sous-total défense hors CEA (SPRA)	1 349	nc	nc
TOTAL GENERAL	2 397	43 626	450

nc : donnée non communiquée

nd : donnée non disponible

(*) Les sous-totaux indiqués pour un secteur d'activité donné sont à considérer avec précaution lorsque tous les établissements de ce secteur n'ont pas communiqué les effectifs concernés.

Tableau 6 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques

Etablissements	Nombre de travailleurs suivis (*)	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs
AREVA NC siège	8	8	0
AREVA NC Pierrelatte	0	0	0
AREVA NC Marcoule	810	875	14
MELOX	95	95	0
AREVA NP Jeumont SA	134	1 000	0
AREVA NC Cadarache, TA Aix, TA Cadarache, IC, STMI (suivis par CEA)	326	598	0
SGN St-Quentin	84	84	0
SGN Marcoule (source CEA)	258	291	8
TN International	49	48	0
COMURHEX Pierrelatte	0	0	0
COMURHEX Malvesi	0	0	0
AREVA NC La Hague	3 124	6 220	12
CENTRACO (suivis par CEA)	184	177	0
EURODIF	0	0	0
SOCATRI	18	36	0
FBFC Pierrelatte (+ CERCA)	19	14	0
FBFC Romans	232	229	0
EDF	38 628	152 116	0
Sous-total industrie nucléaire hors CEA	43 969	161 791	34
CEA Cadarache	946	946	0
Entreprises extérieures du CEA Cadarache	nd	2 150	0
CEA DAM IDF (BIII)	412	438	0
CEA DAM Valduc	nc	1 231	0
CEA Fontenay-aux-Roses	1 133	1 335	0
CEA Grenoble	591	1 088	7
CEA Pierrelatte (suivi par AREVA)	0	0	0
CEA Marcoule	1 086	894	5
CEA Saclay	1 661	2 282	26
Sous-total CEA	5 829	10 364	38
CIS-BIO International Marcoule	14	61	20
IRSN Cadarache (suivi par CEA)	82	82	0
Etablissements suivis par IRSN	176	205	31
Sous-total médecine et recherche hors CEA	272	348	51
Sous-total défense hors CEA (SPRA)	4 113	5 935	0
TOTAL GENERAL	54 183	178 438	123

nc : donnée non communiquée

nd : donnée non disponible

(*) Les sous-totaux indiqués pour un secteur d'activité donné sont à considérer avec précaution lorsque tous les établissements de ce secteur n'ont pas communiqué les effectifs concernés.

Tableau 7 - Estimations dosimétriques réalisées à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale ou de contrôle)

Etablissements	Nombre total de travailleurs mesurés	Nombre de travailleurs contaminés (*)
AREVA NC siège	0	0
AREVA NC Pierrelatte	32	0
AREVA NC Marcoule	75	1
MELOX	17	1
AREVA NP Jeumont SA	9	0
AREVA NC Cadarache, TA Aix, TA Cadarache, IC, STMI (suivis par CEA)	62	0
SGN St-Quentin	0	0
SGN Marcoule (source CEA)	0	0
TN International	49	nc
COMURHEX Pierrelatte	25	0
COMURHEX Malvesi	60	0
AREVA NC La Hague	111	0
CENTRACO (suivis par CEA)	2	0
EURODIF	28	0
SOCATRI	11	0
FBFC Pierrelatte (+ CERCA)	1	0
FBFC Romans	34	3
EDF	212 + 4 077 examens (**)	0
Sous-total industrie nucléaire hors CEA	728 + 4 077 examens	5
CEA Cadarache	3	0
Entreprises extérieures CEA du CEA Cadarache	57	0
CEA DAM IDF (BIII)	32	0
CEA DAM Valduc	27	0
CEA Fontenay-aux-Roses	5	0
CEA Grenoble	13	0
CEA Pierrelatte (suivi par AREVA)	0	0
CEA Marcoule	4	0
CEA Saclay	83	0
Sous-total CEA	224	0
CIS-BIO International Marcoule	5	0
IRSN Cadarache (suivi par CEA)	0	0
Etablissements suivis par IRSN :		
* analyses radiotoxicologiques urinaires	338	nd
* mesures anthroporadiométriques	9	0
Sous-total médecine et recherche hors CEA	352	0
Sous-total défense hors CEA (SPRA)	40	nc
TOTAL GENERAL	1 344 + 4 077 examens	5

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.

(**) Nombre d'examens réalisés dans les CNPE dans le cadre des surveillances spéciale ou de contrôle (nombre de travailleurs correspondant non disponible).

4.3. BILAN PAR SECTEUR D'ACTIVITE

La figure 22 présente le nombre d'examens effectués selon les différents types d'analyses pour les grandes entreprises de l'industrie nucléaire hors CEA (c'est-à-dire EDF et AREVA), le CEA, les établissements du secteur médical et de la recherche (hors CEA), et le secteur de la défense (hors applications militaires du CEA).

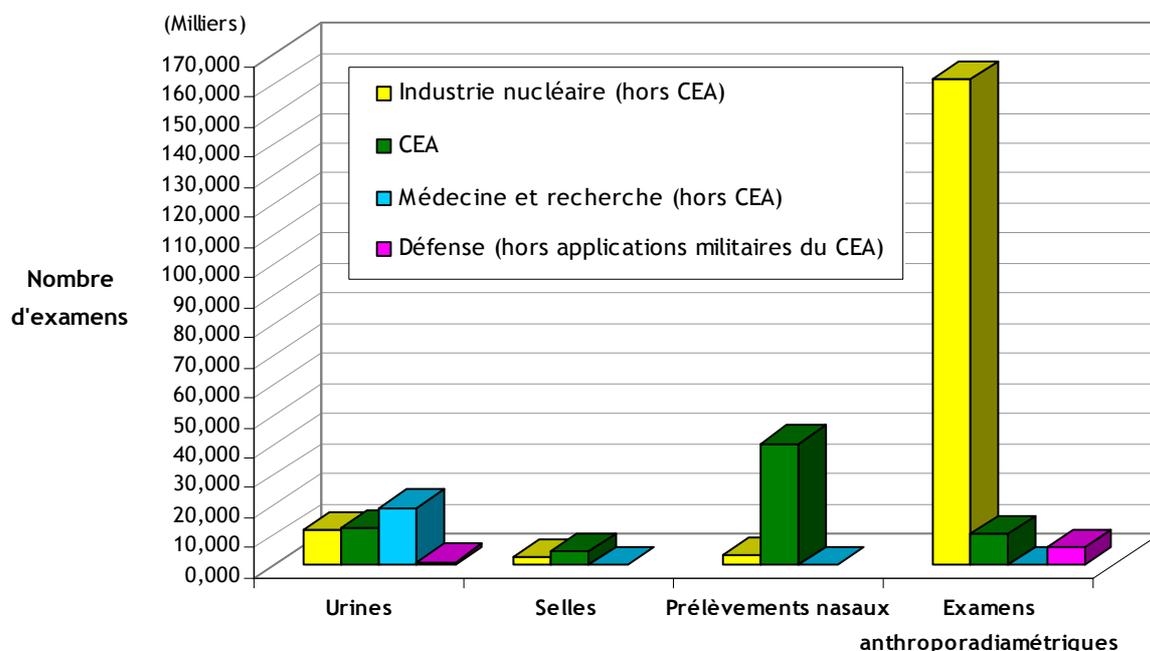


Figure 22 - Nombre d'examens suivant le type d'analyses mises en œuvre pour assurer la surveillance de l'exposition interne dans les grands secteurs d'activité en 2007

Comme l'année précédente, il apparaît que les grandes entreprises du secteur nucléaire font appel à l'ensemble des techniques de surveillance, avec une forte prédominance des examens anthroporadiométriques sur les analyses radiotoxicologiques. Le suivi des personnels dans les établissements du secteur médical et de la recherche (hors CEA) repose essentiellement sur des analyses radiotoxicologiques urinaires. Les personnels du secteur de la défense (hors applications militaires du CEA) bénéficient majoritairement d'une surveillance par anthroporadiométrie et dans une moindre mesure par 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 simple d'organiser un contrôle anthroporadiométrique au CEA, à AREVA et à EDF, dont les différents sites disposent des installations nécessaires, un tel contrôle des personnels du secteur médical ou de celui 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. Afin de pouvoir assurer la surveillance d'un plus grand nombre de travailleurs de ces secteurs, l'IRSN s'est doté fin 2007 d'un nouveau moyen mobile : le Laboratoire Mobile d'Anthroporadiométrie (LMA), installé dans un camion. En plus de sa mission d'intervention d'urgence en liaison avec le centre technique de crise de l'IRSN

en cas d'accidents nucléaires ou d'actes de malveillance susceptibles de mettre en œuvre des substances radioactives, le camion laboratoire a vocation à se déplacer sur l'ensemble du territoire pour effectuer des mesures anthroporadiométriques des personnels potentiellement exposés aux radionucléides émetteurs X/gamma. Le LMA est opérationnel depuis le début de l'année 2008, avec une première campagne de mesures réalisée auprès de personnels de l'Hôpital de Saint-Germain-en-Laye.

4.3.1. Industrie nucléaire (hors CEA)

La figure 23 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'activation³¹ et produits de fission³²), 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 anthroporadiométrique pulmonaire permet un suivi des personnels soumis au risque de contamination par des émetteurs α (^{239}Pu , $^{235-238}\text{U}$,...). Les analyses fécales sont pratiquées essentiellement pour la mesure des actinides.

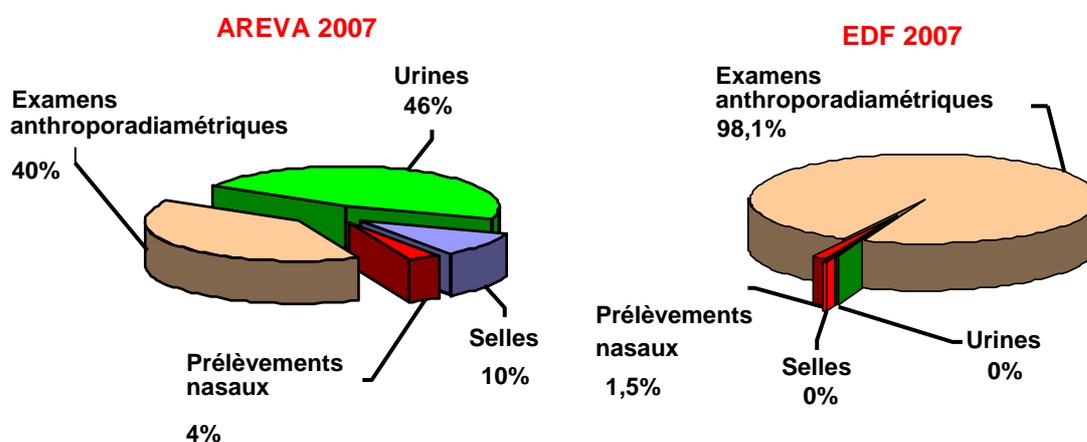


Figure 23 - Répartition des analyses réalisées dans les différentes entreprises du secteur nucléaire

Les programmes de surveillances spéciale ou de contrôle ont révélé en 2007 la contamination de 5 travailleurs au sein du groupe AREVA, avec une dose individuelle maximale égale à 2,5 mSv.

Au sein du LABM d'EDF, des évaluations dosimétriques ont été réalisées pour 217 travailleurs en 2007 (5 travailleurs dans le cadre de la surveillance de routine et 212 travailleurs dans le cadre de la surveillance spéciale ou de contrôle). Toutes les doses calculées se sont avérées inférieures à 1 mSv.

³¹ Matériaux de la structure d'un réacteur nucléaire devenus radioactifs après avoir été soumis à de forts flux de neutrons.

³² Restes d'un noyau fissile après fission dans un réacteur ; ils contribuent à l'essentiel de la radioactivité présente dans le combustible irradié.

Le tableau 8 présente le bilan détaillé des mesures anthroporadiométriques réalisées par EDF sur les sites des centrales nucléaires en 2007.

Tableau 8 - Bilan détaillé des mesures anthroporadiométriques réalisées par EDF pour les travailleurs exposés des centrales nucléaires en 2007

ANTHROPORADIOMETRIE EDF - année 2007	
Nombre de travailleurs EDF	16 200
Nombre de travailleurs d'entreprises extérieures	22 350
<u>Nombre total d'examens effectués</u>	159 262
pour surveillance de routine :	152 031
pour surveillance spéciale ou de contrôle :	4 077
pour surveillance de chantier :	238
examens réalisés à la demande :	2 916
Détail par centrale nucléaire (toutes surveillances)	Nombre d'examens (*)
BELLEVILLE	5 654 (- 38 %)
BLAYAIS	8 912 (- 8 %)
BUGEY	11 688 (+ 10 %)
CATTENOM	7 999 (- 24 %)
CHINON	10 834 (+ 8 %)
CHOOZ	4 811 (- 3 %)
CIVAUX	6 812 (+ 53 %)
CRUAS	9 565 (- 4 %)
DAMPIERRE	10 428 (- 0,1 %)
FESSENHEIM	5 494 (+ 6 %)
FLAMANVILLE	5 755 (+ 4 %)
GOLFECH	3 894 (- 36 %)
GRAVELINES	14 417 (- 4 %)
NOGENT	3 641 (- 15 %)
PALUEL	11 783 (+ 4 %)
PENLY	9 240 (+ 74 %)
SAINT ALBAN	7 619 (+ 12 %)
SAINT LAURENT	7 282 (+ 31 %)
TRICASTIN	10 802 (- 24 %)
CREYS MALVILLE	1 829 (**)
BRENNILIS	803 (**)

(*) Evolution par rapport à 2006.

(**) Données 2006 non disponibles.

4.3.2. Activités du CEA

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, applications militaires, etc. Au CEA, 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 24 présente la proportion respective des quatre types d'analyses réalisées au CEA. Celui-ci a recours à l'ensemble des techniques de surveillance individuelle, avec près des deux tiers des examens réalisés sous forme d'analyses de prélèvements nasaux. Le nombre important d'analyses de prélèvements nasaux observé notamment pour le site du CEA DAM Valduc s'explique par le fait qu'il s'agit d'une surveillance systématique de sortie de zone.

En 2007, aucune dose engagée calculée dans les établissements du CEA n'était supérieure à 1 mSv.

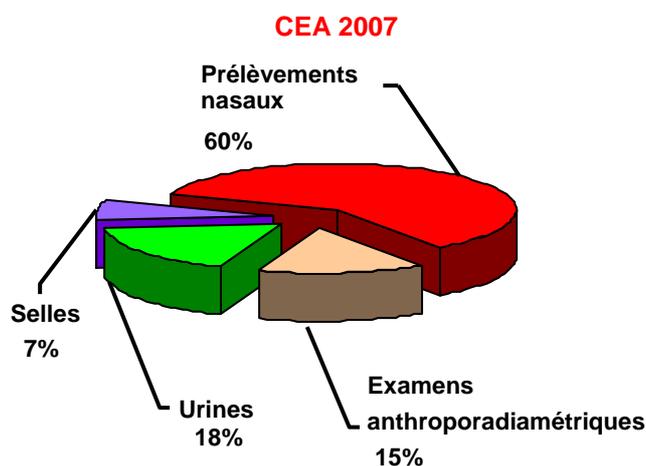


Figure 24 - Répartition des analyses réalisées dans les établissements du CEA

4.3.3. Médecine et recherche (hors CEA)

Le personnel médical des services de médecine nucléaire (exploration *in vivo*, radiothérapie) utilise principalement 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 α , γ et β à mesurer par radiotoxicologie, ainsi que le nombre d'analyses correspondantes réalisées par l'IRSN en 2007 pour ce secteur, sont précisés dans le tableau 9.

Tableau 9 - Principaux radionucléides émetteurs α , γ et β analysés par l'IRSN en 2007

Radionucléides émetteurs α (885 analyses)	Radionucléides émetteurs γ (13 928 analyses)	Radionucléides émetteurs β (4 249 analyses)
américium 241	iode 131	tritium
uranium 234	iode 125	carbone 14
uranium 238	thallium 201	soufre 35

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. Dans le cas contraire (0,5% des résultats), les trois contaminants les plus fréquemment détectés sont dans l'ordre l'iode 131 (50 cas sur un total de 88), l'iode 125 (18 cas sur 88) et le tritium (6 cas sur 88).

176 travailleurs du secteur médical ont fait l'objet d'au moins un examen anthroporadiométrique dans le cadre de la surveillance de routine à l'IRSN en 2007. Les résultats étaient positifs pour 15% d'entre eux, mais à des niveaux trop faibles pour qu'il soit opportun de faire une estimation dosimétrique.

A la suite de 9 incidents de contamination interne, l'IRSN a été sollicité pour une estimation dosimétrique à partir d'examens réalisés dans le cadre de la surveillance spéciale : 7 incidents en milieu médical, 1 incident dans un laboratoire de recherche et 1 incident dans une entreprise ayant des applications dans le secteur médical. Dans tous les cas, la dose engagée estimée à partir de l'analyse des conditions d'exposition et des résultats des différents examens d'anthroporadiométrie et de radiotoxicologie était inférieure à 1 mSv.

4.3.4. Défense (hors applications militaires du CEA)

Les données relatives au Service de Protection Radiologique des Armées (SPRA) regroupent les statistiques de la surveillance exercée par le SPRA à Clamart, le service médical d'unité de la base opérationnelle de l'île Longue à Brest, le service médical d'unité de l'escadrille des sous-marins nucléaires lanceurs d'engins de la base navale de Brest et le service médical d'unité de l'escadrille des sous-marins nucléaires d'attaque de la base navale de Toulon. Comme le montre la figure 25, la surveillance de l'exposition interne est principalement réalisée par deux types d'examens : les analyses radiotoxicologiques des urines (pour 15% des examens) et des examens anthroporadiométriques du corps entier, des poumons et de la thyroïde (pour 85% des examens). En 2007, la surveillance des travailleurs suivis par le SPRA n'a pas fait l'objet d'estimation dosimétrique, les résultats des mesures effectuées s'étant révélés inférieurs aux limites de détection.

SPRA 2007

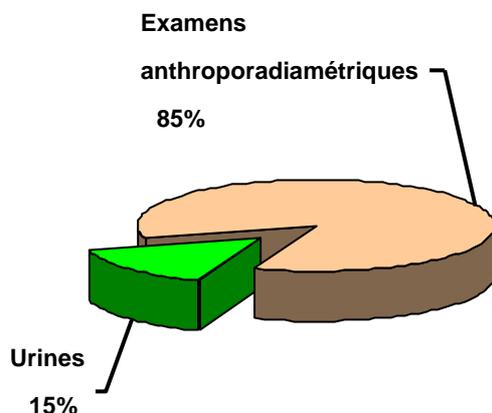


Figure 25 - Répartition des analyses réalisées au profit des personnels du ministère de la défense

4.4. EVOLUTIONS PAR RAPPORT A L'ANNEE 2006

La comparaison des résultats de 2007 par rapport aux résultats de 2006, présentée dans ce paragraphe, ne concerne pas les données du SPRA qui n'étaient pas disponibles pour l'IRSN en 2006.

Il faut noter que les effectifs totaux concernant le groupe AREVA ne sont pas directement comparables d'une année à l'autre du fait de la prise en compte d'un plus grand nombre d'établissements dans le bilan de l'année 2007. Par conséquent, seules les données de 2007 concernant les établissements déjà comptabilisés en 2006 sont considérées dans les paragraphes suivants. Les établissements non comptabilisés sont les suivants : AREVA NC siège, TN International, EURODIF, SOCATRI, FBFC Pierrelatte et FBFC Romans.

Comme précisé plus haut (§ 4.2.1), seuls les nombres d'examens réalisés sont fiables. La présente comparaison s'appuie par conséquent sur ces données, sans considérer les nombres de travailleurs suivis.

4.4.1. Evolutions dans le cadre de la surveillance de routine

Globalement, le nombre total d'examens réalisés a diminué de 8%, passant de 288 335 examens en 2006 à 264 258 examens en 2007 (pour les établissements déjà comptabilisés en 2006).

Le tableau 10 détaille cette évolution en fonction du type d'examen : il apparaît que cette diminution ne concerne pas les analyses de selles dont le nombre a progressé de 20%.

Tableau 10 - Evolution du nombre d'examens réalisés dans le cadre de la surveillance de routine entre 2006 et 2007

Nombre d'examens	Analyses d'urines	Analyses de selles	Analyses de prélèvements nasaux	Examens anthroporadiométriques
2006	46 401 (**)	5 915	54 984	181 035
2007 (*)	41 311	7 105	43 626	172 216
Variation	-11 %	+20 %	-21 %	-5 %

(*) Dans les établissements déjà comptabilisés en 2006.

(**) Erratum : dans le rapport 2006, le sous-total 3 et le total général sont erronés. Il faut considérer 19 559 examens réalisés dans les autres établissements (sous-total 3) et 46 401 examens au total général.

Les tableaux 11, 12 et 13 précisent les tendances observées dans chaque secteur d'activité.

Dans l'industrie nucléaire (cf. tableau 11), il apparaît que seul le nombre d'analyses de selles a augmenté (+9%), les diminutions observées pour les autres examens étant respectivement égales à -5%, -24% et -26% pour les examens anthroporadiométriques, les analyses de prélèvements nasaux et les analyses d'urines. Au sein du groupe AREVA, les variations sont liées aux nombreuses évolutions intervenues dans les activités du groupe sur la période considérée. Concernant les analyses radiotoxicologiques réalisées au LABM d'EDF, la diminution du nombre d'examens est due à une diminution des activités de démantèlement au cours de l'année 2007. Ce type de chantier peut être à l'origine d'une exposition interne importante des travailleurs qui y participent. La tendance observée devrait s'inverser dans les prochaines années du fait de l'augmentation programmée du nombre de chantiers de démantèlement. Concernant les examens anthroporadiométriques réalisés dans les centres nucléaires d'EDF, l'évolution du nombre d'examens entre 2006 et 2007 (indiquée sous forme de pourcentage dans le tableau 8) varie d'un centre à l'autre, et dépend principalement de la variation du nombre d'heures d'arrêt de tranche dans chaque centre.

Tableau 11 - Evolution du nombre d'examens de routine réalisés dans l'industrie nucléaire (hors CEA) entre 2006 et 2007

Nombre d'examens	Analyses d'urines	Analyses de selles	Analyses de prélèvements nasaux	Examens anthroporadiométriques
2006	13 516	2 241	4 203	169 404
2007 (*)	10 052	2 447	3 204	161 504
Variation	-26 %	+9 %	-24 %	-5 %

(*) Dans les établissements déjà comptabilisés en 2006.

Le tableau 12 présente les évolutions observées pour l'ensemble des sites du CEA entre 2006 et 2007. La diminution du nombre d'examens est lié en partie à une diminution des activités de démantèlement au cours de l'année 2007 (sur le site de la DAM Ile-de-France notamment), plus généralement à l'évolution des activités dans les différents sites du CEA.

Tableau 12 - Evolution du nombre d'examens de routine réalisés au CEA entre 2006 et 2007

Nombre d'examens	Analyses d'urines	Analyses de selles	Analyses de prélèvements nasaux	Examens anthroporadiométriques
2006	13 909	3 561	50 777	11 311
2007 (*)	12 152	4 655	40 418	10 364
Variation	-13 %	+31 %	-20 %	-8 %

Dans le secteur médical et de la recherche, le nombre d'examens réalisés en routine reste relativement stable pour les analyses d'urines, les analyses de prélèvements nasaux et les examens anthroporadiométriques, avec des variations inférieures à 10% (Cf. tableau 13). Il apparaît en revanche une diminution très importante du nombre d'analyses de selles (-97%). Le laboratoire de l'IRSN, très impliqué dans la surveillance de ce secteur, n'a enregistré aucune demande d'analyses de selles en 2007.

Tableau 13 - Evolution du nombre d'examens de routine réalisés dans le médical et la recherche entre 2006 et 2007

Nombre d'examens	Analyses d'urines	Analyses de selles	Analyses de prélèvements nasaux	Examens anthroporadiométriques
2006	18 976	113	4	320
2007 (*)	19 107	3	4	348
Variation	+1 %	-97 %	0 %	+9 %

(*) Pour les établissements déjà comptabilisés en 2006.

4.4.2. Evolutions dans le cadre de la surveillance spéciale ou de contrôle

Pour pouvoir comparer les données de 2007 avec celles du bilan 2006, nous avons exclu les 4 077 examens anthroporadiométriques réalisés dans les centrales nucléaires : pour EDF, on ne considère donc que les données provenant du LABM, soit 212 travailleurs. On obtient alors un effectif total de 1 344 travailleurs surveillés dans ce cadre en 2007, à comparer avec les 1 601 travailleurs ayant bénéficié d'un examen de surveillance spéciale ou de contrôle en 2006. En 2007, ces examens ont conduit à l'estimation d'une dose supérieure à 1 mSv pour 5 travailleurs (Cf. Tableau 7), avec une dose individuelle maximale égale à 2,5 mSv, alors qu'en 2006, on comptait 7 travailleurs pour lesquels l'estimation dosimétrique conduisait à une dose supérieure au niveau d'enregistrement, avec une dose individuelle maximale égale à 9,7 mSv.

4.4.3. Evolution de la répartition des examens réalisés

La répartition des examens réalisés en 2007 dans les établissements d'EDF et du CEA est équivalente à celle observée en 2006.

Dans les établissements du groupe AREVA, la répartition a légèrement évolué par rapport à 2006 : si les analyses des selles et des prélèvements nasaux conservent une part équivalente d'une année sur l'autre (respectivement 10% et 4% en 2007 contre 7% et 5% en 2006), la part des examens anthroporadiométriques augmente au détriment des analyses urinaires (respectivement 40% et 46% en 2007 contre 30% et 56% en 2006).

4.5. CONCLUSION

A partir des données collectées auprès des laboratoires assurant la surveillance de l'exposition interne des travailleurs, le nombre total d'examens réalisés dans le cadre de la surveillance de routine s'élève en 2007 à 273 443. En ne considérant que les établissements déjà comptabilisés en 2006, ce chiffre a diminué de 8% par rapport au nombre d'examens réalisés l'an passé. Ce pourcentage de variation doit être considéré avec précaution du fait de certaines données non disponibles.

L'analyse détaillée des données collectées conduit à faire les remarques suivantes :

- l'évolution du nombre d'examens est différente suivant les types d'examen : si le nombre d'examens anthroporadiométriques diminue légèrement (-5%), on observe une baisse importante du nombre d'analyses radiotoxicologiques urinaires (-11%) et, plus encore, du nombre d'analyses radiotoxicologiques de prélèvements nasaux (-21%). Seul le nombre d'analyses radiotoxicologiques fécales a progressé entre 2006 et 2007 (+20%) ;
- l'évolution du nombre d'examens dans les différents secteurs d'activité dépend en grande partie des variations de l'activité au sein de ces secteurs (arrêts de tranche dans les centrales nucléaires, activités de démantèlement,...) ;
- l'importance relative des examens réalisés est variable d'un exploitant à l'autre. En 2007, cette répartition est sensiblement la même que celle observée en 2006. Chez AREVA, les analyses radiotoxicologiques urinaires sont majoritaires (46%) et suivies de près par les examens anthroporadiométriques (40%). Chez EDF, les examens anthroporadiométriques représentent 98% de l'ensemble des examens réalisés. Au CEA, les examens les plus nombreux sont les analyses radiotoxicologiques de prélèvements nasaux (60%), suivis par les analyses urinaires (18%) et les examens anthroporadiométriques (15%).

Le nombre de travailleurs ayant bénéficié d'une estimation dosimétrique à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillances spéciale ou de contrôle) s'élève à 1 344, tous types d'examen confondus. Ce nombre de travailleurs est en baisse par rapport à l'année 2006 (-16%). Il

faut également compter plus de 4 000 examens réalisés dans ce cadre de surveillance au sein des centrales nucléaires en 2007, chiffre pour lequel le nombre de travailleurs correspondant n'est pas disponible à ce jour.

Parmi ces estimations dosimétriques, les examens ont révélé une contamination interne, c'est-à-dire une dose engagée supérieure à 1 mSv, chez 5 travailleurs avec une dose maximale égale à 2,5 mSv. Ces chiffres marquent une évolution satisfaisante puisqu'en 2006, on comptait 7 cas de contamination interne, avec une dose maximale enregistrée à 9,7 mSv.

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 « NORM³³ » peuvent entraîner une augmentation notable de l'exposition des travailleurs.

Cette problématique des « expositions naturelles renforcées » a été prise en compte pour la première fois au plan réglementaire par des dispositions introduites dans le code du travail par le décret 2007-1570 et définies plus précisément par l'arrêté du 25 mai 2005 *relatif aux activités professionnelles mettant en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides non utilisés en raison de leurs propriétés radioactives*. Cet arrêté précise notamment la liste des activités ou des catégories d'activités professionnelles concernées et impose aux chefs d'établissements concernés de réaliser une évaluation des doses reçues par les travailleurs et d'en transmettre les résultats à l'IRSN.

En raison du nombre important d'établissements potentiellement concernés et à la suite d'une demande des pouvoirs publics, l'IRSN a élaboré une grille d'analyse des dossiers transmis par les exploitants visés par l'annexe 1 de l'arrêté du 25 mai 2005. Cette grille a pour objectif d'identifier les études nécessitant une attention particulière, notamment les études dites génériques qui concernent un nombre important de travailleurs ou celles susceptibles de présenter des doses efficaces reçues supérieures à 1 mSv/an. Selon les conclusions obtenues en utilisant cette grille, le dossier peut soit :

- être renvoyé à son auteur pour complément ;
- être transféré à l'IRSN pour analyse détaillée ;
- ne pas nécessiter dans l'immédiat d'action supplémentaire.

Fin 2007, le nombre total de dossiers reçus dans le cadre de l'application de l'arrêté s'élevait à une soixantaine. La figure 26 présente la répartition des dossiers reçus selon les catégories d'activités professionnelles concernées par les dispositions de cet arrêté. La figure 27 présente la distribution des doses efficaces individuelles présentées dans ces dossiers. Environ 15% des doses efficaces individuelles calculées pour les travailleurs sont supérieures à la limite de 1 mSv/an qui correspond à la valeur à partir de laquelle ces travailleurs devraient faire l'objet d'une surveillance dosimétrique et médicale. Certaines doses peuvent même dépasser la limite annuelle des 20 mSv. Les études correspondantes nécessitent donc une analyse plus détaillée.

³³ NORM = Naturally Occurring Radioactive Materials

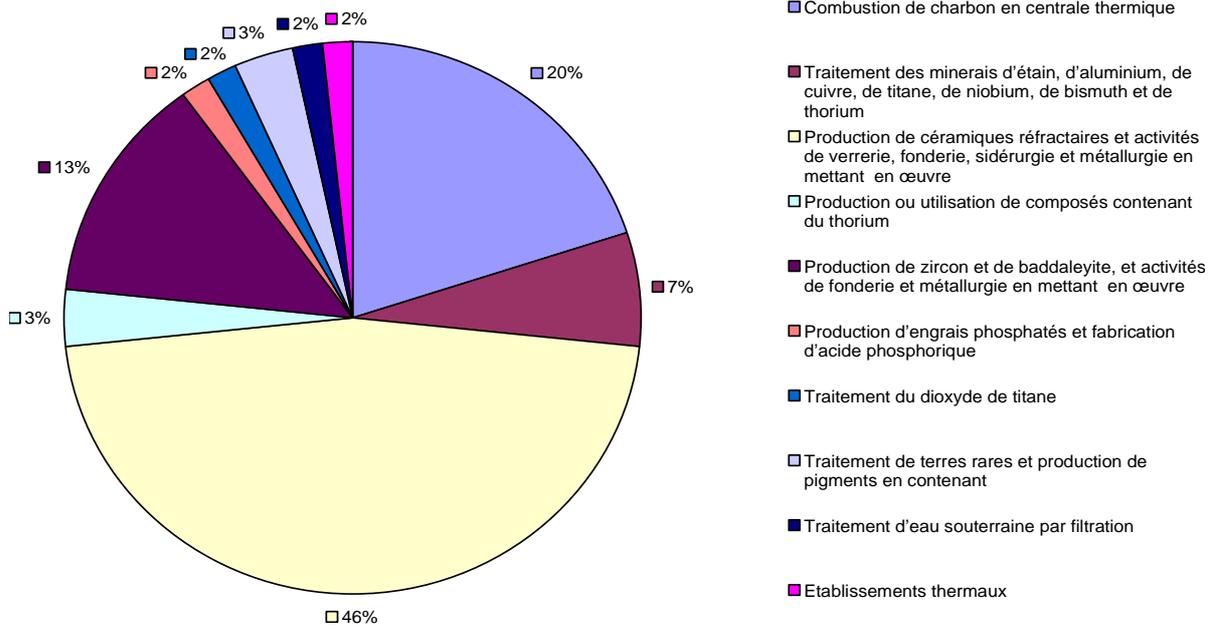


Figure 26 - Répartition des dossiers reçus selon les catégories d'activités professionnelles concernées par les dispositions de l'arrêté du 25 mai 2005

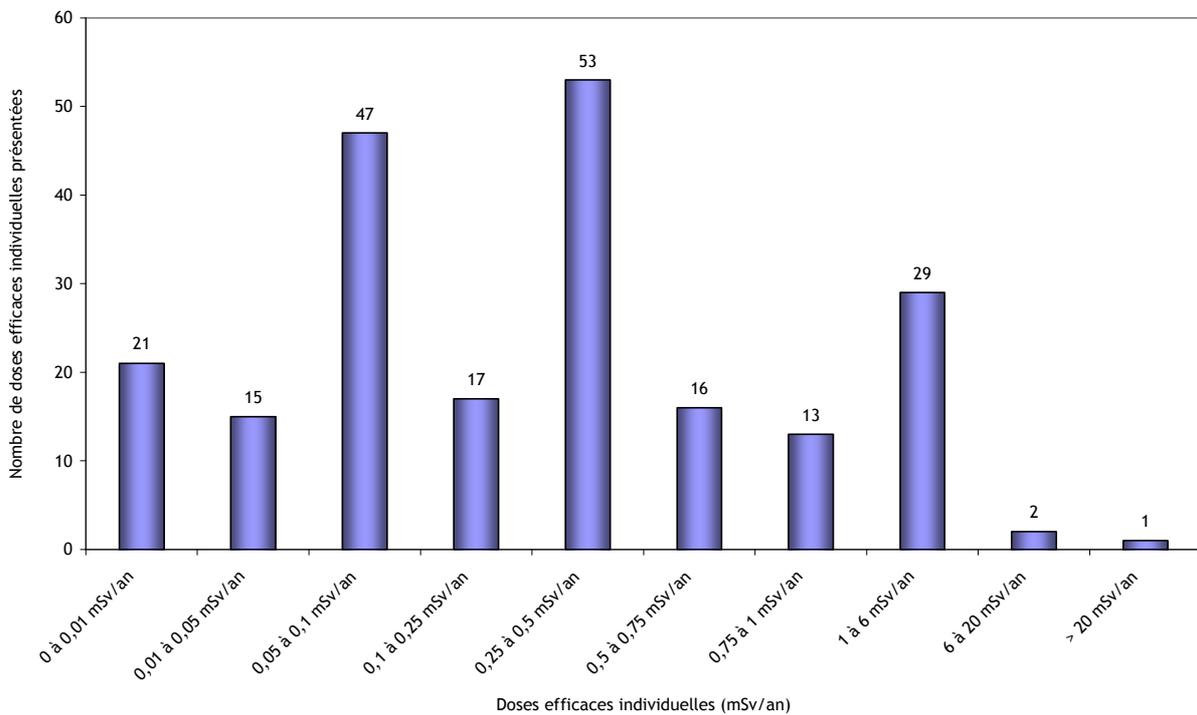


Figure 27 - Distribution des doses efficaces individuelles

5.1.1. Etudes analysées en 2007

En 2007, l'IRSN a en particulier analysé l'étude relative à l'évaluation des doses reçues par les travailleurs des centrales thermiques à charbon d'EDF. En effet, le charbon contient naturellement de faibles concentrations d'éléments radioactifs - potassium 40, radionucléides de la famille de l'uranium et du thorium - et sa combustion entraîne la production de cendres où les radionucléides se concentrent. Leur manipulation peut entraîner à la fois une exposition externe et une exposition interne par inhalation. Cette étude a été choisie en raison de son caractère générique. Sur la base de campagnes de mesures, le poste de travail identifié comme le plus exposé est celui d'un employé chargé du nivellement du terril d'entreposage des cendres : la dose efficace ajoutée, attribuable à la manipulation des cendres à radioactivité naturelle renforcée, s'est révélée faible ($\leq 0,14$ mSv/an).

L'IRSN a aussi analysé l'étude générique menée pour la filière déshydratation de la Coopération Agricole Française, relative à l'évaluation des expositions aux rayonnements ionisants liées à l'exploitation d'installations de déshydratation dont les procédés sont similaires à ceux mis en œuvre dans les centrales thermiques à charbon. L'analyse a confirmé la similitude des scénarios d'exposition des travailleurs des installations de déshydratation de fourrages verts avec les scénarios d'exposition des travailleurs des centrales thermiques à charbon et la cohérence des doses efficaces calculées dans les deux cas.

5.1.2. Evaluation de l'exposition aux rayonnements ionisants des personnels travaillant dans une fonderie utilisant des farines de zircon

L'IRSN a par ailleurs été sollicité pour évaluer l'exposition des personnels travaillant dans une fonderie utilisant des farines de zircon, activité entrant dans une des catégories d'activités professionnelles concernées par l'arrêté du 25 mai 2005. La farine de zircon est utilisée pour la fabrication de moules en céramique suivant le procédé de la cire perdue. Le zircon est un minéral contenant naturellement du potassium 40, du thorium 232, de l'uranium 235 et de l'uranium 238. L'évaluation de l'exposition des travailleurs a été réalisée pour les différents postes exposés du processus industriel : stockage des matières premières (farines de zircon), fabrication des moules en céramique, gestion des déchets. Suivant les caractéristiques des postes, trois types d'exposition ont été considérés : exposition externe, inhalation/ingestion de poussières et inhalation du radon et de ses descendants. Pour l'ensemble des postes, les résultats obtenus pour l'exposition externe sont compris entre 0,04 et 0,53 mSv/an. Les résultats obtenus pour l'exposition interne varient entre 0,24 et 0,29 mSv/an. Finalement, la dose efficace reçue par les opérateurs est comprise entre 0,10 et 0,77 mSv/an. La dose la plus élevée est enregistrée dans l'atelier d'enrobage pour la pose de renforts métalliques sur les parties sensibles des moules en céramiques, opération qui occupe une personne à plein temps au contact des pièces.

5.2. RADON

En 2007, l'article R. 231-115 du code du travail prévoyait que des mesures de radon soient mises en œuvre dans les établissements où les travailleurs sont susceptibles d'être exposés au radon en raison de la situation de leurs lieux de travail, en particulier dans les lieux souterrains. Compte tenu du nombre important d'installations souterraines concernées par des activités agroalimentaires, le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche a missionné l'IRSN pour mettre en œuvre une étude pilote destinée à caractériser l'exposition des travailleurs agricoles au radon.

La caractérisation de l'atmosphère intérieure de huit sites souterrains retenus par le Ministère a reposé sur des mesures intégrées de l'activité volumique du radon sur plusieurs mois au cours de la période hivernale 2006/2007. Suivant le type d'installation (bâtiment ou cavité), ces mesures ont été effectuées selon les exigences de la norme AFNOR NF M60-771 [9] ou selon les préconisations d'une méthodologie spécifique développée par l'IRSN pour la caractérisation des concentrations de radon dans les cavités karstiques.

L'étude a permis de montrer l'importance du mode de ventilation des différents sites, lequel conditionne le comportement du radon dans l'atmosphère intérieure. Ainsi, la ventilation forcée des champignonnières permet non seulement de réduire les teneurs en radon mais également d'atténuer l'effet des paramètres météorologiques sur la concentration de radon. Les variations temporelles voire saisonnières généralement constatées dans les cavités naturellement ventilées sont ainsi diminuées. Dans les caves à fromages dont l'atmosphère est renouvelée par l'air issu des fleurines (failles présentes dans la roche), l'activité volumique du radon est très sensible aux conditions météorologiques et notamment à l'influence du vent. Ainsi, les niveaux d'activité volumique dans ces caves sont tributaires de l'efficacité de ventilation des failles et des variations temporelles importantes de la concentration de radon peuvent être observées.

Le protocole de mesures, développé par l'IRSN pour les cavités, prévoit la réalisation de deux séries de mesures en période hivernale et en période estivale pour estimer la valeur moyenne annuelle de l'activité volumique du radon dans chaque site. Cependant, dans le cas de l'étude réalisée à la demande du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, compte tenu des faibles variations temporelles de l'activité volumique du radon observées dans les champignonnières et d'une fréquentation limitée des caves de Roquefort aux seuls mois de décembre à juin (activité saisonnière), la réalisation d'une seconde série de mesures en période estivale a été considérée comme non justifiée.

En outre, étant entendu que les travailleurs ne sont pas affectés à des postes fixes (galeries, niveaux de cave ou de bâtiment) et qu'ils peuvent être amenés à fréquenter l'ensemble des lieux de travail au cours d'une année, une seule valeur d'activité volumique, correspondant à la moyenne des résultats de mesure obtenus pour chaque zone homogène au cours de l'hiver 2006/2007, a été attribuée à chaque site pour comparaison au seuil fixé par la réglementation. Sur l'ensemble des huit sites investigués, aucun de ces résultats n'a mis en évidence de valeurs d'activité volumique supérieures au seuil de 400 Bq/m³, fixé par l'article R. 231-115 du code du travail. En conséquence, aucune des

actions de remédiation, généralement préconisées pour réduire l'exposition des travailleurs (amélioration de la ventilation, aménagement du temps de présence) n'est à envisager par les responsables des établissements concernés. L'arrêté du 7 août 2008 relatif à la gestion du risque lié au radon dans les lieux de travail n'a pas retenu ce type d'installation dans la liste des activités concernées par les dispositions de l'article R. 4457-6 du code du travail (selon la nouvelle numérotation de l'article R. 231-115).

5.3. EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS COSMIQUES

Conformément à l'arrêté du 8 décembre 2003, les compagnies aériennes françaises sont tenues d'évaluer si l'exposition de leur personnel navigant aux rayonnements cosmiques est susceptible de dépasser 1 mSv/an et si tel est le cas, de surveiller ces personnels. La Direction générale de l'aviation civile (DGAC) s'est associée à l'IRSN, à l'Observatoire de Paris et à l'Institut Polaire français - Paul Emile Victor (IPEV), afin de développer un outil d'évaluation des doses efficaces susceptibles d'être reçues par les travailleurs lors des vols.

Le Système d'Information et d'Evaluation par Vol de l'Exposition aux Rayonnements cosmiques dans les Transports aériens (SIEVERT) est un service de calcul des doses de rayonnement cosmique reçues lors des vols en fonction des routes empruntées. Les doses sont évaluées, en fonction des caractéristiques du vol, à partir des données dosimétriques validées par l'IRSN. Des modèles numériques cartographient des débits de doses de rayonnements cosmiques jusqu'à une altitude de 80 000 pieds. Au cœur de SIEVERT, l'espace aérien est découpé en zones d'altitude, de longitude et de latitude, formant une cartographie de 265 000 mailles. A partir des modèles numériques, il est possible d'affecter une valeur de débit de dose à chaque maille. La cartographie des débits de dose est mise à jour tous les mois en tenant compte de l'activité solaire.

L'utilisation de SIEVERT pour évaluer la dose reçue lors d'un vol est ouverte au public par le biais du site internet www.sievert-system.org. Pour le suivi des travailleurs, SIEVERT propose aux compagnies une gestion automatisée reposant sur un fichier récapitulatif des données de tous les vols de la période de suivi. A partir des caractéristiques d'un vol, le calculateur de SIEVERT évalue le temps passé par l'avion dans chaque maille et en déduit la dose reçue. La valeur de la dose est plus précise lorsque le fichier du vol communiqué par l'entreprise comporte des « way points », c'est-à-dire des points de passage avec pour coordonnées la latitude, la longitude, l'altitude et le temps relatif de passage en ce point, qui permettent de définir précisément la trajectoire d'un vol. Si ce n'est pas le cas, la dose est évaluée à partir d'un profil générique de vol. A ce stade, les données dosimétriques ne sont pas nominatives. Il appartient à l'employeur de cumuler les doses reçues au cours des trajets effectués par chaque membre du personnel navigant.

Le système SIEVERT est opérationnel depuis 2001. En 2007, 6 compagnies françaises, dont Air France, avaient un abonnement à SIEVERT, ce qui a permis au total à plus de 30 000 personnels navigants de bénéficier d'un suivi de leur exposition aux rayonnements cosmiques tout au long de l'année.

6. ETUDES DE POSTES DE TRAVAIL

6.1. CONTEXTE REGLEMENTAIRE

Dans le cadre de l'évaluation des risques liés aux rayonnements ionisants, l'employeur procède à une analyse des postes de travail qui est renouvelée périodiquement et à l'occasion de toute modification des conditions pouvant affecter la santé et la sécurité des travailleurs (article R. 4451-11 du code du travail). Cette analyse 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 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 2007

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'un dispositif de tomographie à faisceau conique utilisé pour le diagnostic dentaire

Dans le cadre d'une demande de l'autorité de sûreté nucléaire (ASN), les services d'expertise en radioprotection (SER) et de dosimétrie externe (SDE) de l'IRSN ont réalisé une étude dosimétrique d'un nouvel appareil de radiologie dentaire, dénommé « I-CAT », récemment apparu sur le marché. Il s'agissait de caractériser l'environnement radiologique de l'appareil afin d'évaluer les risques d'exposition pour les opérateurs amenés à le manipuler. L'IRSN a réalisé des mesures auprès d'une installation de ce type (figure 28) 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 28 - Vue générale de l'appareil de tomographie à faisceau conique de type « I-CAT » et positionnement des appareils de mesure

6.2.2. Caractérisation d'une installation utilisant un scanner à deux tubes

A la demande de l'autorité de sûreté nucléaire (ASN), l'IRSN a donné un avis technique concernant un scanner à deux tubes, qui offre de nouvelles perspectives en imagerie médicale. D'une part, les acquisitions en double énergie permettent la différenciation plus fine de certains tissus corporels, par exemple la séparation par soustraction des composants tissus mous, air et iode du poumon en angioscanographie pulmonaire. D'autre part, l'utilisation simultanée des deux tubes à la même énergie permet d'améliorer la résolution temporelle et d'obtenir pour l'analyse fonctionnelle du cœur des images moins affectées par la fréquence cardiaque. Pour répondre à cette demande, l'IRSN a réalisé une campagne de mesures auprès d'une installation utilisant un appareil de ce type. Ces mesures ont permis de dresser une cartographie du rayonnement diffusé dans l'environnement de cet appareil, de formuler des recommandations de prescriptions techniques relatives à son utilisation en routine et de proposer le zonage de l'installation au sein du service où elle est implantée.

6.2.3. Appui méthodologique des personnes compétentes en radioprotection (PCR) d'un service de radiologie dans la mise en œuvre du zonage conformément à l'arrêté du 15 mai 2006

Dans le cadre d'une prestation, les services d'expertise en radioprotection (SER) et de dosimétrie externe (SDE) de l'IRSN sont intervenus dans une clinique pour présenter aux PCR un cas pratique de délimitation des zones tel que recommandé par le guide pratique pour l'étude dosimétrique de poste de travail de l'IRSN (rapport DRPH/DIR n° 2007-6 publié le 3 janvier 2008 disponible sur le site web de l'institut : <http://www.irsn.org>).

Ce cas pratique a été mis en œuvre dans une salle de radiodiagnostic équipée d'une table télécommandée sur laquelle sont essentiellement réalisées des radiographies de l'abdomen sans préparation et du rachis lombaire. L'étude dosimétrique tenant compte de l'activité de la salle, pour l'heure la plus pénalisante, a mis en évidence l'existence d'une zone spécialement réglementée orange limitée à la table d'examen, d'une zone spécialement réglementée jaune limitée par les

parois de la salle et d'une zone surveillée limitée au pupitre de commande situé derrière un paravent de protection (figure 29).

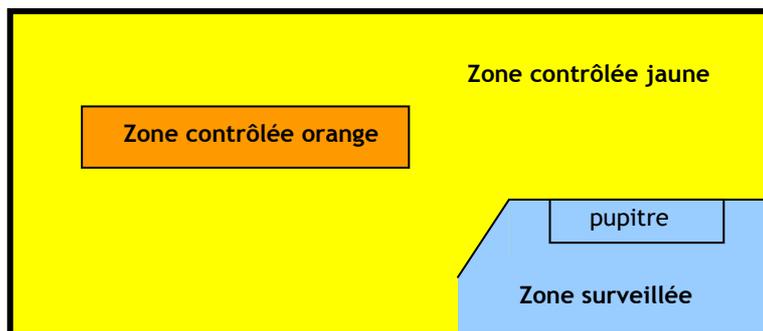


Figure 29 - Représentation schématique des zones réglementées obtenues suite à l'étude dosimétrique autour d'une table télécommandée dans une salle de radiodiagnostic

6.2.4. Etude réalisée pour le Syndicat de traitement des ordures ménagères de la région parisienne (SYCTOM)

Le Syndicat de traitement des ordures ménagères de la région parisienne (SYCTOM) a demandé la réalisation d'une étude à l'IRSN dans le but de vérifier les pratiques de certains sites concernant la gestion des déchets des bennes d'ordures ménagères après détection de radioactivité par le portique situé à l'entrée des centres. L'organisation mise en place consiste à isoler la benne d'ordure ménagère à l'origine du déclenchement et à prévenir, après délimitation d'un périmètre de sécurité, une société spécialisée en radioprotection pour identifier et gérer le déchet à l'origine du déclenchement. Sur la base du retour d'expérience du SYCTOM, l'étude a mis en évidence que les déchets sont issus en grande partie des activités médicales (^{99m}Tc , ^{131}I), que leur arrivée est aléatoire et que les niveaux d'exposition engendrés pour le personnel sont inférieures à 1 mSv. Certains déchets présentant un risque élevé nécessitent une gestion adaptée confiée à une société spécialisée en radioprotection. Par conséquent, les travailleurs du site ne sont que très faiblement exposés.

6.2.5. Evaluation de l'exposition externe auprès d'un convoi de sesquioxyde d'uranium (U_3O_8)

Dans le cadre du Programme de Protection Radiologique mis en place par la SNCF conformément à la réglementation relative à la prévention et à la protection contre les risques d'irradiation et de contamination dans le transport ferroviaire des marchandises radioactives (directive SNCF RH 0824), l'évaluation de l'exposition externe aux rayonnements ionisants des personnels impliqués dans ce type de transport doit être réalisée. La SNCF a confié à l'IRSN la mise en œuvre des mesures nécessaires à l'établissement des valeurs de débit d'équivalent de dose ambiant auprès de convois de matières irradiantes. Plusieurs types de convois ont déjà été étudiés les années précédentes. En

2007, c'est un convoi de sesquioxyde d'uranium qui a fait l'objet de cette caractérisation (figure 30). Du fait de la nature et du mode de transport de cette matière, seuls les personnels SNCF directement affectés à ce convoi sont susceptibles d'être exposés aux rayonnements ionisants.



Figure 30 - Photographie du convoi.

Les mesures réalisées le long du convoi révèlent des débits d'équivalent de dose ambiant n'excédant pas $10,4 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$. Pour les tâches dont la durée a pu être déterminée, les équivalents de dose ambiants intégrés au cours d'une opération sont compris entre $0,02 \mu\text{Sv}$ et $5,5 \mu\text{Sv}$. Les résultats de cette campagne de mesures constituent les données à partir desquelles la SNCF peut évaluer l'exposition à chaque poste de travail en fonction de la durée, du nombre et de la fréquence des opérations attribuées à chaque travailleur intervenant sur ce type de convoi.

6.2.6. Caractérisation neutronique et évaluation de la réponse de dosimètres neutrons sur des postes de travail en CNPE

EDF a sollicité le concours de l'IRSN pour caractériser l'exposition aux neutrons sur des postes de travail de réception et d'évacuation de combustible, qui sont les postes contribuant à plus de 80% de l'exposition aux neutrons des travailleurs des CNPE. Deux campagnes de mesures ont été menées au CNPE de Gravelines : la première concerne la réception d'un combustible neuf MOX « palier 900 MWe » dans un emballage de type MX8 (figure 31), la seconde s'intéresse à l'évacuation d'un combustible UO_2 irradié « palier 900 MWe » dans emballage de type TN12/2. Ces mesures ont permis de caractériser les spectres en différents points autour de ces emballages et d'évaluer les réponses de plusieurs dosimètres « neutrons » dans le cadre d'une étude comparative concernant la dosimétrie passive, la dosimétrie à bulle et la dosimétrie active.



Figure 31 - Photographie d'un emballage combustible de type MX8.

6.3. PUBLICATION D'UN GUIDE PRATIQUE D'AIDE A LA REALISATION D'ETUDES DE POSTES DE TRAVAIL

L'année 2007 a également vu la publication par l'IRSN du « Guide pratique pour la réalisation des études dosimétriques de poste de travail présentant un risque d'exposition aux rayonnements ionisants », en libre accès à la librairie du site web de l'institut (www.irsn.org). Ce guide est destiné aussi bien aux domaines médical, de l'industrie ou de la recherche. Il propose une approche méthodologique pour bien identifier les risques d'exposition, mettre en œuvre le processus d'optimisation de la radioprotection, classer les travailleurs et délimiter les zones de travail. Il est complété par des rappels sur les principaux objectifs associés à l'étude de poste, le contexte réglementaire, les sources et modes d'exposition et les grandeurs dosimétriques utiles. Des recommandations relatives au choix et à l'utilisation des instruments de mesure et des méthodes de calcul sont également fournies. L'approche méthodologique générale est appliquée et développée dans des fiches spécifiques, chacune dédiée à un domaine d'activité particulier. L'édition 2007 de ce guide pratique présente ainsi une fiche dédiée à la radiologie médicale conventionnelle et une fiche dédiée à la radiologie médicale interventionnelle.

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 collecte et analyse les données concernant les événements et incidents de 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.

Les événements de radioprotection recensés par l'IRSN recouvrent :

- les incidents déclarés à l'Autorité de sûreté nucléaire. Pour ce type d'incidents, la collecte devrait être exhaustive ;
- des événements qui ne justifient pas d'une telle déclaration mais qui sont considérés comme des signaux intéressants par l'IRSN. Leur collecte est plus aléatoire, très dépendante des circuits d'information.

Parmi les 465 événements concernant la radioprotection que l'IRSN a recensés en 2007, 251 concernent directement les travailleurs. La répartition de ces événements par secteur d'activité est donnée dans le tableau 14, les chiffres des trois années précédentes étant indiqués à titre de comparaison.

Les alertes des laboratoires de dosimétrie pour dépassement de limites réglementaires de dose, au nombre de 72, représentent 29% des événements avec une forte prédominance de cas dans le domaine médical (75%). Parmi ces 72 signalements, et à la date de rédaction de ce rapport, 15 ont finalement été confirmés après enquête du médecin du travail, 8 signalements restent sans retour du médecin du travail et sont donc toujours considérés comme des dépassements, ce qui porte à 23 le nombre de dépassements de limite réglementaire de dose pour l'année 2007. Le dépassement concerne la dose efficace dans 22 cas et la dose aux extrémités dans 1 cas (§ 3.4).

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.

Les autres événements, au nombre de 179, concernent essentiellement le secteur de l'industrie (nucléaire et non nucléaire) et de la recherche (94%). 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'ASN³⁴. La ventilation des événements selon les critères de déclaration définis par l'ASN pour les INB donne les résultats suivants.

61 événements ont été déclarés au titre du critère 7A « *défaut de signalisation ou non respect des conditions techniques d'accès en zone réglementée ou interdite* ».

Le critère 6 « *situation anormale affectant une source scellée ou non scellée* » a fait l'objet de 13 déclarations.

12 événements ont été déclarés au titre du critère 3 « *écart concernant la propreté radiologique* ».

Les critères 4 « *activité comportant un risque radiologique important réalisée sans une analyse de radioprotection formalisée* », 7B (situation analogue à 7A mais jugée non significative par l'employeur, telle que l'absence d'enregistrement nominale lors d'un accès en zone) et 8 « *défaillance non compensée des systèmes de surveillance radiologique qui permettent d'assurer la protection des personnels présents, lors d'activités comportant un risque radiologique important* » ont chacun été attribués à moins de 5 événements.

Le critère 10 qui regroupe les événements qui ne peuvent être déclarés au titre des autres critères a fait l'objet de 34 déclarations.

Tableau 14 - Evénements de radioprotection concernant les travailleurs en 2007

	2007	2006	2005	2004
Alertes de dépassements de limite réglementaire de dose				
- industrie	18	13	17	11
- recherche	0	1	2	2
- transport	0	5	0	0
- secteur médical	54	48	63	42
- origine inconnue	0	1	0	0
Total alertes de dépassements	72	68	82	55
Autres événements				
- industrie et recherche	169	170	182	193
- secteur médical	10	9	8	2
Total autres événements	179	179	190	195
TOTAL	251	247	272	250

³⁴ Ce guide est disponible sur le site de l'ASN (www.asn.fr)

Certains de ces incidents ont fait l'objet d'une estimation de dose par l'IRSN :

Incident dans une unité de médecine nucléaire :

Une élève manipulatrice dans une unité de médecine nucléaire a été contaminée par du thallium-201. Alors qu'elle s'apprêtait à injecter à un patient le contenu d'une seringue de ^{201}Tl , la tubulure du cathéter s'est désolidarisée de la seringue sous l'effet de la pression, le robinet étant mal ouvert. Le contenu de la seringue a été projeté sur le visage, la blouse et les mains de l'élève.

A la demande de l'établissement et de manière à pouvoir classer l'événement conformément au guide de déclaration, l'IRSN a procédé à une évaluation des doses reçues par l'élève. La dose à la peau au niveau du visage a été estimée à environ 0,4 mSv et celle au cristallin à 0,3 mSv.

Incident dans un département de radiothérapie :

Une manipulatrice d'un département de radiothérapie a été exposée accidentellement lors du traitement d'un patient. Se trouvant encore dans la salle au moment où l'irradiation a été lancée, elle a été exposée partiellement au faisceau de rayonnement X délivré au patient. L'irradiation a duré une dizaine de secondes avant d'être interrompue.

A la demande de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN), l'IRSN a réalisé une reconstitution dosimétrique. La dose efficace a été estimée à environ 30 mSv.

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 et rend compte des difficultés rencontrées en matière de surveillance radiologique des travailleurs.

Le bilan des expositions des travailleurs pour l'année 2007 permet de souligner les points marquants suivants :

- le nombre de travailleurs surveillés tous secteurs d'activité confondus a augmenté de 5,7% en 2007, ce qui confirme les tendances observées les années précédentes (+ 7,3% en 2005 et + 1,5% en 2006) ;
- les variations observées d'une année sur l'autre sont faibles pour ce qui concerne la dose collective totale associée aux expositions externes. L'augmentation observée en 2007 (+9%) par rapport l'année 2006 est liée à la diminution du seuil d'enregistrement ;
- 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 est plus faible (22 cas) qu'en 2006 (26 cas), confirmant la baisse observée entre 2005 et 2006. 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 ;
- le nombre de travailleurs surveillés vis-à-vis du risque d'exposition aux neutrons représente 10% de l'effectif surveillé total, alors que la dose collective « neutrons » représente seulement 2% de la dose collective totale (toutes composantes de rayonnements confondues). Les travailleurs concernés par cette surveillance supplémentaire sont employés 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 ;
- plus de 7% des travailleurs surveillés bénéficient d'une dosimétrie supplémentaire des extrémités (mains, doigts). En 2007, les doses individuelles moyennes mesurées au niveau des poignets et des doigts sont de 2,1 mSv et 6,8 mSv respectivement. C'est dans le secteur médical que les doses aux extrémités sont les plus élevées, où un cas de dépassement de la limite annuelle de dose aux extrémités a été recensé ;

- 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. En 2007, 5 cas de contamination interne ont été recensés, avec des valeurs de doses estimées ne dépassant pas 2,5 mSv ;
- le nombre « d'évènements de radioprotection » impliquant des travailleurs, recensés par l'IRSN, tous types et secteurs d'activité confondus, est stable par rapport à l'année 2006 ;
- le bilan annuel de l'exposition des travailleurs inclut désormais les statistiques de la surveillance des expositions externe et interne des personnels suivis par le Service de Protection Radiologique des Armées, qui complètent pour le secteur de la défense les données déjà communiquées par les sites de la Direction des affaires militaires (DAM) du CEA.

L'analyse des dossiers transmis par les exploitants dont les activités mettent en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides (industries « NORM ») a montré que les travailleurs concernés par ces activités sont potentiellement exposés à des doses non négligeables (expositions naturelles renforcées).

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 de contrôle indépendante (ASN) et celle d'un institut d'expertise et de recherche en radioprotection (IRSN).

Dans ce contexte, la connaissance des doses reçues par les travailleurs s'améliore un peu plus chaque année. L'amélioration de la robustesse des bilans dosimétriques sera apportée par une connaissance plus précise du nombre de travailleurs suivis et de leur répartition par secteur d'activité et par métier. Cette connaissance permettra d'identifier plus précisément les secteurs et les métiers les plus à risques. L'utilisation des données centralisées dans le système SISERI permettra à terme de répondre à tous ces points lorsqu'un certain nombre de difficultés techniques seront levées concernant :

- la transmission des données de dosimétrie passive à SISERI par les laboratoires agréés aussi régulièrement que le prévoit la réglementation et dans le respect de la qualité des données exigée ;
- la transmission des données de la surveillance des expositions internes. Les actions menées dans ce sens par l'IRSN avec les laboratoires concernés conduiront à une transmission effective des données en 2009 ;
- la transmission des données concernant les personnels navigants. Cette transmission devrait être généralisée rapidement ;

- la mise en œuvre dans SISERI de nouvelles nomenclatures des activités et des métiers partagées par les employeurs, les laboratoires de surveillance dosimétrique et l'IRSN chargé *in fine* de collecter et de traiter l'ensemble des informations dosimétriques concernant les travailleurs exposés.

Pour obtenir le panorama complet des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants, les données individuelles concernant les expositions naturelles renforcées et les expositions professionnelles au radon, ainsi que les doses reçues par des travailleurs hors du territoire, devraient être également incluses dans le bilan.

9. REFERENCES

- [1] Norme ISO 12790-1 (mars 2002). Radioprotection, les critères de performance pour l'analyse radiotoxicologique.
- [2] 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
- [3] La radioprotection des travailleurs - Bilan de la surveillance de l'exposition externe en 2003 (compléments apportés au rapport DRPH/SER/2004-38) - IRSN - Rapport DRPH/SER/2005-03 du 10/02/05 - Olivier COUASNON et Alain RANNOU
- [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 2004 - IRSN - Rapport DRPH/2005-09 du 15/11/05 - Alain RANNOU et Olivier COUASNON
- [6] 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
- [7] 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
- [8] Bilan de l'exposition externe passive des travailleurs en 2006 - IRSN - Rapport DRPH/SER/2007-17 du 19/09/07 - Olivier COUASNON
- [9] La radioprotection des travailleurs - Bilan 2006 de la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants en France - IRSN - DRPH/DIR/2008-4 du 01/02/08 - Alain RANNOU, Roselyne AMEON, Patrice BOISSON, Isabelle CLAIRAND, Olivier COUASNON, Didier FRANCK, Jean-Luc REHEL, Pascale SCANFF, Maylis TELLE-LAMBERTON
- [10] La radioprotection des travailleurs - Synthèse du bilan annuel 2006 des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants - IRSN - Rapport DRPH/SER/2007-18 du 20/09/07 - Olivier COUASNON
- [11] La radioprotection des travailleurs - Principaux éléments du bilan annuel 2007 des activités de l'IRSN - IRSN - Rapport DRPH/2007-07 du 04/12/07 - Alain RANNOU et Olivier COUASNON
- [12] Etat de la sûreté des installations nucléaires - Rapport Annuel 2007 - Inspection Générale AREVA

- [13] 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
- [14] Rapport d'activité OPRI - 1996 - OPRI - Protection des travailleurs
- [15] Rapport d'activité OPRI - 1997 - OPRI - Protection des travailleurs
- [16] Rapport d'activité OPRI - 1998 - OPRI - Mission Information et Communication - Bilan scientifique
- [17] Rapport d'activité OPRI - 1999 - OPRI - Mission Information et Communication - Bilan scientifique
- [18] Rapport d'activité OPRI - 2000 - OPRI - Mission Information et Communication - La radioprotection des travailleurs exposés
- [19] Rapport d'activité OPRI - 2001 - OPRI - Mission Information et Communication - La radioprotection des travailleurs exposés
- [20] La radioprotection des travailleurs exposés (Eléments de statistiques dosimétriques de l'année 2002 communiqués à la DRT) - IRSN - A. BIAU
- [21] Congrès SFRP 2006 - Etude de dosimétrie d'extrémités sur les postes de travail des INB 32 & 54 (AREVA NC) du CEA Cadarache - Quang CHAU (IRSN/DRPH/SDE/LDRI) et Philippe BRUGUIER (CEA/DEN/D2S/SPR/LRIC)
- [22] Journées SFRP - Paris, 27-28 mai 2008 - Dosimétrie d'extrémités pour les applications médicales : Principaux résultats du contrat européen CONRAD - Laurent DONADILLE (IRSN/DRPH/SDE/LDRI)

ANNEXE I : PANORAMA DES TECHNIQUES ACTUELLEMENT UTILISEES EN FRANCE POUR LA SURVEILLANCE DES TRAVAILLEURS EXPOSES AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

La présente annexe a pour vocation de présenter les techniques de mesure relatives aux données constitutives des bilans statistiques présentés dans ce rapport. Il est important de souligner une différence importante existant entre le suivi de l'exposition externe et le suivi de l'exposition interne. Le suivi de l'exposition externe repose sur des mesures directes et bien standardisées, à partir du moment où le type de rayonnements ionisants auxquels les travailleurs sont exposés est connu. Dans tous les cas, la détermination de la dose externe est possible. Le suivi de l'exposition interne a davantage pour but de vérifier l'absence de contamination que d'estimer systématiquement la dose interne, le calcul de la dose engagée impliquant une démarche plus complexe qui fait intervenir de nombreux paramètres souvent déterminés avec une incertitude importante. Ce calcul n'est par conséquent réalisé que dans les cas où la contamination mesurée est jugée significative (Cf. §2.3. de cette annexe).

En application de l'article R. 4453-21 du code du travail, les mesures ou les calculs nécessaires à la surveillance des travailleurs exposés sont réalisés par l'un des organismes suivants :

- l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire ;
- un service de santé au travail titulaire d'un certificat d'accréditation ;
- un organisme ou un laboratoire d'analyses de biologie médicale (LABM) titulaire d'un certificat d'accréditation et agréé par l'Autorité de sûreté nucléaire.

1. SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION EXTERNE

Cette première partie est consacrée aux différents dosimètres individuels passifs fournis par les laboratoires d'exploitation dosimétrique en France en 2007.

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 doit permettre d'évaluer les doses équivalentes à certains organes ou parties du corps (tête, poignet, main, pied, doigt, abdomen, etc.) et de contrôler ainsi le respect des valeurs limites de doses équivalentes fixées aux articles R. 4451-12 et R. 4451-13 du code du travail.

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.

1.1. LES ORGANISMES IMPLIQUES DANS LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION EXTERNE

A la fin de l'année 2007, les organismes ayant un agrément pour la surveillance individuelle de l'exposition externe des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants sont au nombre de 7 : DOSILAB, AREVA NC La Hague, AREVA NC Marcoule, IPHC de Strasbourg, IPN d'Orsay, LCIE-LANDAUER et le SPRA (les laboratoires de l'IRSN n'étant pas soumis à agrément).

1.2. 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, mais après une stimulation par diodes électroluminescentes au lieu du chauffage. Contrairement au TLD, l'OSL autorise la relecture du dosimètre. En effet, 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 est l'une des deux techniques de dosimétrie des neutrons les plus utilisées, l'autre étant la technique TLD. Le détecteur solide de traces (plastique dur, en général du CR39³⁵) est inséré dans un étui muni d'un « radiateur » qui, suivant sa composition, permet la détection des neutrons sur une large gamme d'énergie.

1.3. LE SEUIL D'ENREGISTREMENT DES DOSES EXTERNES PASSIVES

La réglementation³⁶ fixe les règles de mise en œuvre de la dosimétrie externe passive. Elle impose notamment l'utilisation de grandeurs opérationnelles³⁷, à savoir les équivalents de dose individuels $H_p(10)$ et $H_p(0,07)$, 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 seuil d'enregistrement (plus petite dose non nulle enregistrée) et le pas d'enregistrement sont respectivement fixés par la réglementation à 0,1 mSv et à 0,05 mSv. Avant le 1^{er} janvier 2008, le seuil d'enregistrement était fixé à 0,2 mSv. Certains laboratoires ont anticipé cette évolution et ont en 2007 enregistré les doses à partir de 0,1 mSv. Rappelons que le seuil d'enregistrement est à distinguer de la notion de seuil de détection du dosimètre.

Conformément à la réglementation, le seuil d'enregistrement des doses externes passives 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 les laboratoires utilisant le dosimètre photographique à changer de technique de dosimétrie. Ainsi, la société LCIE-LANDAUER et le SPRA ont abandonné progressivement le film photographie pour l'OSL. En 2008, l'IRSN a mis en œuvre la technologie RPL pour la dosimétrie corps entier des travailleurs.

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-1 rassemble les données relatives aux différents dosimètres utilisés en France en 2007.

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.

³⁵ Columbia Resin 39

³⁶ 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.

³⁷ Selon les recommandations de l'ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements).

Tableau I-1 - Panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2007

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 ³⁸ ou équipé d'un radiateur en téflon ³⁹	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), TLD (poitrine) ou RPL ⁴⁰ (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 ⁴¹ , associé au film PS1) ou TLD	0,1 (0,2 pour le PN3)	Neutrons : détecteur solide de traces (PN3)	0,2	-	-
DOSILAB (Meaux)	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 ⁴² (TLD)	0,15	X, β , γ et neutrons : extREM (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 ⁴³	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

2. SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION INTERNE

La surveillance de l'exposition interne concerne les personnels travaillant dans un environnement susceptible de contenir des substances radioactives (manipulation de sources non scellées, opérations de décontamination,...). Les voies possibles d'incorporation de ces composés radioactifs sont l'inhalation, l'ingestion, la pénétration transcutanée et la blessure. L'irradiation des tissus et des organes se poursuit tant que le radionucléide est présent dans l'organisme. De ce fait, la dose engagée apprécie l'exposition interne reçue en 50 ans (pour un adulte) au niveau d'un organe, d'un tissu ou de l'organisme entier par suite de l'incorporation d'un ou plusieurs radionucléides.

La surveillance individuelle de l'exposition interne est mise en œuvre par le chef d'établissement dès lors qu'un travailleur opère dans une zone surveillée ou contrôlée où il existe un risque de contamination. Le choix et la périodicité des examens sont déterminés par le médecin du travail, en fonction de la nature de l'exposition, de son intensité et des périodes radioactive et biologique des

³⁸ Mesure des neutrons intermédiaires et rapide.

³⁹ Permettant la mesure supplémentaire des neutrons thermiques.

⁴⁰ Depuis janvier 2008.

⁴¹ PN3 : détecteur de traces créées par les protons de recul sur les noyaux d'hydrogène.

⁴² Dosimètre développé par COGEMA (AREVA) pour la mesure des rayonnements X, β , γ et neutrons. Le support des dosimètres thermoluminescents (cartouche de fluorure de lithium) et des détecteurs fonctionnant par activation (dosimétrie accidentelle de criticité).

⁴³ Le SPRA utilise aussi des détecteurs solides de traces de type PN3 en dehors de la surveillance des HIA.

radionucléides en cause. La norme ISO 20553 [8] définit les programmes optimaux de surveillance individuelle : de routine (ou systématique), spéciale, de contrôle et de chantier. Il existe deux grandes techniques adaptées à la surveillance de l'exposition interne : l'anthroporadiamétrie (Cf. §2.1), qui est une mesure directe *in vivo* de la contamination, et la radiotoxicologie (Cf. §2.2), qui repose sur des analyses *in vitro* de la contamination dans les excréta. Ces techniques ne sont pas nécessairement exclusives et peuvent être mises en œuvre conjointement pour un meilleur suivi de l'exposition. Le cas échéant, le calcul de la dose engagée est réalisé sous la responsabilité du médecin du travail, à partir des résultats des mesures anthroporadiamétriques et des analyses radiotoxicologiques, en tenant compte de la répartition du radionucléide dans l'organisme et de son devenir en fonction du temps (Cf. §3).

2.1. LES ORGANISMES IMPLIQUES DANS LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION INTERNE

A la fin de l'année 2007, les LABM ayant un agrément pour la surveillance individuelle de l'exposition interne des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants (radiotoxicologie et anthroporadiamétrie) sont au nombre de 5 : AREVA NC La Hague, CEA Cadarache, CEA Grenoble, CEA Marcoule et EDF Saint-Denis. Le laboratoire du SPRA a reçu un agrément en 2008, avant la publication du présent rapport. Les agréments sont délivrés sur décision de l'ASN pour une durée de 3 ans maximum.

2.2. LES METHODES DE MESURE DE CONTAMINATION

2.2.1. Les examens anthroporadiamétriques

L'anthroporadiamétrie consiste à quantifier l'activité retenue à un instant donné dans l'organisme entier ou dans un organe spécifique (poumons, thyroïde, etc.) en détectant les rayonnements X ou γ associés à la désintégration du(es) radionucléide(s) incorporé(s). Les mesures du corps entier sont particulièrement bien adaptées aux émetteurs de rayonnements d'énergie supérieure à 200 keV (produits de fission et d'activation). Les mesures pulmonaires des émetteurs de rayonnements X et γ de basse énergie permettent de déterminer la rétention d'activité en cas d'exposition aux actinides (le plutonium 239 par exemple) ; cette technique reste cependant limitée par sa faible sensibilité. Enfin, la mesure thyroïdienne à l'aide de détecteurs spécifiques est mise en œuvre pour les isotopes de l'iode.

Les mesures anthroporadiamétriques sont réalisées dans des cellules blindées, afin de réduire le bruit de fond ambiant, équipées de système de mesure possédant un ou plusieurs détecteurs. Il s'agit soit de détecteurs semi-conducteurs de type Germanium Hyper Pur (Ge HP), soit de détecteurs à scintillation de type iodure de sodium dopé au thallium (NaI(Tl)).

L'identification des radionucléides présents est obtenue en comparant à des énergies caractéristiques, les pics d'absorption totale à celles des spectres des radionucléides enregistrés dans les bibliothèques de données nucléaires. L'activité est déterminée par comparaison entre l'aire des pics obtenus lors des mesures de personnes et les valeurs de référence obtenues lors de mesures de

fantômes anthropomorphes utilisés pour l'étalonnage du système de détection. Cette technique est donc sensible à l'étalonnage : celui en énergie, réalisé à l'aide de sources étalons, et celui en efficacité, réalisé à l'aide de fantômes anthropomorphes dans lesquels on place des sources d'activité connue.

2.2.2. Les analyses radiotoxicologiques

Les analyses radiotoxicologiques ont pour objet la mesure de la concentration d'activité présente dans un échantillon d'excréta. Les échantillons sont le plus souvent constitués de prélèvements d'urines, de selles ou de mucus nasal. Des analyses radiotoxicologiques à partir d'échantillons sanguins ou de phanères peuvent également être réalisées.

Les émetteurs α peuvent être détectés par comptage α global ou par spectrométrie α . Le comptage α réalisé à l'aide de compteurs proportionnels à gaz ou de détecteurs à scintillation (ZnS) conduit à une mesure globale qui permet de déterminer rapidement le niveau d'activité, dans le contexte d'un incident par exemple. Seule la spectrométrie α permet de réaliser une analyse isotopique de l'échantillon, à l'aide d'un détecteur composé d'une diode en silicium ou d'un compteur à gaz. Pour cela, l'échantillon d'excréta subit préalablement un traitement radiochimique comprenant la minéralisation de l'échantillon, une purification chimique (chromatographie de partage ou résine anionique) et une fabrication des sources en couche mince, indispensable pour minimiser l'atténuation énergétique des particules α que l'on cherche à détecter. Certains laboratoires utilisent également des méthodes non radiométriques (techniques de mesures pondérales ou spectrométrie de masse pour la mesure de l'uranium notamment) qui sont des méthodes rapides permettant un tri en cas d'incident ou de suspicion de contamination.

Les émetteurs β sont principalement mesurés par scintillation liquide. Cette méthode consiste à mélanger l'échantillon à analyser avec un liquide scintillant. L'émission des particules β provoque l'excitation de certains atomes du milieu scintillant. Lors de leur retour à l'état fondamental, ces atomes émettent des photons qui peuvent être détectés. Suivant le radioélément considéré, cette méthode est mise en œuvre directement ou à la suite d'une précipitation sélective. Les émetteurs β peuvent également être mesurés à l'aide d'un compteur proportionnel après une étape préalable de séparation chimique du radioélément.

Les émetteurs X et γ sont détectés par spectrométrie directe à l'aide d'un détecteur au germanium ou à l'iodure de sodium, suivant le même principe d'analyse des pics d'absorption mis en œuvre en anthroporadiométrie.

Les méthodes d'analyses radiotoxicologiques sont sensibles à la fois aux performances des détecteurs utilisés, directement dépendantes de leur étalonnage, et aux procédés chimiques employés dans les étapes de séparation et de purification des radioéléments.

2.3. L'ESTIMATION DOSIMETRIQUE

Afin de vérifier la conformité des résultats de la surveillance de l'exposition interne des travailleurs avec la réglementation, les mesures anthroporadiométriques et/ou radiotoxicologiques doivent être interprétées en termes de dose engagée, à l'aide de modèles systémiques, spécifiques à chaque élément publiés, par la CIPR⁴⁴ (publications 30, 56, 67, 69, etc.) et de modèles décrivant la biocinétique des radioéléments et la propagation des rayonnements dans les tissus. Des modèles biocinétiques correspondant aux deux voies d'incorporation les plus fréquentes ont été publiés par la CIPR : le modèle des voies respiratoires pour l'incorporation par inhalation (publication 66) et le modèle gastro-intestinal pour l'incorporation par ingestion (publication 100).

En pratique, une estimation dosimétrique comporte deux étapes :

1. l'estimation de l'activité incorporée I (Bq) : $I = M/m(t)$

où M est la valeur d'activité (Bq) mesurée t jours après la contamination et $m(t)$ la valeur de la fonction m de rétention ou d'excrétion à la date de la mesure

2. le calcul de la dose engagée E (Sv) : $E = I \cdot \epsilon$

où I est l'activité incorporée (Bq) et ϵ le coefficient de dose par unité d'incorporation (Sv/Bq), tel que précisé dans le Code de la santé publique (arrêté du 1^{er} septembre 2003)

L'estimation dosimétrique est un exercice rendu complexe par le fait que tous les paramètres nécessaires à sa réalisation ne sont pas connus de façon précise. C'est en particulier le cas du temps d'incorporation. Dans le cadre de la surveillance spéciale, le moment de l'incorporation n'est pas toujours déterminé. Dans le cadre de la surveillance de routine, la CIPR recommande de supposer que l'incorporation a lieu au milieu de l'intervalle de surveillance, qui peut être de plusieurs mois. D'autres paramètres peuvent être connus avec des incertitudes, en particulier les caractéristiques physico-chimiques du contaminant, qui sont représentées par défaut par des valeurs de référence : type d'absorption $F/M/S/V$, facteur de transfert gastro-intestinal f_1 et diamètre aérodynamique médian en activité (DAMA) de 1 ou de 5 μm . *In fine*, l'établissement d'un scénario de contamination le plus réaliste possible, tenant compte des différentes mesures de contamination mises en œuvre dans le programme de surveillance du travailleur exposé et des conditions dans lesquelles a eu lieu la contamination, peut permettre d'adapter le modèle dosimétrique à la situation d'exposition spécifique.

2.4. LES SEUILS UTILISES POUR LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION INTERNE

La figure 32 décrit les seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs.

⁴⁴ Commission Internationale de Protection Radiologique

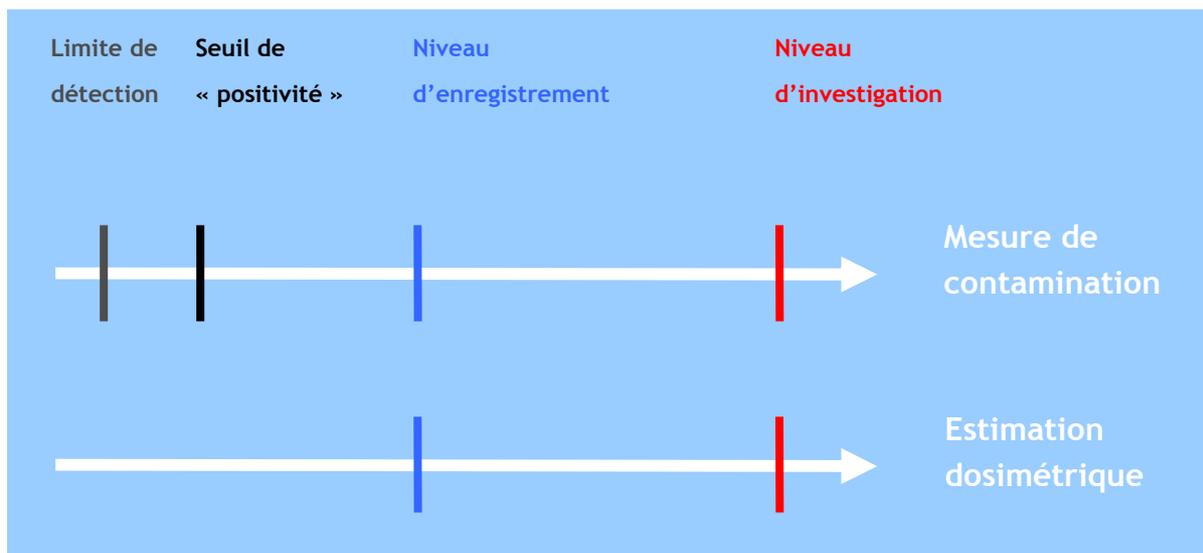


Figure 32 - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs

La limite de détection (LD) est la plus petite valeur détectable avec une incertitude acceptable, dans les conditions expérimentales décrites par la méthode de mesure. La LD est l'un des critères de performance des mesures radiotoxicologiques et anthroporadiométriques. Le tableau I-2 présente les limites de détection atteintes par ces méthodes dans les laboratoires français en 2007, pour un certain nombre de radionucléides caractéristiques. Ces données ont été obtenues dans le cadre d'une enquête réalisée auprès des différents laboratoires de dosimétrie interne. Il apparaît que pour un examen donné, les LD diffèrent parfois de plusieurs ordres de grandeurs d'un laboratoire à l'autre. Ceci s'explique par le fait que la LD dépend de nombreux paramètres, parmi lesquels la durée de la mesure (suivant le programme de surveillance, la durée de la mesure peut être augmentée pour atteindre une meilleure LD), le type et les performances intrinsèques du ou des détecteurs utilisés : efficacité, résolution, bruit de fond, ainsi que la géométrie servant à l'étalonnage de ces détecteurs.

En pratique, il est parfois utile pour les radionucléides naturels présents dans l'organisme en dehors de toute activité professionnelle de considérer un seuil de « positivité », non défini dans la norme ISO 20553 [8], au-delà duquel l'analyse ou l'examen sont considérés positifs. Ce seuil est supérieur ou égal à la LD. A titre d'exemple, la limite de détection pour l'analyse de l'uranium dans les selles est inférieure à 0,01 Bq par prélèvement pour 9 laboratoires. Cependant, un de ces laboratoires indique un seuil de « positivité » égal à 0,07 Bq par prélèvement, de façon à s'affranchir d'une mesure d'uranium d'origine naturelle (présence dans la chaîne alimentaire), peu pertinente dans le cadre de la surveillance des travailleurs exposés. Dans les bilans statistiques présentés dans ce rapport, sont précisés les nombres d'examens considérés comme positifs dans le cadre de la surveillance de routine.

Tableau I-2 - Panorama des limites de détection observées pour les principales techniques de dosimétrie interne mises en œuvre en France en 2007

Type d'examen	Type de rayonnements	Radionucléide(s) considéré(s)	Limites de détection (LD)
Radiotoxicologie des prélèvements nasaux	α B γ/X		de 0,04 à 0,7 Bq* de 0,02 à 4 Bq* 37 Bq*
Radiotoxicologie des selles	α γ/X	actinides ⁶⁰ Co, ¹³⁷ Cs, ⁵⁴ Mn, ¹¹⁰ Ag	de 0,00002 à 0,05 Bq* 1 Bq*
Radiotoxicologie des urines	α	uranium pondéral uranium actinides (sauf uranium) ²¹⁰ Po	de 0,1 à 4 µg/L de 0,0002 à 0,01 Bq de 0,0002 à 0,2 Bq
	B	³ H ¹⁴ C ³² P ³⁵ S ³⁶ Cl ⁹⁰ Sr	de 0,006 à 0,02 Bq/L de 50 à 300 Bq/L de 60 Bq/L à 370 Bq/L de 6 à 15 Bq/L de 5 à 20 Bq/L de 60 à 200 Bq/L de 0,2 à 0,5 Bq/L
	γ/X	B totaux tous radionucléides	de 0,12 Bq/L à 0,4 Bq/L 1 à 75 Bq/L
Anthroporadiamétrie corps entier	γ/X	¹³⁷ Cs ⁶⁰ Co	de 30 Bq à 210 Bq de 40 Bq à 150 Bq
Anthroporadiamétrie pulmonaire	γ/X	²⁴¹ Am ²³⁵ U ²³⁹ Pu	de 5 Bq à 15 Bq de 7 Bq à 9 Bq 2 200 à 7 000 Bq
Anthroporadiamétrie de la thyroïde	γ/X	¹³¹ I ¹²⁵ I	de 2 Bq à 30 Bq de 20 à 25 Bq

* il s'agit de Bq par échantillon ou prélèvement

Dans le cas où la mesure dépasse la LD (ou le cas échéant, le seuil de positivité), le médecin du travail a la responsabilité de réaliser ou non une estimation dosimétrique. Il n'existe pas à l'heure actuelle de référentiel réglementaire sur les valeurs à partir desquelles l'estimation dosimétrique doit être réalisée. Deux niveaux de référence sont définis par la norme ISO 20553 [8] comme étant les valeurs des quantités au-dessus desquelles une action particulière doit être engagée ou une décision doit être prise : le niveau d'enregistrement et le niveau d'investigation.

Le niveau d'enregistrement est le niveau de dose, d'exposition ou d'incorporation (déterminé par l'employeur ou par une autorité compétente) à partir duquel les valeurs doivent être consignées dans le dossier médical. La valeur de ce niveau ne doit pas dépasser 5% des limites annuelles de dose (pour une période de surveillance donnée). Dans les bilans statistiques présentés dans ce rapport, nous avons considéré un niveau d'enregistrement égal à 1 mSv.

Le niveau d'investigation est le niveau de dose, d'exposition ou d'incorporation (déterminé par l'employeur ou par une autorité compétente) à partir duquel l'estimation dosimétrique doit être confirmée par des investigations additionnelles. La valeur de ce niveau ne doit pas dépasser 30% des limites annuelles de dose, soit actuellement 6 mSv.

ANNEXE II : BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES DES TRAVAILLEURS EN 2006

Tableau II - Bilan des expositions externes des travailleurs en 2006

Cf. référence [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 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 (DCNS)	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
	<i>Rappel des résultats de 2005</i>	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.

**** Suite à une erreur d'attribution du secteur d'activité, les effectifs de travailleurs surveillés de certains établissements de DCNS ont été classés dans la ligne 21 « Administration ». Les effectifs à considérer sont les suivants : 1 582 travailleurs surveillés dans le secteur de la défense (ligne 20) et 1 213 travailleurs surveillés dans les administrations (ligne 21).