

# La radioprotection des travailleurs

Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants  
en France : bilan 2009

DIRECTION DE LA RADIOPROTECTION DE L'HOMME



---

---

## RESUME

En France, près de 320 000 travailleurs sont susceptibles d'être exposés à des sources artificielles de rayonnements ionisants dans différents secteurs d'activité professionnelle civile soumise à un régime d'autorisation ou de déclaration (industrie, recherche, médecine) ou des activités de défense. Des travailleurs sont par ailleurs susceptibles d'être exposés à des sources naturelles de rayonnements (industries « NORM », radon et aviation). 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 dresse un bilan des expositions professionnelles pour l'année 2009.

---

---

## ABSTRACT

In France, near 320 000 workers are potentially exposed to ionizing radiation in various areas of civilian professional activity (industry, research, medicine) and activity of defense. Further workers may be exposed to natural sources of radiation (« NORM » industries, radon, and aviation). As part of its participation in the permanent monitoring of radiological protection, the Institute of radiation protection and nuclear safety (IRSN) operates radiological monitoring of these occupational exposures. This document presents the work carried out in this field by IRSN and reports on the occupational exposures for the year 2009.

---

---

## MOTS-CLES

Travailleurs, doses, bilan des expositions, secteurs d'activité, poste de travail, incidents

# SOMMAIRE

<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>8</b>
<b>2.</b>	<b>MODALITES DE LA SURVEILLANCE DOSIMETRIQUE DES TRAVAILLEURS</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1.</b>	<b>Objectifs de la surveillance</b> .....	<b>9</b>
<b>2.2.</b>	<b>Agréments des organismes de dosimétrie</b> .....	<b>9</b>
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 de dosimétrie passive.....	10
2.2.3.	Intercomparaison d'analyses radiotoxicologiques.....	11
2.2.4.	Intercomparaison de mesures anthroporadiométriques.....	12
<b>2.3.</b>	<b>Système SISERI</b> .....	<b>13</b>
2.3.1.	La transmission des données à SISERI en 2009.....	14
2.3.2.	La consultation des données de SISERI en 2009.....	17
2.3.3.	Vers l'utilisation de SISERI pour l'établissement des statistiques annuelles des expositions des travailleurs.....	18
<b>3.</b>	<b>EXPOSITIONS DES TRAVAILLEURS DANS LES SECTEURS D'ACTIVITES CIVILES SOUMISES A UN REGIME D'AUTORISATION OU DE DECLARATION ET DES ACTIVITES DE DEFENSE</b> .....	<b>19</b>
<b>3.1.</b>	<b>Bilan des expositions externes</b> .....	<b>19</b>
3.1.1.	METHODOLOGIE ET HYPOTHESES RETENUES.....	19
3.1.2.	DOSIMETRIE « CORPS ENTIER ».....	21
3.1.2.1.	Résultats généraux.....	21
3.1.2.1.1.	Exposition totale (photons et neutrons).....	21
3.1.2.1.2.	Contribution des neutrons.....	24
3.1.2.2.	Analyse suivant les activités professionnelles.....	25
3.1.2.2.1.	Exposition totale (photons et neutrons).....	25
3.1.2.2.2.	Contribution des neutrons.....	30
3.1.2.3.	Evolutions par rapport aux années précédentes (période 1996-2009).....	31
3.1.2.3.1.	Exposition totale (photons et neutrons).....	34
3.1.2.3.2.	Contribution des neutrons.....	36
3.1.3.	DOSIMETRIE DES EXTREMITES.....	36
3.1.3.1.	Dosimétrie poignet.....	37
3.1.3.2.	Dosimétrie bague.....	38
3.1.4.	CONCLUSION.....	40
<b>3.2.</b>	<b>Bilan des expositions internes</b> .....	<b>42</b>
3.2.1.	ELEMENTS DE CONTEXTE.....	42
3.2.1.1.	Les secteurs d'activité.....	42
3.2.1.2.	Mise en œuvre de la surveillance.....	42
3.2.1.3.	Méthodologie et hypothèses retenues.....	43
3.2.2.	BILAN GENERAL.....	44
3.2.2.1.	Surveillance de routine.....	44
3.2.2.2.	Surveillance spéciale ou surveillance de contrôle.....	45

3.2.2.3. Estimations dosimétriques .....	45
3.2.2.4. Difficultés liées à la surveillance de l'exposition interne des travailleurs .....	45
3.2.3. BILAN PAR SECTEUR D'ACTIVITE .....	52
3.2.3.1. Industrie nucléaire .....	53
3.2.3.2. Activités du CEA .....	56
3.2.3.3. Médecine et recherche .....	56
3.2.3.4. Défense .....	57
3.2.4. EVOLUTION PAR RAPPORT AUX ANNEES PRECEDENTES (PERIODE 2006-2009) .....	58
3.2.4.1. Evolution dans le cadre de la surveillance de routine .....	58
3.2.4.2. Evolution dans le cadre de surveillance spéciale ou de contrôle .....	61
3.2.4.3. Evolution des estimations dosimétriques .....	61
3.2.5. CONCLUSION .....	62
<b>3.3. Dépassements des limites annuelles réglementaires de dose .....</b>	<b>64</b>
3.3.1. GESTION DES SITUATIONS DE DEPASSEMENT .....	64
3.3.2. BILAN DE L'ANNEE 2009 .....	65
3.3.3. EVOLUTION PAR RAPPORT AUX ANNEES PRECEDENTES (PERIODE 1996-2009) .....	66
3.3.3.1. Evolution du nombre de travailleurs ayant reçu une dose externe annuelle supérieure à 20 mSv .....	66
3.3.3.2. Evolution du nombre de travailleurs ayant reçu une dose externe annuelle supérieure à 50 mSv .....	67
<b>4. EXPOSITIONS DES TRAVAILLEURS A LA RADIOACTIVITE NATURELLE .....</b>	<b>68</b>
<b>4.1. Industries « NORM » .....</b>	<b>68</b>
4.1.1. BILAN DES ETUDES ANALYSEES PAR L'IRSN .....	68
4.1.2. ETUDE CONCERNANT LE TRANSPORT DES « NORM » .....	71
4.1.2.1. Contexte de l'étude concernant le transport de NORM .....	71
4.1.2.2. Évaluation des doses reçues pour le transport de NORM .....	72
<b>4.2. Radon .....</b>	<b>74</b>
<b>4.3. Exposition aux rayonnements cosmiques .....</b>	<b>74</b>
<b>5. ACTIONS DANS LE DOMAINE DE LA RADIOPROTECTION DES TRAVAILLEURS .....</b>	<b>76</b>
<b>5.1. Actions dans le cadre de processus d'optimisation et d'harmonisation des pratiques .....</b>	<b>76</b>
5.1.1. PARTICIPATION AUX ETUDES MENEES DANS LE CADRE D'ORAMED .....	76
5.1.2. PARTICIPATION A UNE INTERCOMPARAISON INTERNATIONALE SUR LA DOSIMETRIE OPERATIONNELLE .....	77
<b>5.2. Actions concernant les études de poste .....</b>	<b>78</b>
5.2.1. GUIDE IRSN POUR LA REALISATION DES ETUDES DE POSTES .....	78
5.2.2. ETUDES DE POSTE REALISEES PAR L'IRSN .....	78
5.2.3. EXEMPLE D'UNE ETUDE PILOTE REALISEE EN RADIOLOGIE CONVENTIONNELLE .....	79
<b>5.3. Suivi des incidents et des événements de radioprotection .....</b>	<b>81</b>
5.3.1. Evènements de radioprotection recensés par l'IRSN .....	81
5.3.2. Evènements déclarés à l'Autorité de Sûreté Nucléaire au titre de la radioprotection .....	82
5.3.2.1. Incidents dans les installations nucléaires de base et incidents de transport .....	82
5.3.2.2. Incidents hors installations nucléaires de base et transport déclarés au titre du guide ASN/DEU/03 .....	83

5.3.3.	Alertes de dépassement des limites réglementaires de dose.....	83
5.3.4.	Evolution par rapport aux années précédentes .....	84
<b>5.4.</b>	<b>Autres actions .....</b>	<b>85</b>
5.4.1.	CALCULS DE RADIOPROTECTION POUR LES BUNKERS DE RADIOTHERAPIE .....	85
5.4.1.1.	Contexte.....	85
5.4.1.2.	Etudes réalisées en 2009 .....	86
5.4.2.	CONTROLES DE RADIOPROTECTION .....	88
5.4.3.	PARTICIPATION A LA MISSION DE LA CNDP .....	88
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONS .....</b>	<b>90</b>
<b>7.</b>	<b>REFERENCES .....</b>	<b>93</b>
<b>ANNEXE I : PANORAMA DES TECHNIQUES ACTUELLEMENT UTILISEES EN FRANCE</b>		
<b>POUR LA SURVEILLANCE DES TRAVAILLEURS EXPOSES AUX RAYONNEMENTS</b>		
<b>IONISANTS.....</b>		
<b>1.</b>	<b>SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION EXTERNE .....</b>	<b>96</b>
1.1.	Dosimétrie externe passive.....	96
1.1.1.	LES ORGANISMES IMPLIQUES.....	97
1.1.2.	LES DIFFERENTES TECHNIQUES .....	97
1.1.3.	LE SEUIL D'ENREGISTREMENT DES DOSES EXTERNES PASSIVES .....	98
1.2.	Dosimétrie des personnels navigants .....	100
<b>2.</b>	<b>SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION INTERNE .....</b>	<b>100</b>
2.1.	Les organismes impliqués dans la surveillance de l'exposition interne	101
2.2.	Les méthodes de mesure de contamination.....	101
2.2.1.	LES EXAMENS ANTHROPORADIOMETRIQUES .....	101
2.2.2.	LES ANALYSES RADIOTOXICOLOGIQUES.....	102
2.3.	L'estimation dosimétrique de la dose interne .....	103
2.4.	Les seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne.....	103
<b>ANNEXE II : NOMENCLATURE DES SECTEURS D'ACTIVITE .....</b>		
<b>ANNEXE III : NOMENCLATURE DES METIERS .....</b>		
		<b>108</b>

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

Tableau 1 - Bilan des doses externes passives - 2009 (page 1/2) .....	22
Tableau 1 - Bilan des doses externes passives - 2009 (page 2/2) .....	23
Tableau 2 - Répartition entre port mensuel et port trimestriel suivant les domaines d'activité (2009) .....	24
Tableau 3 - Bilan synthétique des doses externes passives - 2009 .....	25
Tableau 4 - Bilan des doses externes passives en 2009 (ancienne classification) .....	32
Tableau 5 - Répartition des doses externes passives en 2009 suivant les grands domaines d'activité (ancienne classification) .....	33
Tableau 6 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires .....	46
Tableau 7 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques fécales .....	47
Tableau 8 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de prélèvements nasaux.....	48
Tableau 9 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques .....	49
Tableau 10 - Examens réalisées à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale ou de contrôle) .....	50
Tableau 11 - Estimations dosimétriques de la dose interne .....	51
Tableau 12 - Bilan détaillé des mesures anthroporadiométriques réalisées par EDF pour les travailleurs des centrales nucléaires suivis en 2009.....	55
Tableau 13 - Principaux radionucléides émetteurs $\alpha$ , $\gamma$ et $\beta$ analysés par l'IRSN en 2009 .....	57
Tableau 14 - Limites annuelles réglementaires de doses.....	64
Tableau 15 - Dépassements des limites annuelles réglementaires de doses : bilan 2009 .....	65
Tableau 16 - Doses efficaces ajoutées recensées par l'IRSN.....	71
Tableau 17 - Bilan 2009 des doses individuelles annuelles des personnels navigants de l'aviation civile (compagnies Air France et Air Calédonie International) .....	75
Tableau 18 - Bilan 2009 des doses individuelles annuelles des personnels navigants de l'aviation militaire.....	75
Tableau 19 - Etudes de postes réalisées par l'IRSN en 2009 .....	79
Tableau 20 - Evénements déclarés au titre de la radioprotection dans les INB en 2009 .....	83
Tableau 21 - Evénements déclarés hors INB en 2009 .....	84
Tableau 22 - Evolution des événements « travailleurs » sur la période 2004 - 2009.....	85
Tableau 23 - Valeurs estimées des débits d'équivalent de dose instantanés et des doses efficaces horaires, mensuelles et annuelles en sortie des percements du linteau pour les conduits de ventilation avant modification, pour un accélérateur de 25 MV .....	87
Tableau 24 - Contrôles réalisés par le service d'intervention de l'IRSN en 2009 .....	89
Tableau I-1 - Panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2009 .....	99
Tableau I-2 - Limites de détection observées pour les principales techniques de dosimétrie interne mises en œuvre en France en 2009 .....	105
Figure 1 - Exemple de présentation graphique des résultats de l'intercomparaison en radiotoxicologie pour le plutonium 238.....	12
Figure 2 - Fantôme anthropomorphe IGOR dans trois configurations : 50kg, 70kg et 90kg (Research and Technical Centre « Protection », Saint-Petersbourg) .....	13
Figure 3 - Le système SISERI .....	14
Figure 4 - Répartition par secteur d'activité des établissements ayant transmis des données de dosimétrie opérationnelle en 2009 .....	15
Figure 5 - Répartition par secteur d'activité des données de dosimétrie opérationnelle transmises à SISERI en 2009.....	16
Figure 6 - Progression du nombre de personnes compétentes en radioprotection (PCR) et de médecins du travail (MDT) ayant accès à SISERI depuis sa mise en service.....	17
Figure 7 - Répartition par secteur d'activité des personnes compétentes en radioprotection (PCR) ayant accès à SISERI en 2009 .....	18
Figure 8 - Bilan synthétique des doses externes passives par domaines d'activité en 2009 (effectifs surveillés et doses collectives).....	26
Figure 9 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives dans le domaine médical et vétérinaire en 2009 .....	28

Figure 10 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives dans le domaine de l'industrie nucléaire (civile) en 2009 .....	29
Figure 11 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives pour la dosimétrie des neutrons en 2009 (hors EDF).....	31
Figure 12 - Evolution des effectifs surveillés et de la dose collective, de 1996 à 2009 .....	34
Figure 13 - Evolution des effectifs surveillés, par domaine d'activité, de 1996 à 2009.....	35
Figure 14 - Evolution des doses collectives, par domaine d'activité, de 1996 à 2009 .....	35
Figure 15 - Evolution des effectifs surveillés et des doses collectives pour l'exposition spécifique aux neutrons de 2005 à 2009 .....	36
Figure 16 - Importance relative de la surveillance de l'exposition aux extrémités par dosimétrie « bague » ou « poignet » en 2009, suivant les domaines d'activité .....	37
Figure 17 - Répartition des effectifs surveillés et des doses enregistrées pour la dosimétrie au poignet en 2009.....	38
Figure 18 - Répartition des effectifs surveillés et des doses enregistrées pour la dosimétrie bague en 2009.....	39
Figure 19 - Répartition des doses enregistrées pour la dosimétrie bague en 2009 pour les activités médicales et vétérinaires.....	40
Figure 20 - Nombre d'exams suivant les types d'analyses mises en œuvre pour assurer la surveillance de l'exposition interne dans les grands secteurs d'activité en 2009 (surveillance de routine).....	52
Figure 21 - Répartition des analyses réalisées dans les différentes entreprises du secteur nucléaire (surveillance de routine).....	53
Figure 22 - Répartition des analyses réalisées dans les établissements du CEA (surveillance de routine) .....	56
Figure 23 - Répartition des analyses réalisées au profit des personnels du ministère de la défense (surveillance de routine).....	58
Figure 24 - Evolution du nombre d'exams réalisés dans le cadre de la surveillance de routine entre 2006 et 2009 (tous secteurs d'activité confondus) .....	58
Figure 25 - Evolution du nombre d'exams de routine réalisés dans l'industrie nucléaire (AREVA et EDF) entre 2006 et 2009 .....	59
Figure 26 - Evolution du nombre d'exams de routine réalisés au CEA entre 2006 et 2009 .....	60
Figure 27 - Evolution du nombre d'exams de routine réalisés dans le médical et la recherche entre 2006 et 2009 .....	60
Figure 28 - Evolution du nombre d'exams de routine réalisés dans le secteur de la défense entre 2006 et 2009.....	61
Figure 29 - Evolution du nombre de travailleurs contaminés entre 2006 et 2009 .....	62
Figure 30 - Evolution, de 1996 à 2009, du nombre de travailleurs surveillés dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv.....	66
Figure 31 - Evolution, de 1996 à 2009, du nombre de travailleurs surveillés dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv, par domaine d'activité .....	67
Figure 32 - Evolution, de 1996 à 2009, du nombre de travailleurs ayant reçu une dose externe annuelle supérieure à 50 mSv .....	67
Figure 33 : Répartition des dossiers reçus selon les catégories d'activités professionnelles visées par les dispositions de l'arrêté du 25 mai 2005.....	69
Figure 34 : Distribution des doses efficaces calculées pour les travailleurs.....	69
Figure 35 : dose externe annuelle pour chaque groupe de radionucléides en utilisant leurs valeurs d'exemption. ....	73
Figure 36 : dose horaire interne pour chaque groupe de radionucléides en utilisant leurs valeurs d'exemption. ....	73
Figure 37 : Modélisation géométrique (code Monte Carlo MCNPX) permettant d'établir les cartographies de dose en radiologie interventionnelle .....	77
Figure 38 : Dosimètres thermoluminescents placés au niveau des mains .....	77
Figure 39 : Représentation du zonage autour de la table télécommandée. La zone derrière le pupitre est considérée en zone surveillée et les déshabilleurs, la chambre claire, les toilettes et le couloir sont considérés en zone non réglementée.....	80
Figure 40 : Représentation du zonage autour du potter vertical.....	80
Figure 41 - Répartition des événements « travailleur » selon les domaines d'activités.....	81
Figure 42 - Vue de haut d'un projet de construction d'un bunker de radiothérapie.....	86
Figure 43 - Vue de haut d'un projet de construction de deux bunkers de radiothérapie selon le système de murs « sandwichs » .....	87
Figure I - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs .....	104

## PRINCIPALES ABREVIATIONS

ASN : Autorité de Sûreté Nucléaire  
ATPu : Atelier de Technologie du Plutonium  
CEA : Commissariat à l'Energie Atomique et aux énergies alternatives  
CEI : Commission Electrotechnique Internationale  
CIPR : Commission Internationale de Protection Radiologique  
CNPE : Centre Nucléaire de Production d'Electricité  
COCT : Comité d'Orientation des Conditions de Travail  
COFRAC : Comité Français d'Accréditation  
DAM : Direction des Applications Militaires du CEA  
DGT : Direction Générale du Travail  
DSND : Délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection pour les activités et installations intéressant la défense  
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  
ISO : International Standard Organization  
LABM : Laboratoire d'Analyses de Biologie Médicale  
LAMR : Laboratoire d'Analyses Médicales Radiotoxicologiques de l'IRSN  
LDI: Laboratoire de Dosimétrie 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 dosemeter  
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  
SST : Service de Santé au Travail  
TLD : ThermoLuminescent Dosemeter

# 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 missions, celle d'information du public dans ses domaines de compétences : les risques nucléaires et radiologiques.

L'institut qui rassemble près de 1 800 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, en particulier celui de la radioprotection des travailleurs.

Dans ce domaine, 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 (DSND). 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 le bilan des expositions professionnelles établi par l'IRSN pour l'année 2009, compte tenu notamment de la nature des activités professionnelles, conformément à l'article R. 4451-128 du code du travail. Un panorama des techniques actuellement utilisées en France pour la surveillance de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants est présenté en annexe de ce document.

## 2. MODALITES DE LA SURVEILLANCE DOSIMETRIQUE DES TRAVAILLEURS

### 2.1. OBJECTIFS DE LA SURVEILLANCE

La surveillance dosimétrique 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 par chaque travailleur 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 estimer 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. Cette estimation est réalisée :
  - au moyen de dosimètres portés par les travailleurs, adaptés aux différents types de rayonnements, qui 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) ;
  - par le calcul, pour ce qui concerne les doses de rayonnements cosmiques reçues en vol par les personnels navigants, au moyen du système SIEVERT (Cf. ANNEXE I, § 1.2).
- 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. AGREMENTS DES ORGANISMES DE DOSIMETRIE

Les dispositions réglementaires du code du travail prévoient que les mesures de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants soient assurées par les laboratoires de l'IRSN, des services de santé au travail accrédités<sup>1</sup> ou par des organismes agréés par décision de l'Autorité de sûreté

---

<sup>1</sup> Uniquement pour les examens anthroporadiométriques

nucléaire. La liste des organismes agréés par l'ASN incluant le lien vers les portées d'agrément correspondantes est disponible sur le site Internet de SISERI<sup>2</sup>.

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 ce processus d'agrément des laboratoires de surveillance dosimétrique :

- émettre un avis sur l'adéquation des matériels et des méthodes de dosimétrie de ces organismes pour la surveillance individuelle des travailleurs (Cf. § 2.2.1 ci-après);
- organiser des intercomparaisons entre ces organismes pour vérifier la qualité des mesures au cours du temps (Cf. § 2.2.2, § 2.2.3 et § 2.2.4).

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 dans le système SISERI (Cf. § 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 2009, l'IRSN a répondu aux demandes d'avis émanant de deux laboratoires de dosimétrie externe et de trois laboratoires d'analyses biologiques et médicales sur l'adéquation de leurs matériels et méthodes avec la surveillance individuelle des travailleurs. L'IRSN a, pour les 5 cas, émis un avis favorable et ces organismes ont été agréés pour la première fois ou ont vu leur agrément renouvelé par décision de l'ASN. Afin de compléter leur démarche d'accréditation, les services de santé (SST) des CNPE d'EDF ont également sollicité l'IRSN qui a rendu un avis sur les sept SST concernés.

#### **2.2.2. Intercomparaison de dosimétrie passive**

Conformément aux dispositions de la réglementation précisant les conditions de délivrance du certificat et de l'agrément pour les organismes en charge de la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants, l'IRSN est chargé d'organiser au moins tous les 3 ans une intercomparaison dans le but de vérifier la qualité des mesures de l'exposition réalisées par ces organismes. Dans ce contexte, le service de dosimétrie externe de l'IRSN a organisé en octobre 2008 la troisième intercomparaison réglementaire de dosimètres individuels passifs. Elle a concerné 9 laboratoires. L'intercomparaison consiste à irradier les dosimètres des laboratoires participants à des doses de référence, inconnues de ces derniers, et à en comparer les résultats obtenus aux valeurs attendues. Au sein des installations de référence de l'institut situées à Fontenay-

---

<sup>2</sup> <http://siseri.irsn.fr/index.php?page=information/agrement>

aux-Roses et à Cadarache, ce sont plus de 300 dosimètres qui ont été exposés à des rayonnements photoniques et neutroniques représentatifs des champs de rayonnements auxquels les travailleurs sont susceptibles d'être exposés.

Les tolérances considérées pour l'analyse des résultats sont issues des normes internationales :

- la norme CEI 62387-1 [1] : de - 29 % à +67 % de la dose de référence pour les dosimètres photon et béta (poitrine et extrémités) ;
- la norme ISO 21909 [2] :  $\pm 50$  % pour les dosimètres neutrons (poitrine et extrémités).

A de rares exceptions près, les dosimètres testés donnent des résultats conformes aux exigences de ces normes dans les configurations retenues pour cette intercomparaison ; en particulier les résultats obtenus avec les dosimètres neutron « poitrine » et « poignet » sont tous conformes. Dans le cas des dosimètres « poitrine » mesurant les rayonnements photoniques et béta, trois laboratoires donnent une valeur surestimée de la grandeur  $H_p(10)$  pour la mesure des photons X d'énergie 33 keV à 60°, et un laboratoire donne une valeur surestimée de la grandeur  $H_p(0,07)$  pour cette même configuration. Dans le cas des dosimètres « poignet » mesurant les rayonnements photoniques et béta, un laboratoire donne une valeur sous-estimée de la grandeur  $H_p(0,07)$  dans la configuration de mesure d'une source de strontium 90 - yttrium 90 à 0°.

La prochaine intercomparaison de ce type est planifiée à l'automne 2010.

### 2.2.3. Intercomparaison d'analyses radiotoxicologiques

Le laboratoire d'analyses médicales radiotoxicologiques (LAMR) de l'IRSN organise tous les ans une intercomparaison sur des échantillons urinaires contenant un ou plusieurs radionucléides à une activité déterminée. En 2009, 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 2009 étaient les suivants :  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{228-230}\text{Th}$ ,  $^{234-235-238}\text{U}$ ,  $^{238-239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  et  $^{244}\text{Cm}$ .

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 %.

A titre d'exemple, les résultats pour le plutonium 238 sont présentés sur la figure 1.

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 [3] ;
- aux valeurs des activités déterminées par les autres laboratoires participants.

Parmi les résultats des mesures réalisées par les participants, 91 % d'entre étaient dans les bornes de tolérance rappelées ci-dessus.

Ces résultats constituent l'un des éléments sur lesquels s'appuie l'IRSN pour élaborer les avis prévus dans le processus d'agrément (Cf. § 2.2.1). Les résultats d'intercomparaison permettent aux laboratoires de revoir en tant que de besoin leurs protocoles d'analyse.

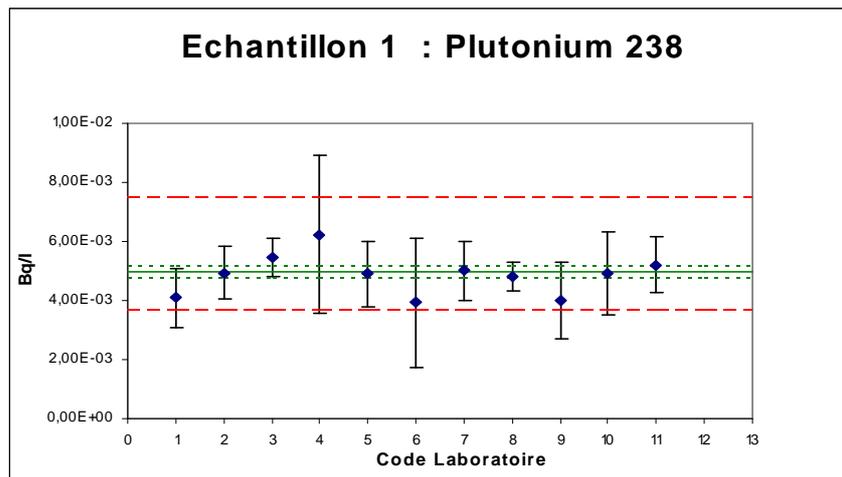


Figure 1 - Exemple de présentation graphique des résultats de l'intercomparaison en radiotoxicologie pour le plutonium 238

#### 2.2.4. Intercomparaison de mesures anthroporadiométriques

En 2008, le laboratoire d'évaluation de la dose interne de l'IRSN a lancé une nouvelle campagne d'intercomparaison concernant les mesures anthroporadiométriques corps entier, qui s'est terminée au mois d'avril 2009. Cette intercomparaison a concerné 46 installations réparties entre cinq laboratoires et/ou exploitants français, ainsi que deux laboratoires étrangers.

Les mesures ont été réalisées à l'aide du fantôme anthropomorphe IGOR, fabriqué selon différentes dimensions par le laboratoire russe *Research and Technical Centre « Protection »* de Saint-Petersbourg, présenté sur la figure 2.

Pour cette intercomparaison, les laboratoires pouvaient participer à la mesure d'un jeu de 4 sources ( $^{57}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{133}\text{Ba}$  et  $^{137}\text{Cs}$ ), dans 1, 2 ou 3 configurations du fantôme : 50 kg, 70 kg ou 90 kg.

La mesure du fantôme de 50 kg a été réalisée sur 24 installations, celle du fantôme de 70 kg sur l'ensemble des installations et la mesure du fantôme de 90 kg sur 29 installations. Dans la majorité des cas, les résultats étaient conformes aux critères de performance de la norme ISO 12790-1 [3] (Cf. 2.2.3). Plus précisément, concernant le fantôme de 70 kg, sur un total de 46 participants, 31 installations ont mesuré correctement le cobalt 57, 46 installations le cobalt 60, 41 installations le baryum 133 et 44 installations le césium 137. Les installations ne répondant pas à ces critères présentaient soit des problèmes liés à l'utilisation du fantôme, soit des limites de détection supérieures à la valeur cible. Des nouvelles mesures ont pu être réalisées, dont les résultats étaient cette fois satisfaisants, à l'exception de la mesure du baryum 133 pour l'une de ces installations.

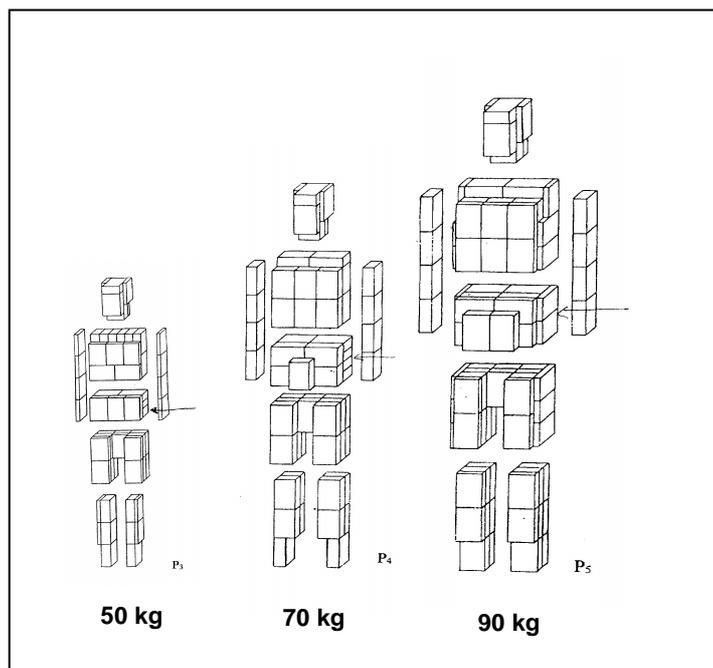


Figure 2 - Fantôme anthropomorphe IGOR dans trois configurations : 50kg, 70kg et 90kg (Research and Technical Centre « Protection », Saint-Petersbourg)

### 2.3. SYSTEME SISERI

Le système SISERI<sup>3</sup> 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.irsn.org/siseri>) afin d'optimiser la surveillance médicale et la radioprotection des travailleurs (Cf. figure 3).

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 dosimétrie ;
- la dosimétrie externe opérationnelle, dont les résultats sont envoyés directement par les personnes compétentes en radioprotection (PCR) des établissements ayant des locaux classés zones contrôlées ;
- la dosimétrie interne, à savoir les résultats d'analyses radiotoxicologiques et d'examens anthroporadiométriques fournis par les Laboratoires d'Analyse de Biologie Médicale (LABM) ou les Services de Santé au Travail (SST), et, lorsque les circonstances le permettent, des doses internes calculées par les médecins du travail ;

<sup>3</sup> 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](http://www.sievert-system.org)).

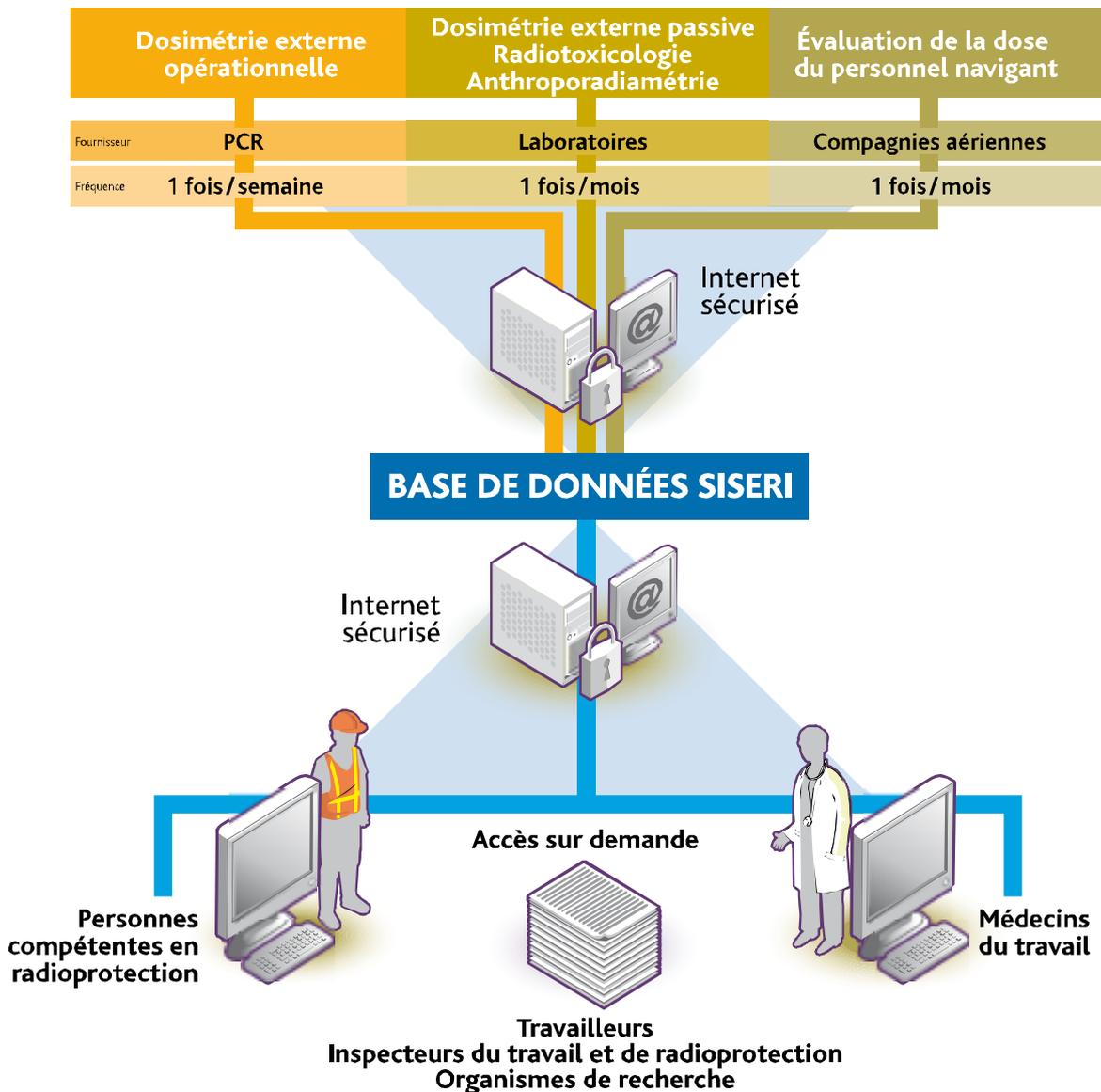


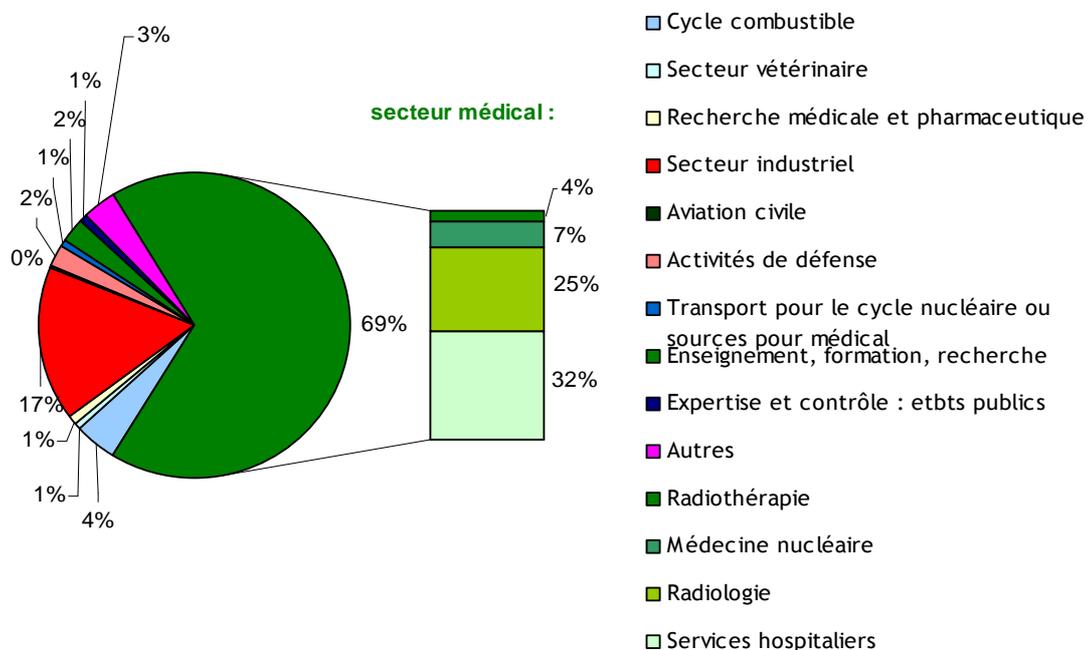
Figure 3 - Le système SISERI

### 2.3.1. La transmission des données à SISERI en 2009

Selon l'arrêté du 30/12 /2004 relatif à la carte individuelle de suivi médical et aux informations individuelles de dosimétrie des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants, les résultats individuels de la **dosimétrie externe passive** doivent être transmis au plus un mois après la fin de période de port à SISERI par les laboratoires agréés. En 2009, des écarts avec cette règle de transmission ont encore été observés mais dans une moindre proportion que les années précédentes. Le nombre des données transmises en 2009 s'élève à 2,1 millions. Les données sont rapidement intégrées dans la base dès lors qu'elles respectent les formats définis. En 2009, 88 % des données envoyées par les laboratoires ont été intégrées à leur réception, confirmant l'amélioration obtenue

en 2008 (77 %) par rapport à 2007 (75 %) et surtout par rapport à 2006 (54 %). Alors que l'évolution notable observée entre 2006 et 2007 résultait d'évolutions importantes du système SISERI faites par l'IRSN pour faciliter l'intégration des données, la progression depuis 2007 reflète plus les efforts de l'IRSN pour résoudre les reliquats d'intégration et ceux consentis par les laboratoires pour fournir des données correctement identifiées. Fin 2009, alors que la qualité des données transmises par certains laboratoires permet leur intégration quasi-totale à réception, celle, insuffisante, d'autres laboratoires n'a pas permis de dépasser un taux moyen d'intégration à réception de 83 %, en raison notamment d'un manque de complétude du numéro RNIPP<sup>4</sup>. 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 est lourd et, de plus, limite la mise à disposition des données vers les utilisateurs. Les données de dosimétrie externe passive de l'année 2009 qui n'étaient pas intégrées, fin juin 2010, représentaient 4 %. 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**, 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 3 840, fin 2009, soit une augmentation de l'ordre de 50 % par rapport au nombre de protocoles signés fin 2008. Sur l'ensemble de l'année 2009, 721 établissements ont effectivement transmis au moins une donnée de dosimétrie opérationnelle, soit 21 % de plus qu'en 2008. Près de 70 % de ces établissements appartiennent au secteur médical, dont la part continue à progresser en 2009, 17 % à l'industrie non nucléaire et 4 % à celui de l'industrie nucléaire (Cf. figure 4).



**Figure 4 - Répartition par secteur d'activité des établissements ayant transmis des données de dosimétrie opérationnelle en 2009**

<sup>4</sup> Répertoire National d'Identité des Personnes Physiques

Le nombre moyen de fichiers reçus mensuellement est de 1 850 pour l'année 2009, ce qui confirme l'augmentation observée en 2008. Au total 8,8 millions de valeurs de dose « opérationnelle » ont été enregistrées dans SISERI en 2009. Parmi ces données, plus d'un tiers proviennent des entreprises de l'industrie nucléaire, un autre tiers du secteur médical et 9 % de l'industrie non nucléaire (Cf. 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.

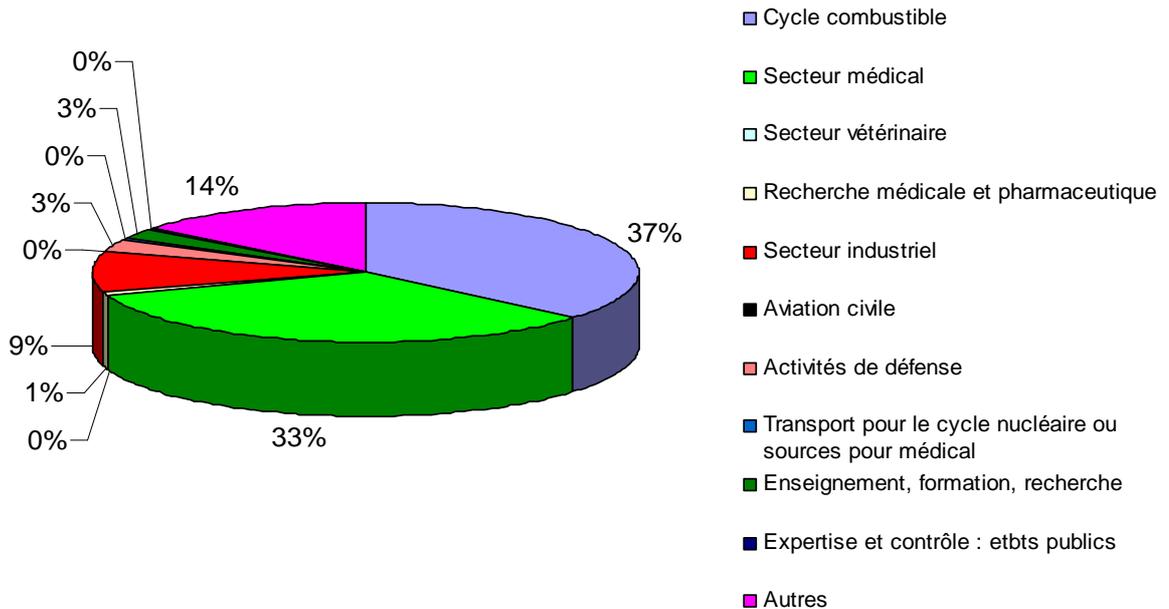


Figure 5 - Répartition par secteur d'activité des données de dosimétrie opérationnelle transmises à SISERI en 2009

En 2009, deux compagnies aériennes ont envoyé les résultats de la **dosimétrie des personnels navigants** à l'IRSN, pour intégration dans SISERI, ce qui correspond à un volume de près de 150 000 données transmises.

Enfin, s'agissant de la transmission des données de **dosimétrie interne** dont les modalités ont été élaborées à la fin de l'année 2007 (transmission par les LABM des résultats des mesures d'activité incorporée, et le cas échéant, transmission par le médecin du travail de la dose calculée), 3 laboratoires envoyaient régulièrement des fichiers à SISERI fin 2009, avec un volume de données transmises approchant 58 000 valeurs. 50 % d'entre elles correspondent à des valeurs de mesures faites au cours de l'année 2009 et 50 % à des valeurs mesurées sur des années antérieures de 2002 à 2008.

### 2.3.2. La consultation des données de SISERI en 2009

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.

Le nombre de PCR et de MDT ayant une clé d'accès au système est en constante progression depuis le 15 février 2005 (Cf. figure 6).

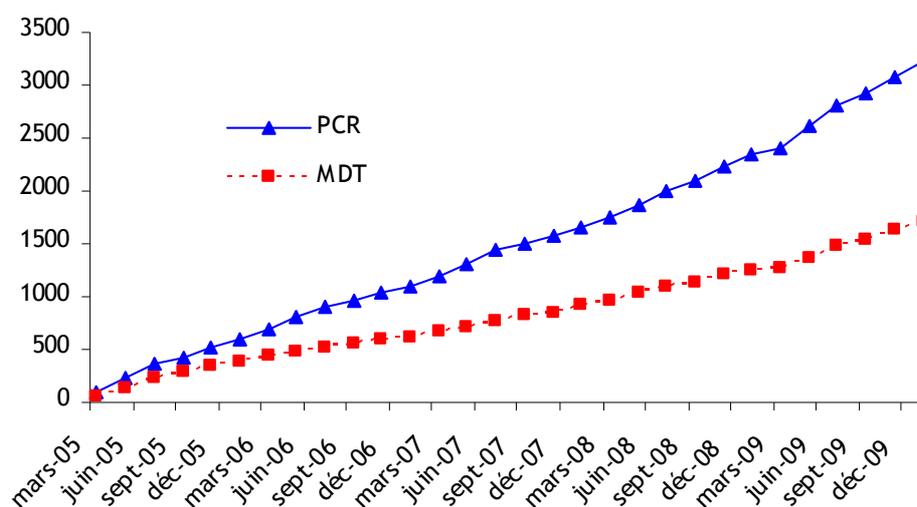


Figure 6 - Progression du nombre de personnes compétentes en radioprotection (PCR) et de médecins du travail (MDT) ayant accès à SISERI depuis sa mise en service

A la fin de l'année 2009, 1 713 MDT et 3 229 PCR avaient accès à SISERI, soit une augmentation respective de 36 % et 38 % par rapport à 2008. Les PCR pouvant accéder à SISERI se répartissaient entre le secteur médical pour 43 %, le secteur industriel pour 17 % et l'industrie nucléaire pour 12 % (Cf. figure 7). Cette répartition confirme la progression de la part du secteur médical déjà observée les années précédentes.

Une estimation a montré que 43 % des PCR et 15 % des MDT ayant un code d'accès à SISERI fin 2009 avaient consulté au moins une fois la base au cours du premier trimestre de l'année 2010. Ces chiffres démontrent que le système SISERI est loin d'être utilisé au maximum de son potentiel sur ce point.

Au cours de l'année 2009, l'amélioration du suivi de la surveillance de l'exposition des travailleurs via le système SISERI s'est poursuivie dans la continuité des efforts importants menés depuis 2007 pour résoudre les difficultés identifiées au cours des deux premières années de son fonctionnement. L'IRSN a également largement œuvré à une communication plus active vers les utilisateurs de SISERI par la refonte du site internet dédié, facilitant la compréhension et l'utilisation du système par les personnes compétentes en radioprotection et les médecins du travail, et par sa participation à de nombreuses présentations dans le cadre de manifestations professionnelles ciblées. L'ensemble de ces actions permettent un meilleur fonctionnement du système et une meilleure utilisation.

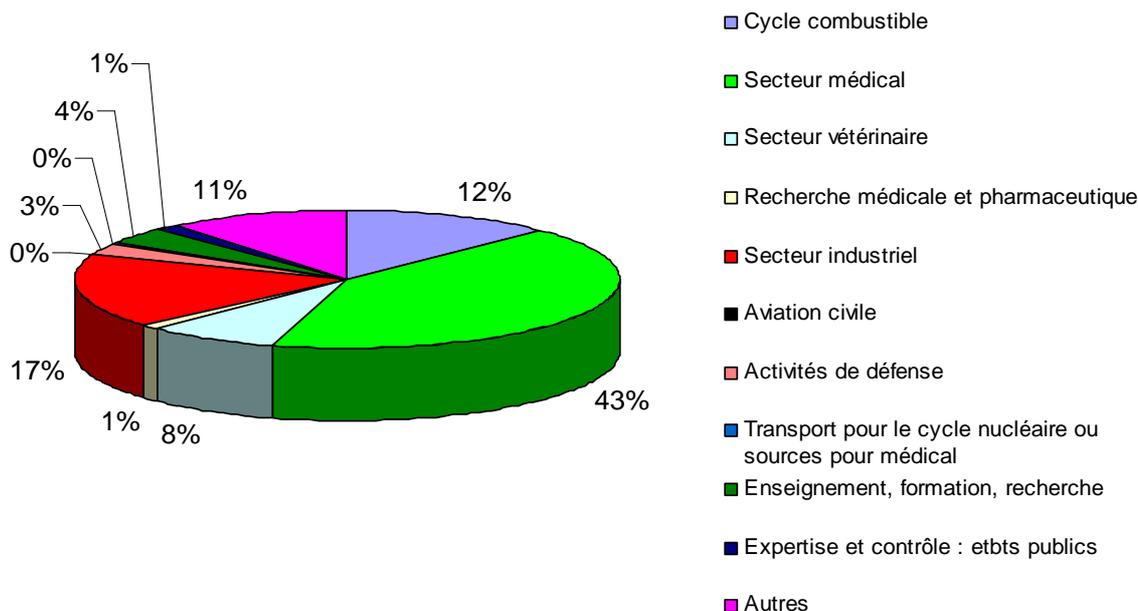


Figure 7 - Répartition par secteur d'activité des personnes compétentes en radioprotection (PCR) ayant accès à SISERI en 2009

### 2.3.3. Vers l'utilisation de SISERI pour l'établissement des statistiques annuelles des expositions des travailleurs.

Des développements de SISERI se poursuivent pour satisfaire aux besoins d'analyses statistiques, en vue notamment de mieux cibler les groupes à risque et vérifier l'adéquation des techniques dosimétriques aux véritables enjeux en termes de type et de niveaux d'exposition. Aux informations individuelles déjà prises en compte dans SISERI, s'ajoutent des informations concernant le métier du travailleur et le secteur d'activité dans lequel il l'exerce. Partiellement renseignées jusqu'en 2009 par les organismes de dosimétrie, ses informations devraient à l'avenir remonter à SISERI selon une nomenclature unique élaborée par l'IRSN. Le projet, formellement approuvé courant 2009, devrait être progressivement déployé et partagé avec tous les organismes de dosimétrie externe passive afin que chaque donnée dosimétrique arrivant dans SISERI contienne l'information du secteur d'activité du travailleur. Fin 2009, un laboratoire de dosimétrie externe avait déjà adopté cette nomenclature, qui devrait être généralisée en 2010.

### **3. EXPOSITIONS DES TRAVAILLEURS DANS LES SECTEURS D'ACTIVITES CIVILES SOUMISES A UN REGIME D'AUTORISATION OU DE DECLARATION ET DES ACTIVITES DE DEFENSE**

Le bilan qui suit porte sur le suivi des travailleurs des secteurs d'activités civiles soumises à un régime d'autorisation ou de déclaration en application du code de la santé publique (industrie nucléaire, industrie non nucléaire, applications médicales et vétérinaires, recherche) et des secteurs d'activités de la défense.

#### **3.1. BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES**

Comme les années précédentes ([4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15]), ce bilan est établi à partir des données de la dosimétrie passive mise en œuvre pour tous les travailleurs exposés et transmises à l'IRSN par les différents laboratoires de dosimétrie (Cf. Annexe I, § 1.1) :

- AREVA (laboratoires de La Hague et de Marcoule) ;
- ALGADE (Bessines-sur-Gartempe) ;
- DOSILAB SARL (Meaux) ;
- IPHC<sup>5</sup> (Strasbourg) ;
- IPN<sup>6</sup> (Orsay) ;
- IRSN (LDI<sup>7</sup>, laboratoires du Vésinet et de Fontenay-aux-Roses) ;
- LCIE-LANDAUER (Fontenay-aux-Roses) ;
- SPRA<sup>8</sup> (Clamart).

##### **3.1.1. METHODOLOGIE ET HYPOTHESES RETENUES**

Tout porteur d'au moins un dosimètre entre le 1<sup>er</sup> janvier et le 31 décembre 2009 est considéré dans l'effectif surveillé par chaque laboratoire.

Le bilan des expositions professionnelles pour l'année 2009 est établi à partir des doses externes individuelles annuelles transmises sous forme agrégée par les laboratoires de surveillance dosimétrique : effectifs des travailleurs par secteur d'activité professionnelle, doses collectives (somme des doses individuelles reçues par un groupe de personnes) correspondantes et répartition des travailleurs par classe de doses.

Dans un souci d'amélioration de la connaissance des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants, l'IRSN a amorcé en 2008 l'utilisation d'une nomenclature unique des secteurs d'activité, (Cf. Annexe II). A sa demande, les laboratoires avaient dans leur grande majorité envoyé les données pour le bilan 2008 en renseignant l'activité suivant cette nomenclature. L'exercice a été reconduit et, pour le bilan 2009, les laboratoires ont communiqué les données en renseignant le secteur

<sup>5</sup> Institut Pluridisciplinaire Hubert CURIE

<sup>6</sup> Institut de Physique Nucléaire d'Orsay

<sup>7</sup> Laboratoire de Dosimétrie de l'IRSN, ex LSDOS

<sup>8</sup> Service de Protection Radiologique des Armées

d'activité, dans tous les cas en utilisant au moins les deux premiers niveaux de classification (domaine et secteur d'activité), et dans certains cas en indiquant jusqu'au sous-secteur d'activité. Le bilan 2009 a donc pu être établi en répartissant les travailleurs surveillés suivant la classification proposée par la nouvelle nomenclature.

Les données transmises par le SPRA sont intégrées depuis l'année 2007 au bilan général (Cf. § 3.1.2) ; en 2007 elles étaient agrégées dans la rubrique « Défense » qui comprend aussi les données relatives aux directions des chantiers navals. En 2008, il a été possible de distinguer le personnel des hôpitaux d'instruction des armées, qui est inclus dans la rubrique « Activités médicales et vétérinaires », des autres personnels suivis par le SPRA. Les données 2009 fournies par le PSRA intègrent la nouvelle classification des activités et apparaissent dans le tableau 1 avec les codes commençant par 2.

Comme les années précédentes, certaines hypothèses ont été retenues pour agréger les données fournies par les laboratoires avec des caractéristiques différentes (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'enregistrement<sup>9</sup> des doses ;
- 1 mSv/an (limite de dose efficace pour les personnes du public, 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, art. R4452-1 du Code du travail) ;
- 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 annuelle pour les travailleurs exposés).

Le bilan réalisé reste une « photographie » de la situation 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 éventuellement diminuer par la suite, en fonction des résultats d'enquêtes validant ou réfutant les doses mesurées.

De plus, il faut noter certains autres éléments pouvant avoir une incidence sur les bilans réalisés d'une année sur l'autre, par exemple :

- un abaissement du seuil d'enregistrement a pour effet une augmentation des effectifs dont la dose n'est pas nulle (cas de l'IPN et de l'IPHC en 2009) ;

---

<sup>9</sup> Niveau de dose au-dessus duquel les valeurs des doses reçues par un travailleur sont enregistrées dans son dossier individuel. En pratique, ce niveau est lié aux performances de détection des dosimètres et varie de 0,05 à 0,2 mSv selon les années et les dispositifs, pour la mesure de l'exposition « corps entier » (Cf. ANNEXE I, tableau I-1).

- des changements de techniques de dosimétrie (par exemple l'abandon progressif du film dosimètre) peut également conduire à des variations des résultats de la surveillance dosimétrique ;
- la période de port des dosimètres<sup>10</sup> peut également entraîner une 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.

Enfin, si les doses mesurées par les dosimètres sont correctes, les conditions de port ne le sont pas systématiquement. Les doses réellement reçues par les porteurs sont dans certains cas surestimées, par exemple lorsque le dosimètre est porté sur le tablier de plomb ou lorsqu'il est placé sur le tube émetteur de rayons X. Dans d'autres cas, les doses sont sous-estimées ou même non enregistrées car les dosimètres ne sont pas portés de façon systématique par les travailleurs.

Les résultats d'une enquête réalisée par l'IRSN auprès des laboratoires à l'occasion de la collecte des données présentées dans ce bilan montrent que le taux moyen de retour des dosimètres ayant été portés est compris entre 90 % et 100 %. Le taux de dosimètres rendus avec un retard de 1 à 3 mois varie de 2 % à 28 % selon les laboratoires, il est inférieur à 3,2 % pour les retards de 4 à 6 mois et inférieur à 0,2 % pour ceux supérieurs à 6 mois. Le taux de dosimètres inexploitable à leur retour au laboratoire est au maximum de 1 %. Il faut toutefois souligner que ces chiffres ne concernent qu'une faible part des effectifs surveillés (14 %), tous les laboratoires n'ayant pas répondu à cette enquête. Parmi les autres difficultés rapportées par les laboratoires, de façon purement qualitative, il faut citer les cas d'inversion entre dosimètre d'ambiance et dosimètre témoin, entre dosimètres portés à la poitrine ou au poignet, ou encore d'inversion entre dosimètres mensuels et dosimètres trimestriels, l'absence de dosimètres témoins, les difficultés d'obtention des données administratives associées au porteur, ou encore les cas de dosimètres portés par plusieurs personnes...

### 3.1.2. DOSIMETRIE « CORPS ENTIER »

#### 3.1.2.1. Résultats généraux

##### 3.1.2.1.1. *Exposition totale (photons et neutrons)*

Le tableau 1, établi à partir des éléments fournis par les laboratoires de dosimétrie, présente le nombre de travailleurs surveillés dans les différents secteurs d'activité (code commençant par un 1 pour les activités civiles et par un 2 pour les activités militaires) et leur répartition par classe de dose<sup>11</sup>, ainsi que la dose collective.

<sup>10</sup> 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.

<sup>11</sup> 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.

Tableau 1 - Bilan des doses externes passives - 2009 (page 1/2)

		Effectif surveillé	< seuil	seuil à 1	1 à 6	6 à 15 (mSv)	15 à 20	20 à 50	> 50	Dose collective (homme.Sv)	Dose moyenne (mSv) (**)
<b>Utilisations médicales et vétérinaires</b>		<b>198 674</b>	<b>161 170</b>	<b>33 753</b>	<b>3 452</b>	<b>274</b>	<b>17</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>19,57</b>	<b>0,10</b>
1101000	Radiodiagnostic	1 424	1 039	351	33	1	0	0	0	0,16	0,11
1101000 + 1104000	Radiodiagnostic + Radiologie interventionnelle (*)	112 840	89 044	21 433	2 134	207	15	7	0	12,74	0,11
2101000	Radiodiagnostic	258	31	210	17	0	0	0	0	0,10	0,40
1102000	Soins dentaires	37 367	33 073	4 170	118	5	0	1	0	1,60	0,04
2102000	Soins dentaires	131	27	99	5	0	0	0	0	0,04	0,33
1103000	Médecine du travail et dispensaires	6 577	5 449	1 056	67	4	1	0	0	0,45	0,07
2103000	Médecine du travail et dispensaires	128	53	74	1	0	0	0	0	0,02	0,16
1104000	Radiologie interventionnelle	793	674	116	3	0	0	0	0	0,04	0,05
2104000	Radiologie interventionnelle	38	10	22	6	0	0	0	0	0,02	0,49
2104010	Radiologie interventionnelle - cardiologie	48	2	34	12	0	0	0	0	0,04	0,79
2104020	Radiologie interventionnelle - neurologie	11	0	6	5	0	0	0	0	0,01	0,84
2104040	Radiologie interventionnelle - autres	821	141	637	43	0	0	0	0	0,28	0,35
1105000	Radiothérapie	11 862	8 920	2 315	573	53	1	0	0	2,20	0,19
2105010	Radiothérapie avec Cobalt ou accélérateur	18	2	16	0	0	0	0	0	0,01	0,32
1106000	Médecine nucléaire	3 045	1 909	820	313	3	0	0	0	0,94	0,31
2106000	Médecine nucléaire	50	6	25	19	0	0	0	0	0,05	0,98
1107000	Laboratoires d'analyses	3 634	3 530	104	0	0	0	0	0	0,03	0,01
1108000	Irradiation de produits sanguins	2	2	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
1109000	Recherche médicale	119	110	9	0	0	0	0	0	0,00	0,01
1110000	Médecine vétérinaire	15 589	14 166	1 393	30	0	0	0	0	0,43	0,03
2110000	Médecine vétérinaire	109	15	92	2	0	0	0	0	0,04	0,37
1111000	Logistique et maintenance (prestataires)	120	107	10	3	0	0	0	0	0,01	0,09
2111020	Maintenance	54	8	45	1	0	0	0	0	0,02	0,32
1112000	Autres	3 636	2 852	716	67	1	0	0	0	0,33	0,09
<b>Transport de matières radioactives</b>		<b>648</b>	<b>337</b>	<b>289</b>	<b>22</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,14</b>	<b>0,22</b>
1201000	Nucléaire	41	41	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
2201000	Nucléaire	273	33	226	14	0	0	0	0	0,11	0,39
1203000	Sources à usages divers	334	263	63	8	0	0	0	0	0,04	0,11
<b>Usages industriels</b>		<b>33 821</b>	<b>22 446</b>	<b>7 538</b>	<b>2 987</b>	<b>824</b>	<b>21</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>18,21</b>	<b>0,54</b>
1301000	Contrôles utilisant des sources de rayonnements	7 350	4 508	1 619	877	338	6	1	1	6,03	0,82
2301010	Utilisation de gammagraphes et générateurs X	578	79	490	9	0	0	0	0	0,19	0,33
2308010	Logistique	107	26	77	4	0	0	0	0	0,03	0,30

(\*) Tous les laboratoires ne distinguent pas la radiologie interventionnelle du radiodiagnostic, d'où l'ajout d'une rubrique commune pour ces deux secteurs.

(\*\*) Les doses individuelles moyennes (= dose collective / effectif surveillé) calculées pour chaque secteur doivent être comparées avec prudence du fait de la grande diversité des effectifs surveillés.

Tableau 1 - Bilan des doses externes passives - 2009 (page 2/2)

		Effectif surveillé	< seuil	seuil à 1	1 à 6	6 à 15 (mSv)	15 à 20	20 à 50	> 50	Dose collective (homme.Sv)	Dose moyenne (mSv )(**)
<b>Usages industriels (suite)</b>											
2308020	Maintenance	212	40	159	13	0	0	0	0	0,08	0,37
1309000	Autres	25 418	17 736	5 095	2 083	486	15	2	1	11,84	0,47
2309000	Autres	156	57	98	1	0	0	0	0	0,03	0,21
<b>Nucléaire</b>		<b>62 762</b>	<b>41 940</b>	<b>14 155</b>	<b>5 850</b>	<b>810</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>26,00</b>	<b>0,41</b>
2501010	Propulsion nucléaire - équipage	2 630	818	1 677	135	0	0	0	0	0,75	0,28
2502000	Armement	818	191	607	20	0	0	0	0	0,24	0,30
1503000	Extraction et traitement de l'uranium	50	12	35	3	0	0	0	0	0,02	0,36
1504000	Enrichissement et conversion	776	469	187	120	0	0	0	0	0,29	0,38
1505000	Fabrication du combustible	1 832	1 090	378	287	77	0	0	0	1,57	0,86
1506000	Réacteurs et production d'énergie	19 692	12 549	4 947	2 169	27	0	0	0	6,70	0,34
1507000	Retraitement	2 957	2 747	191	19	0	0	0	0	0,09	0,03
1508000	Démantèlement	2 291	1 941	268	69	13	0	0	0	0,35	0,15
1510000	Logistique et maintenance (prestataires)	22 621	16 018	4 078	2 111	413	0	1	0	10,46	0,46
1510010	Logistique	100	96	4	0	0	0	0	0	0,00	0,01
1511000	Recherche en nucléaire	1 423	1 382	41	0	0	0	0	0	0,01	0,01
1512000	Autres	5 540	3 171	1 206	877	280	6	0	0	5,25	0,94
2512000	Autres	2 032	1456	536	40	0	0	0	0	0,26	0,13
<b>Autres</b>		<b>10 967</b>	<b>8 986</b>	<b>1 787</b>	<b>192</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,85</b>	<b>0,08</b>
1601000	Recherche et enseignement	9 137	8 225	777	133	1	1	0	0	0,42	0,05
2601000	Recherche et enseignement	889	352	522	15	0	0	0	0	0,15	0,17
2601020	Etablissements de recherche	138	22	112	4	0	0	0	0	0,04	0,32
1602000	Situations de crises	23	23	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
2602000	Situations de crises	357	46	279	32	0	0	0	0	0,17	0,49
1603000	Organismes inspection, contrôle	280	254	24	2	0	0	0	0	0,01	0,05
2603010	Organismes inspection, contrôle (publics)	96	33	59	4	0	0	0	0	0,04	0,37
1603020	Organismes inspection, contrôle (privés)	30	29	1	0	0	0	0	0	0,00	0,00
2604000	Activités à l'étranger	17	2	13	2	0	0	0	0	0,01	0,59
<b>Nomenclature</b>		<b>306 872</b>	<b>234 879</b>	<b>57 522</b>	<b>12 503</b>	<b>1 909</b>	<b>45</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>64,78</b>	<b>0,21</b>
<b>Hors nomenclature</b>		<b>12 219</b>	<b>10 636</b>	<b>1 424</b>	<b>153</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,90</b>	<b>0,07</b>
<b>Total</b>		<b>319 091</b>	<b>245 515</b>	<b>58 946</b>	<b>12 656</b>	<b>1 915</b>	<b>45</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>65,68</b>	<b>0,21</b>
<i>Rappel des résultats de 2008</i>		<i>306 629</i>	<i>240 518</i>	<i>53 070</i>	<i>11 270</i>	<i>1 701</i>	<i>54</i>	<i>12</i>	<i>4</i>	<i>59,61 (***)</i>	<i>0,19 (***)</i>

(\*\*) Les doses individuelles moyennes (= dose collective / effectif surveillé) calculées pour chaque secteur doivent être comparées avec prudence du fait de la grande diversité des effectifs surveillés.

(\*\*\*) Ces valeurs tiennent compte de la correction apportée à la suite d'une erreur de comptage pour la dose collective de l'industrie non nucléaire dans le bilan 2008.

Le nombre de travailleurs surveillés par dosimétrie externe passive en 2009 est de 319 091 soit 12 462 travailleurs de plus qu'en 2008, ce qui correspond à une augmentation de 4,1 %.

La dose collective s'élève à 65,68 homme.Sv en 2009, soit une augmentation de 10,2 % par rapport à 2008.

La dose individuelle annuelle moyenne est de 0,21 mSv, soit en légère augmentation par rapport à 2008 où elle était égale à 0,19 mSv. La dose individuelle annuelle moyenne calculée sur le nombre de travailleurs ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement est de 0,89 mSv, comparable à la valeur de 0,90 mSv obtenue en 2008.

95,4 % des travailleurs surveillés ont une dose annuelle inférieure à la limite réglementaire d'exposition du public, soit 1 mSv/an, parmi lesquels 81 % n'ont reçu aucune dose au cours de l'année (doses mesurées inférieures au seuil d'enregistrement). 4 % des travailleurs surveillés ont une dose annuelle comprise entre 1 et 6 mSv et 0,6 % une dose annuelle comprise entre 6 et 20 mSv. Enfin, 14 travailleurs ont enregistré une dose supérieure à 20 mSv. La répartition des travailleurs par classes de doses est comparable à celle de 2008.

Du fait de la répartition plus fine des travailleurs surveillés dans les différents secteurs d'activité, les comparaisons avec les années précédentes sont rendues plus délicates. Le bilan 2009 a donc également été réalisé suivant l'ancienne classification des activités et est présenté sous cet ancien format dans le paragraphe sur l'évolution par rapport aux années précédentes (§ 3.1.2.3).

Le tableau 2 présente la répartition du port mensuel et du port trimestriel des dosimètres « corps entier » dans les grands domaines d'activité. Le port mensuel est majoritaire dans les secteurs de l'industrie alors que dans le secteur médical et vétérinaire et la recherche, c'est le port trimestriel qui est le plus fréquemment pratiqué.

**Tableau 2 - Répartition entre port mensuel et port trimestriel suivant les domaines d'activité (2009)**

Domaine d'activité	Port mensuel (%)	Port trimestriel (%)	Effectifs considérés
Utilisations médicales	35	65	197 008
Transport	26	74	375
Usages industriels	60	40	32 768
Nucléaire	72	28	59 093
Recherche	20	80	9 137

#### **3.1.2.1.2. Contribution des neutrons**

En 2009, la dosimétrie des neutrons a concerné 34 521 travailleurs (pour 28 987 travailleurs en 2008), soit 11 % de l'effectif total surveillé. La dose collective « neutrons » est de 1,50 homme.Sv (pour 1,23 homme.Sv en 2008). La dose collective due aux neutrons représente seulement 2,3 % de la dose collective totale (toutes composantes de rayonnements confondues). Les activités réalisées dans l'établissement de Melox contribuent pour 61 % à la dose collective due aux neutrons.

La dose individuelle ‘neutrons’ maximale enregistrée est égale à 8 mSv.

Il convient de noter que ces données n’incluent pas l’effectif suivi au sein d’EDF, ni la dose collective associée, le laboratoire de dosimétrie qui assure le suivi des travailleurs d’EDF n’étant pas en mesure de transmettre ces informations à l’IRSN.

### 3.1.2.2. Analyse suivant les activités professionnelles

#### 3.1.2.2.1. Exposition totale (photons et neutrons)

Les données figurant au tableau 1 ont été regroupées par domaine d’activité professionnelle afin de donner une vision plus synthétique des effectifs concernés et des doses collectives présentée au tableau 3. Les domaines considérés sont au nombre de cinq :

- les utilisations médicales et vétérinaires des rayonnements ionisants ;
- les usages industriels (non nucléaires) ;
- le nucléaire (activités industrielles civiles et activités militaires) ;
- les activités de recherche (et d’enseignement) ;
- les autres activités (hors recherche) qui regroupent la gestion des situations de crise, l’inspection et le contrôle, les activités à l’étranger et les données non classées dans la nomenclature.

**Tableau 3 - Bilan synthétique des doses externes passives - 2009**

Domaine d'activité	Effectif surveillé	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne <sup>(a)</sup> (mSv)	Effectif dont la dose individuelle annuelle est supérieure à 20 mSv	Répartition des effectifs par classes de dose					
					< 1 mSv	1 à 6 mSv	6 à 15 mSv	15 à 20 mSv	20 à 50 mSv	> 50 mSv
Utilisations médicales et vétérinaires	198 674	19,57	0,1	8	194 923	3 452	274	17	8	0
Usages industriels	33 821	18,21	0,54	5	29 984	2 987	824	21	3	2
Nucléaire	63 076	26,11	0,41	1	56 395	5 864	810	6	1	0
Recherche	10 164	0,62	0,06	0	10 010	152	1	1	0	0
Autres	13 356	1,17	0,09	0	13 149	201	6	0	0	0
<b>Total</b>	<b>319 091</b>	<b>65,68</b>	<b>0,21</b>	<b>14</b>	<b>304 461</b>	<b>12 656</b>	<b>1 915</b>	<b>45</b>	<b>12</b>	<b>2</b>

<sup>(a)</sup> Dose individuelle moyenne = dose collective / effectif surveillé

Pour permettre la comparaison avec les données 2008, le bilan synthétique suivant l'ancienne classification des activités est présenté au paragraphe 3.1.2.3.

La figure 8 (issue du tableau 3) illustre les inégalités importantes dans la distribution des doses pour ces grands domaines d'activité.

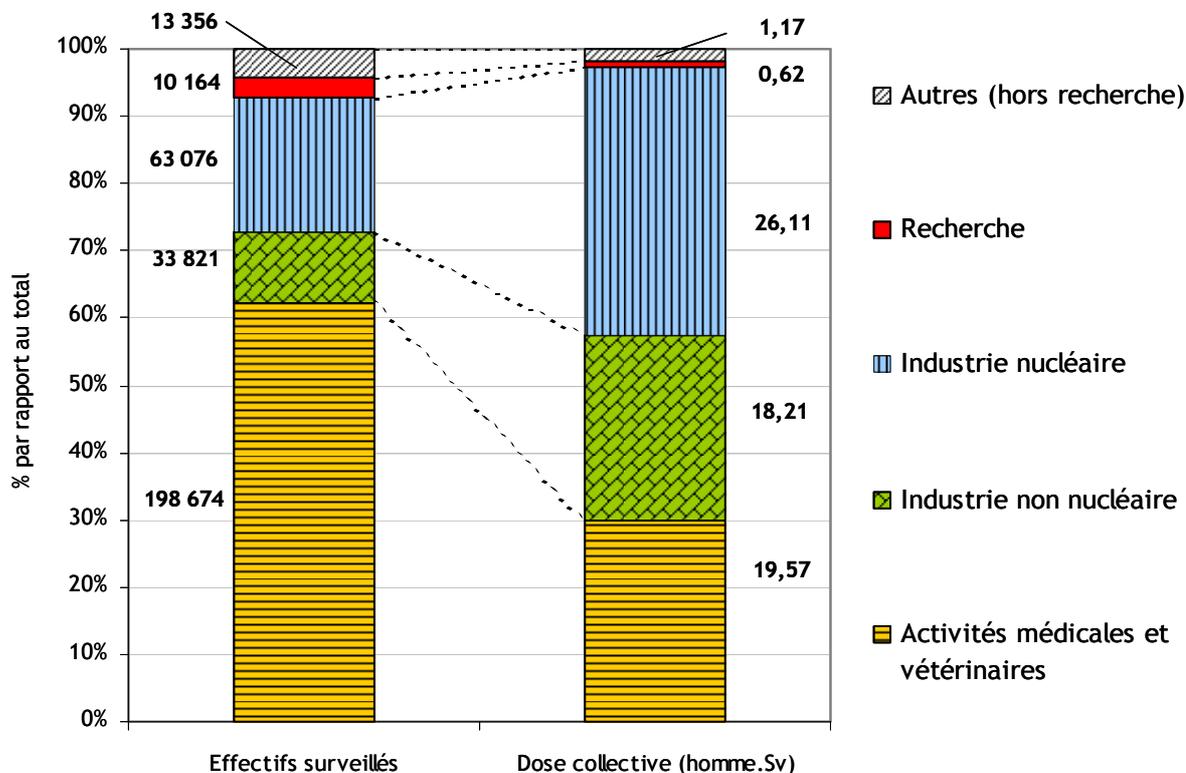


Figure 8 - Bilan synthétique des doses externes passives par domaines d'activité en 2009 (effectifs surveillés et doses collectives)

Bien que plus de 60 % des effectifs surveillés soient employés dans le domaine des activités médicales et vétérinaires, ce domaine représente 30 % de la dose collective totale. L'industrie non nucléaire représente 11 % de l'effectif total et 28 % de la dose collective totale. L'industrie nucléaire représente 20 % de l'effectif total et contribue à près de 40 % de la dose collective totale. La recherche contribue peu à la dose collective, environ 1%.

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 ou égales à 0,1 mSv). A l'opposé, les travailleurs de l'industrie non nucléaire ont les doses les plus élevées en moyenne (0,54 mSv), suivis des travailleurs de l'industrie nucléaire avec une dose individuelle moyenne de 0,41 mSv.

- *Activités médicales et vétérinaires*

La majorité des travailleurs surveillés est employée dans le domaine médical et vétérinaire (198 674 travailleurs, soit 62 % de l'effectif total), avec en tête le secteur de la radiologie médicale<sup>12</sup> (116 233 travailleurs, soit 36 % de l'effectif total). Ce secteur représente en effet 59 % des effectifs surveillés de ce domaine et contribue à hauteur de 68 % à sa dose collective. A l'heure actuelle, tous les laboratoires ne sont pas en mesure de distinguer les données relatives aux activités de radiodiagnostic de celles concernant la radiologie interventionnelle : pour ces laboratoires, les effectifs sont regroupés dans une rubrique mixte. La dose individuelle maximale du domaine médical en 2009 a été enregistrée dans le secteur de la radiologie. Cette dose est de 42 mSv et constitue un dépassement de la limite réglementaire (Cf. § 3.3).

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). La radiothérapie externe peut également être réalisée par protonthérapie, à Orsay et à Nice. Au total, le secteur de la radiothérapie représente 6 % des effectifs du domaine médical surveillés et 11 % de la dose collective du domaine.

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 ; cf. § 3.2.3.3) des professionnels de santé lors des différentes étapes de leur administration aux patients. 1,6 % des travailleurs du domaine médical appartiennent à ce secteur et leur contribution à la dose collective s'élève à 5 %.

La figure 9 présente la répartition des effectifs surveillés et des doses collectives par secteur d'activité dans le domaine médical et vétérinaire (incluant cette année les travailleurs des secteurs médical et vétérinaire militaires).

Dans le domaine des activités médicales et vétérinaires, la dose individuelle moyenne est systématiquement plus importante pour l'effectif classé militaire (suivi par le SPRA) que pour l'effectif classé civil du même secteur d'activité (Cf. tableau 1). Cela se traduit également dans la distribution des effectifs par classe de doses : les effectifs suivis par le SPRA sont principalement répartis dans les classes de doses supérieures au seuil de détection alors que les effectifs civils présentent une grande proportion de travailleurs ayant une dose annuelle inférieure au seuil de détection. A ce constat près, si l'on compare les doses individuelles moyennes entre les différents secteurs en regroupant tous les effectifs d'un même secteur (civil et militaire), il apparaît que le secteur présentant la dose moyenne la plus élevée est la médecine nucléaire avec 0,32 mSv, suivi par la radiologie interventionnelle avec 0,23 mSv (pour la part qui est distincte du radiodiagnostic).

---

<sup>12</sup> La radiologie médicale regroupe les techniques de radiologie conventionnelle, de mammographie, de scanographie et de radiologie interventionnelle. Des installations de radiodiagnostic existent aussi dans le secteur vétérinaire.

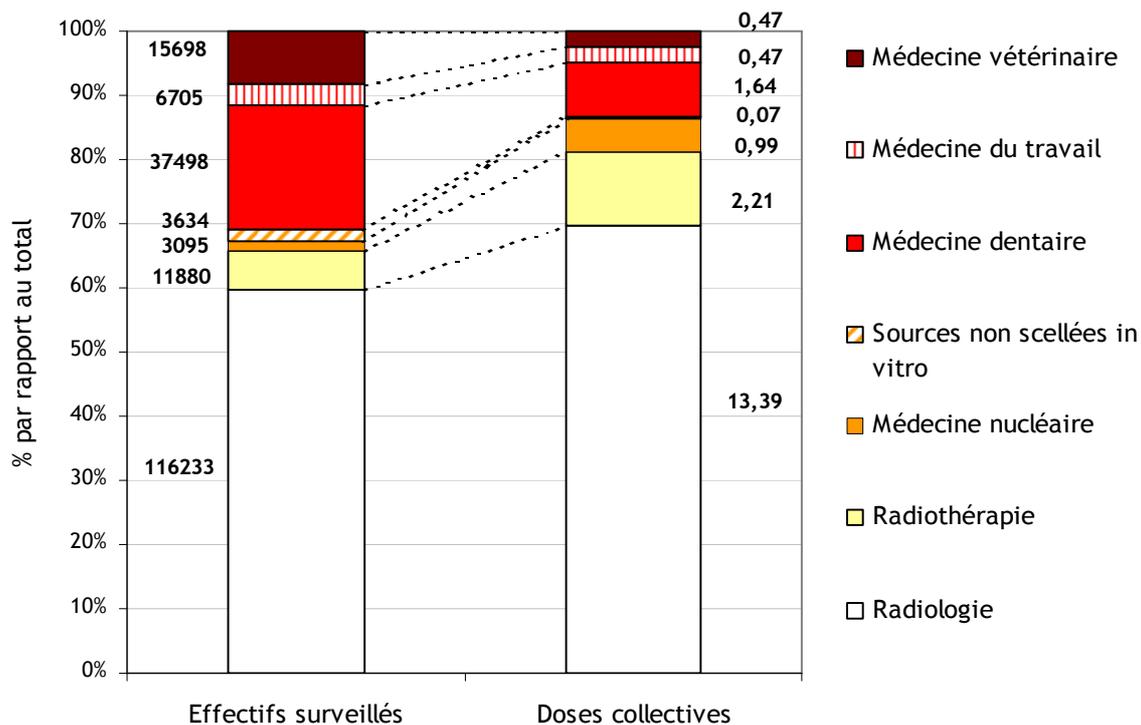


Figure 9 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives dans le domaine médical et vétérinaire en 2009

- *Industrie nucléaire*

L'industrie nucléaire civile 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), ainsi que les activités de transport effectuées dans ce domaine (transport de matières dangereuses de classe 7, matières radioactives).

Ce domaine d'activité regroupe 63 076 travailleurs enregistrant une dose collective de 26,11 homme.Sv. La dose individuelle annuelle maximale dans ce domaine est de 30 mSv ; elle concerne un travailleur employé chez un prestataire (secteur logistique et maintenance) et constitue un dépassement de la limite annuelle réglementaire de 20 mSv (Cf. § 3.3). La figure 10 donne la répartition des effectifs surveillés et des doses collectives pour les secteurs d'activité de l'industrie nucléaire civile. La dose individuelle moyenne la plus importante en 2009 concerne la fabrication du combustible nucléaire (0,86 mSv).

La transmission des données du SPRA suivant la nouvelle classification des activités permet de détailler les statistiques concernant le nucléaire militaire : les travailleurs concernés représentent 6 % de l'effectif total du domaine nucléaire, avec une contribution à hauteur de 4 % de la dose collective de ce domaine.

Il doit être noté que les doses de certains personnels d'entreprises extérieures classées dans l'industrie non nucléaire ne sont pas comptabilisées dans le domaine du nucléaire alors qu'une part non négligeable de leur activité est réalisée dans ce domaine (par exemple, les entreprises spécialisées dans le contrôle non destructif) ; ceci contribue à sous-estimer la dose collective attribuable à des travaux effectués dans les installations nucléaires de base (INB).

En 2009, les entreprises extérieures intervenant pour le compte d'exploitants nucléaires totalisent 22 721 travailleurs, avec une dose collective de 10,46 homme.Sv et une dose individuelle annuelle moyenne de 0,46 mSv, légèrement supérieure à la dose individuelle moyenne observée dans l'ensemble de l'industrie nucléaire. Cette valeur atteint 0,53 mSv si on inclut également la catégorie « Autres » dans laquelle sont classées de nombreuses entreprises prestataires.

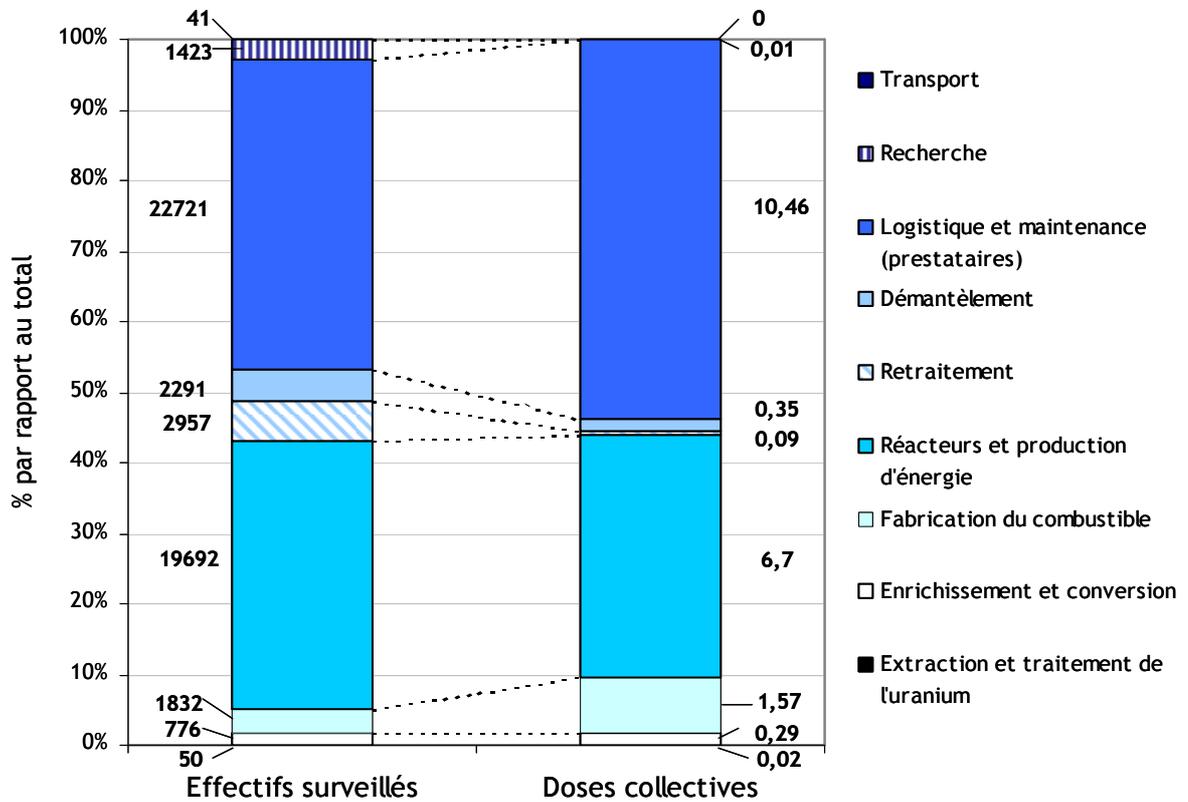


Figure 10 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives dans le domaine de l'industrie nucléaire (civile) en 2009

- *Industrie non nucléaire*

L'industrie non nucléaire regroupe toutes les activités industrielles hors nucléaire concernées par l'usage des rayonnements ionisants : contrôles non destructifs (gammagraphie), étalonnage, irradiation industrielle, fabrication de produits radiopharmaceutiques 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.

En 2009, 33 821 travailleurs surveillés ont totalisé une dose collective de 18,21 homme.Sv. La dose individuelle annuelle moyenne pour ce domaine est de 0,54 mSv. La dose collective et la dose individuelle moyenne sont plus élevées qu'en 2008 car ce domaine n'inclut plus les travailleurs dont l'activité était indéterminée mais uniquement ceux réellement identifiés comme intervenant dans l'industrie non nucléaire ; une baisse importante des effectifs est observée pour la même raison. Cinq travailleurs de l'industrie non nucléaire enregistrent une dose individuelle annuelle dépassant la

limite réglementaire de 20 mSv. Une dose supérieure à 50 mSv a été enregistrée chez deux d'entre eux, la dose la plus élevée étant égale à 151 mSv (Cf. § 3.3).

A l'heure actuelle tous les laboratoires de dosimétrie n'utilisent pas une nomenclature permettant de connaître plus précisément les affectations professionnelles des travailleurs, ce qui limite l'analyse statistique de la répartition des expositions dans le domaine de l'industrie non nucléaire suivant les secteurs d'activité qui le composent.

Rappelons qu'il est probable qu'une fraction non négligeable de la dose collective attribuée au domaine de l'industrie non nucléaire soit en réalité reçue par des travailleurs d'entreprises classées dans ce domaine mais qui interviennent aussi en sous-traitance des exploitants nucléaires.

- *Activités de recherche*

Relèvent du secteur des activités de recherche et d'enseignement les travaux effectués au sein de laboratoires pharmaceutiques, de centres universitaires, de laboratoires des organismes nationaux de recherche (INSERM, INRA, CNRS,...), ainsi qu'au CEA ou dans des établissements suivis par le SPRA.

Les 10 164 travailleurs surveillés dans le domaine de la recherche en 2009 totalisent une dose collective de 0,62 homme.Sv. Les doses individuelles annuelles sont très faibles dans ce domaine, avec une valeur moyenne de 0,06 mSv. La dose individuelle annuelle la plus élevée enregistrée dans le secteur de la recherche est égale à 18 mSv.

- *Autres activités*

Les activités de transport de matières radioactives autres que celles liées au nucléaire sont prises en compte ici.

Par ailleurs, le secteur des activités à l'étranger n'est encore que peu identifié en termes de classification des travailleurs, avec la difficulté supplémentaire dans le cadre du bilan annuel que les activités à l'étranger sont souvent conduites une partie seulement de l'année.

### **3.1.2.2. Contribution des neutrons**

La figure 11 présente la répartition, entre les cinq grands domaines d'activité, des effectifs surveillés et des doses collectives pour la dosimétrie des neutrons en 2009.

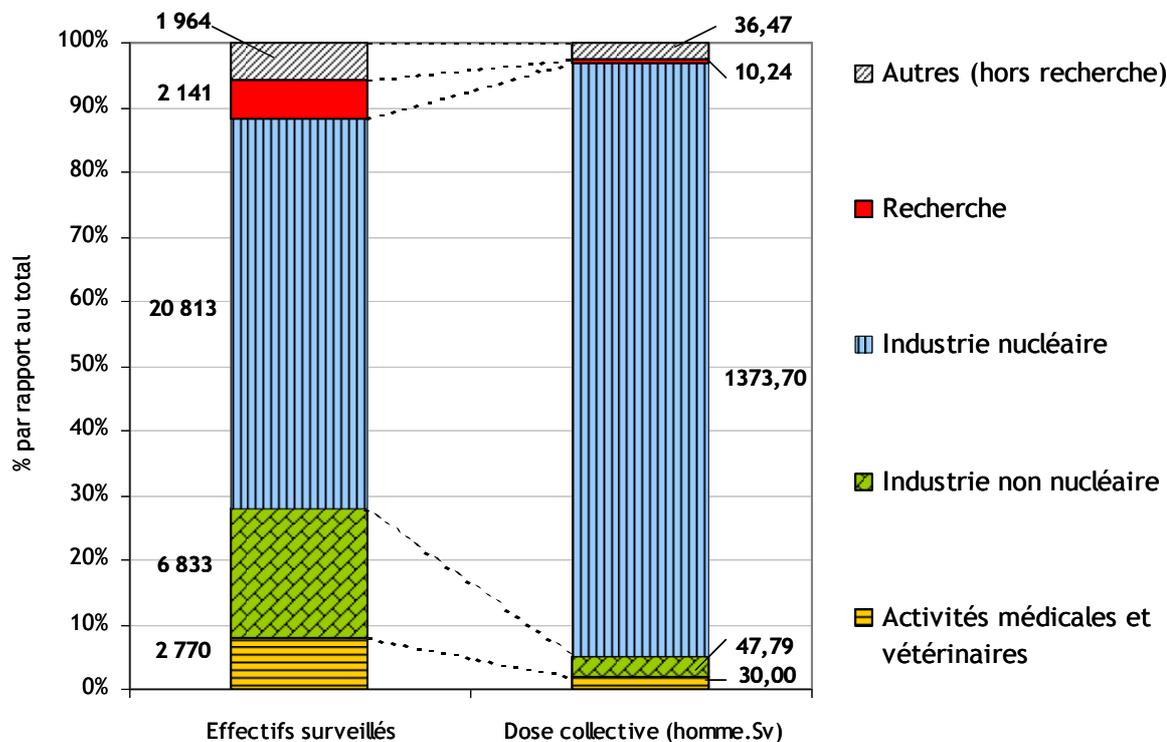


Figure 11 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives pour la dosimétrie des neutrons en 2009 (hors EDF)

### 3.1.2.3. Évolutions par rapport aux années précédentes (période 1996-2009)

Afin de rendre possible la comparaison avec les données statistiques issues des bilans établis antérieurement ([4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23]), les résultats du bilan de l'année 2009 sont analysés ci-après en reproduisant la répartition par secteur d'activité réalisée dans les rapports précédents : le tableau 4 présente le bilan de l'exposition des travailleurs en 2009 suivant l'ancienne classification. La dose collective de 2008 rappelée dans ce tableau tient compte de la correction apportée à la suite d'une erreur de comptage concernant la dose collective dans le secteur de l'industrie non nucléaire (la dose collective de ce domaine est de 18,04 homme.Sv au lieu des 10,79 homme.Sv indiqués dans le rapport 2008 [15], la dose moyenne correspondante est égale à 0,38 mSv au lieu de 0,24 mSv, et la dose collective totale s'élève donc en 2008 à 59,61 homme.Sv au lieu des 52,36 homme.Sv indiqués).

**Tableau 4 - Bilan des doses externes passives en 2009 (ancienne classification)**

Rubriques	Secteur d'activité ou établissement	Travailleurs surveillés	< seuil <sup>(a)</sup>	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	115 054	90 755	21 899	2 170	208	15	7	0	12,94
2	Radiothérapie	11 820	8 887	2 306	573	53	1	0	0	2,20
3	Médecine nucléaire	3 043	1 908	819	313	3	0	0	0	0,94
4	Sources non scellées in vitro	3 630	3 526	104	0	0	0	0	0	0,03
5	Médecine dentaire	37 367	33 073	4 170	118	5	0	1	0	1,60
6	Médecine du travail	6 577	5 449	1 056	67	4	1	0	0	0,45
7	Médecine vétérinaire	15 589	14 166	1 393	30	0	0	0	0	0,43
8	Industrie non nucléaire	32 769	22 245	6 714	2 960	824	21	3	2	17,88
9	Recherche	5 509	4 816	580	111	1	1	0	0	0,32
10	Divers	15 946	13 568	2 149	222	7	0	0	0	1,24
11	EDF (agents)	19 647	12 505	4 946	2 169	27	0	0	0	6,70 <sup>(b)</sup>
12	AREVA NC La Hague <sup>(c)</sup>	7 264	5 230	1 131	736	167	0	0	0	3,86
13	AREVA NC Marcoule <sup>(d)</sup>	4 691	4 005	488	198	0	0	0	0	0,58
14	MELOX (AREVA NC)	1 378	861	181	259	77	0	0	0	1,45
15	CEA	7 139	6 530	548	61	0	0	0	0	0,33
16	IPN Orsay	2 347	2 138	192	17	0	0	0	0	0,09
17	« Entreprises extérieures » <sup>(e)</sup> (suivi IRSN)	9 238	7 153	1 391	576	118	0	0	0	2,97
18	« Entreprises extérieures » <sup>(e)</sup> (suivi LCIE)	8 505	3 782	2 638	1 657	421	6	1	0	8,86
19	IPHC (Strasbourg)	903	898	3	2	0	0	0	0	0,01
20	Défense (militaires et DCNS)	8 303	3 155	4 855	293	0	0	0	0	2,11
20 bis	Médical (SPRA)	1 666	295	1 259	111	0	0	0	0	0,63
21	Administrations	275	249	24	2	0	0	0	0	0,01
22	Divers industrie nucléaire (ANDRA, ...)	98	59	36	3	0	0	0	0	0,02
23	Entreprises de transport	333	262	63	8	0	0	0	0	0,04
	<b>Total</b>	<b>319 091</b>	<b>245 515</b>	<b>58 946</b>	<b>12 656</b>	<b>1 915</b>	<b>45</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>65,68</b>
	<i>Rappel des résultats de 2008</i>	<b>306 629</b>	<b>240 518</b>	<b>53 070</b>	<b>11 270</b>	<b>1 701</b>	<b>54</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>59,61<sup>(f)</sup></b>

(a) Le seuil d'enregistrement est de 0,05 mSv pour les dosimètres RPL du laboratoire de dosimétrie de l'IRSN et pour les dosimètres OSL de LCIE-LANDAUER (hormis ceux utilisés pour le suivi « EDF » dont le seuil est de 0,1 mSv), de 0,2 mSv pour les dosimètres de l'IPN et de l'IPHC, et de 0,1 mSv pour les autres dosimètres.

(b) Cette valeur ne tient compte que de l'exposition aux photons, le résultat de la dosimétrie neutron n'étant pas fournie par le laboratoire de dosimétrie.

(c) 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, ...).

(d) 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.

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

(f) Cette valeur tient compte de la correction apportée à la suite d'une erreur de comptage dans la dose collective 2008 du secteur de l'industrie non nucléaire.

De même, le tableau 5 présente la répartition des doses externes passives 2009 en fonction des grands domaines d'activité suivant l'ancienne classification, à partir desquelles sont réalisées les figures présentées dans ce paragraphe. Les doses individuelles moyennes ont augmenté par rapport à l'année précédente dans tous les domaines : + 25% dans le domaine médical et la recherche, + 7% dans l'industrie nucléaire et + 2% dans l'industrie non nucléaire (en tenant compte pour ce domaine de la correction indiquée dans l'erratum ci-dessus).

Il convient de souligner que pour établir cette comparaison, la même classification des travailleurs a été conservée pour les données de 2008 et de 2009. Les différences de valeurs d'effectifs et de doses collectives dans le tableau 3 et le tableau 5 sont uniquement liées au fait que la répartition des secteurs d'activités suivant les domaines d'activité diffère. Par exemple, les travailleurs non classés étaient précédemment inclus dans le domaine de l'industrie non nucléaire, alors qu'ils sont maintenant regroupés dans la rubrique « Autres activités », ce qui permet d'obtenir des données plus fiables concernant l'industrie non nucléaire. Autre exemple : les activités de transport étaient précédemment incluses dans les activités de l'industrie nucléaires alors que les effectifs comptabilisés comme intervenant dans le transport pour l'industrie nucléaire -civile et militaire- correspondent à 48 % de l'effectif total du transport de matières radioactives. Seules les activités de transport concernant le nucléaire sont désormais comptabilisées dans ce domaine, les autres transports (essentiellement celui des sources médicales) étant inclus dans la catégorie « autres ».

**Tableau 5 - Répartition des doses externes passives en 2009 suivant les grands domaines d'activité (ancienne classification)**

Rubriques <sup>a</sup>	Secteur d'activité ou établissement	Effectif surveillé	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne <sup>(b)</sup> (mSv)	Effectif dont la dose individuelle annuelle est supérieure à 20 mSv	Répartition des effectifs par Intervalles de dose <sup>(b)</sup>					
						< 1 mSv	1 à 6 mSv	6 à 15 mSv	15 à 20 mSv	20 à 50 mSv	> 50 mSv
1,2,3,4,5,6,7 20bis	Activités médicales et vétérinaires	194 746	19,21	0,1	8	191 065	3 382	273	17	8	0
11,12,13,14 17,18,20,21 22,23	Industrie nucléaire	59 732	26,6	0,45	1	53 014	5 901	810	6	1	0
8,10	Industrie (effectif classé "non nucléaire"), divers	48 715	19,12	0,39	5	44 676	3 182	831	21	3	2
9,15,16,19	Recherche, IPN, IPHC, CEA	15 898	0,75	0,05	0	15 705	191	1	1	0	0
	<b>Total</b>	<b>319 091</b>	<b>65,68</b>	<b>0,21</b>	<b>14</b>	<b>304 461</b>	<b>12 656</b>	<b>1 915</b>	<b>45</b>	<b>12</b>	<b>2</b>

<sup>a</sup> Cf. rubriques du tableau 4

<sup>b</sup> Dose individuelle moyenne = dose collective / effectif surveillé

### 3.1.2.3.1. Exposition totale (photons et neutrons)

La figure 12 présente l'évolution des effectifs surveillés et de la dose collective entre 1996 et 2009.

Sur cette période, l'effectif total surveillé a augmenté de 230 385 à 319 091 travailleurs. Cette évolution peut être le résultat d'une croissance des activités mettant en œuvre des sources de rayonnements ionisants comme celui d'une meilleure surveillance des travailleurs professionnellement exposés. Dans le même temps, la dose collective a globalement diminué, mais augmente régulièrement depuis 2007. Entre 2008 et 2009, les effectifs augmentent de 4,1 % et la dose collective de 10,2 %. L'augmentation de la dose collective était de 4,9 % entre 2007 et 2008 et cette tendance à la hausse est bien confirmée en 2009.

Si l'intégration progressive des données de nouveaux laboratoires dans le bilan (en l'occurrence DOSILAB au cours de l'année 2005 avec plus de 5 000 travailleurs surveillés et le SPRA en 2007 avec plus de 8 000 travailleurs surveillés) a contribué à l'augmentation des effectifs dans le passé, ceci n'est plus vrai aujourd'hui et l'augmentation observée depuis 2008 indique une réelle progression du nombre de travailleurs suivis.

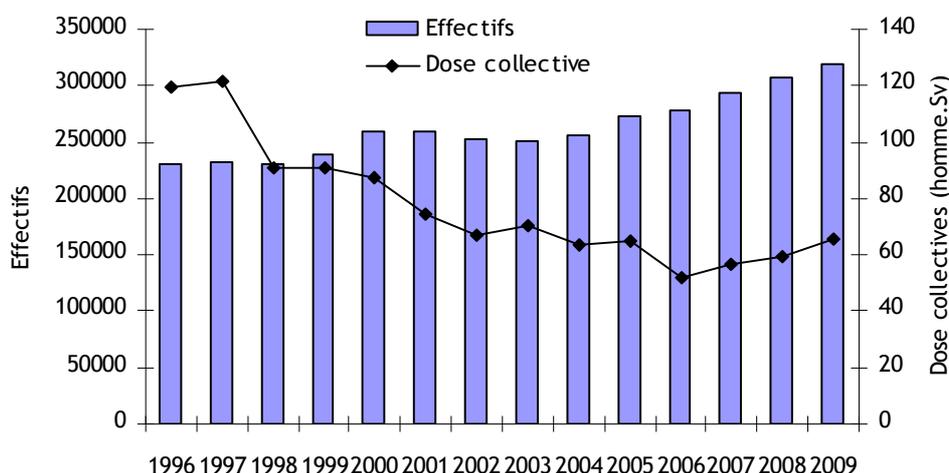


Figure 12 - Evolution des effectifs surveillés et de la dose collective, de 1996 à 2009

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

On note que le nombre de personnes surveillées dans l'industrie nucléaire a augmenté jusqu'en 2001, puis diminué jusqu'en 2006 et il est depuis en augmentation régulière. Plusieurs facteurs ont pu contribuer à l'augmentation des effectifs surveillés dans l'industrie nucléaire de 1998 à 2001 dont les modifications des prescriptions réglementaires<sup>13</sup>. Il est plus difficile d'expliquer la diminution des effectifs entre 2001 et 2006 ; cela 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).

<sup>13</sup> 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).

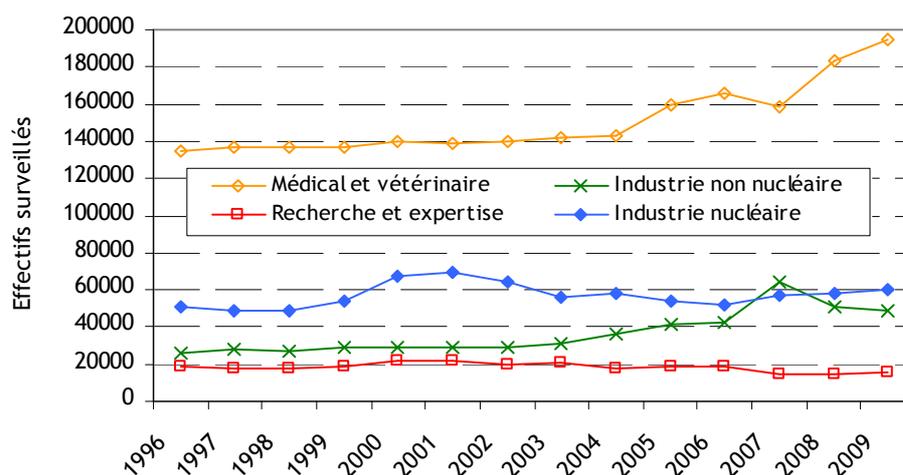


Figure 13 - Evolution des effectifs surveillés, par domaine d'activité, de 1996 à 2009

L'année 2009 confirme la diminution des effectifs dans l'industrie non nucléaire, après une augmentation qui peut être qualifiée de régulière entre 1996 et 2002 et de plus marquée entre 2003 et 2007. Là encore, il faut tenir compte des évolutions concernant le classement des travailleurs : une part importante des effectifs classés précédemment dans la rubrique « Divers » a vu son appartenance à un secteur d'activité précisée en 2008, en étant pour une grande part reclassée dans les secteurs du domaine médical.

L'augmentation des effectifs surveillés dans le domaine des activités médicales et vétérinaires s'est accélérée depuis 2005, à l'exclusion d'une légère baisse en 2007 qu'il est également difficile d'expliquer avec cette précision de données.

La figure 14 rend compte de l'évolution des doses collectives observée dans les différents domaines d'activité.

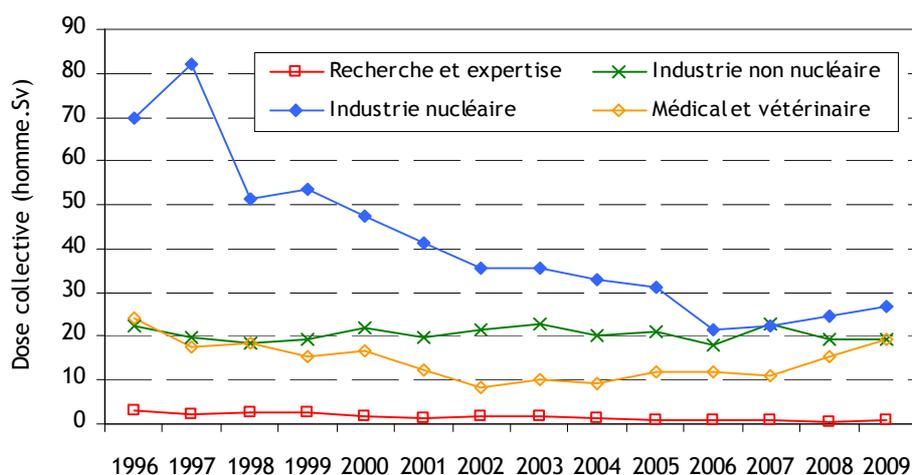


Figure 14 - Evolution des doses collectives, par domaine d'activité, de 1996 à 2009

L'industrie nucléaire, où ont été consentis des efforts importants pour développer la radioprotection, voit une baisse globale importante de la dose collective sur la période considérée. La légère reprise

amorcée en 2007 se confirme jusqu'en 2009 et peut être rapprochée de l'augmentation des effectifs surveillés observée sur la même période.

Après une baisse régulière, la dose collective dans le domaine des activités médicales et vétérinaires augmente nettement en 2008 et en 2009. Cette augmentation est en partie due au report d'une grande partie des effectifs classés dans la rubrique « Divers » dans ce domaine.

Les travailleurs classés dans la rubrique « Divers » étaient alors comptabilisés dans le domaine de l'industrie non nucléaire, pour lequel on observe en 2008 la diminution des effectifs surveillés évoquée plus haut, la dose collective de ce secteur étant globalement stable depuis 1996.

### 3.1.2.3.2. Contribution des neutrons

Après une diminution entre 2005 et 2007, la dose collective due aux neutrons retrouve en 2008 le niveau atteint en 2005 et cette augmentation se poursuit en 2009. Les effectifs surveillés sont en augmentation de 19 % entre 2008 et 2009, après une augmentation de 15 % entre 2007 et 2008 (Cf. figure 15).

Il convient de rappeler que ces effectifs n'incluent pas les personnels d'EDF (Cf. § 3.1.2.1.2).

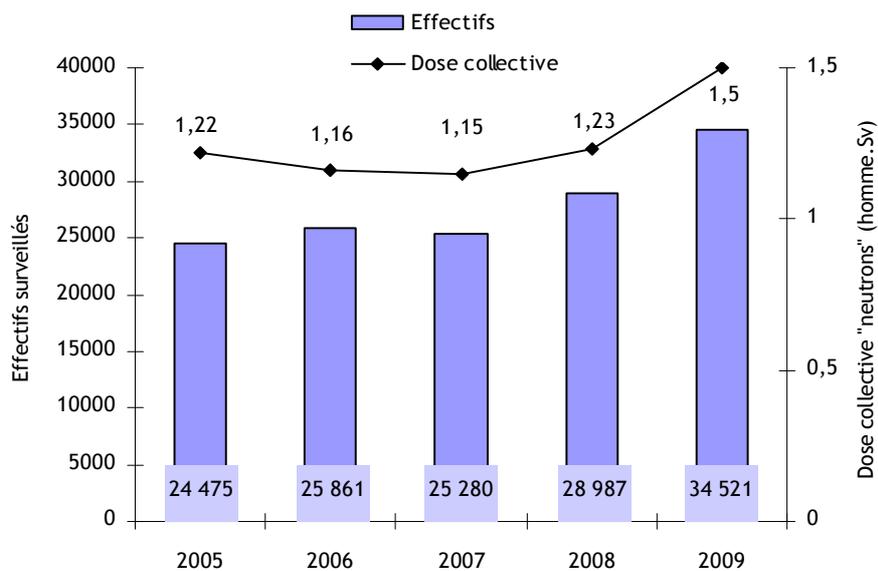


Figure 15 - Evolution des effectifs surveillés et des doses collectives pour l'exposition spécifique aux neutrons de 2005 à 2009

### 3.1.3. DOSIMETRIE DES EXTREMITES

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 cm<sup>2</sup> et celle du cristallin 150 mSv.

La mesure de la dose aux extrémités, à l'endroit le plus exposé, 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. La figure 16 montre que le port d'un dosimètre bague ou d'un dosimètre poignet est variable suivant le domaine d'activité. Il apparaît que le port du dosimètre poignet est largement prédominant dans l'industrie nucléaire et majoritaire dans le domaine des activités médicales et vétérinaires. L'IRSN souligne que pour une même source d'exposition, la dose mesurée au doigt est en général plus élevée que celle mesurée au poignet et que la surveillance à l'aide de dosimètres poignet doit tenir compte de cet écart (éventuellement à l'aide de facteurs correctifs) pour faire en sorte que les doses plus importantes reçues aux doigts des travailleurs respectent bien les limites réglementaires.

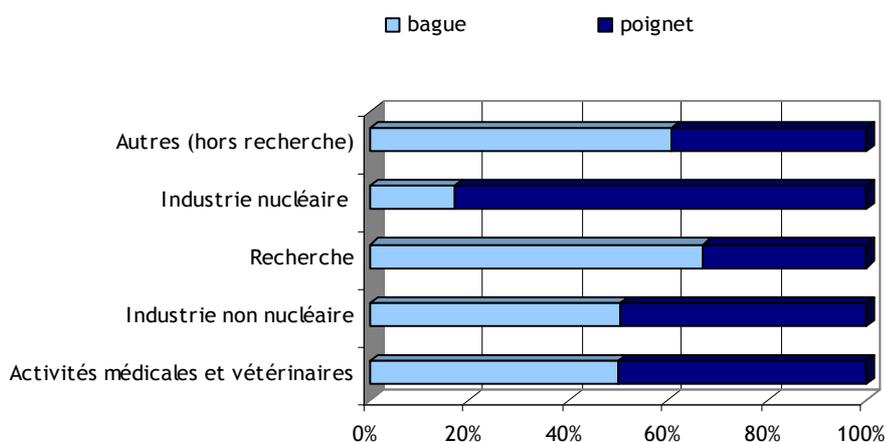


Figure 16 - Importance relative de la surveillance de l'exposition aux extrémités par dosimétrie « bague » ou « poignet » en 2009, suivant les domaines d'activité

La répartition entre les deux types de dosimétrie est équivalente à celle observée en 2008 dans tous les domaines d'activité, sauf dans l'industrie nucléaire où la proportion des dosimètres bague passe de 2 % en 2008 à 17 % en 2009.

### 3.1.3.1. Dosimétrie poignet

En 2009, la dosimétrie au poignet montre une dose totale de 61,6 Sv pour 12 588 travailleurs surveillés (ils étaient 13 136 travailleurs surveillés en 2008 et leur dose totale s'élevait à 27,8 Sv).

L'augmentation de plus d'un facteur 2 observée est essentiellement liée à une augmentation importante de la dose collective chez les travailleurs de l'établissement de Melox. En effet, début 2009, un facteur 3 a été introduit dans la méthode de calcul des doses individuelles lues sur les dosimètres poignet des travailleurs de Melox (et uniquement de ces travailleurs), pour estimer la dose aux doigts qui sont en moyenne 3 fois plus exposés que le poignet. Ce facteur 3 a été déterminé à partir d'une étude menée aux postes de travail en boîte à gants dans cet établissement, où les travailleurs portent le dosimètre en sortie de gant, i.e. sur l'avant-bras donc à une distance importante des extrémités exposées.

La figure 17 illustre la répartition du nombre de travailleurs surveillés et des doses reçues en 2009.

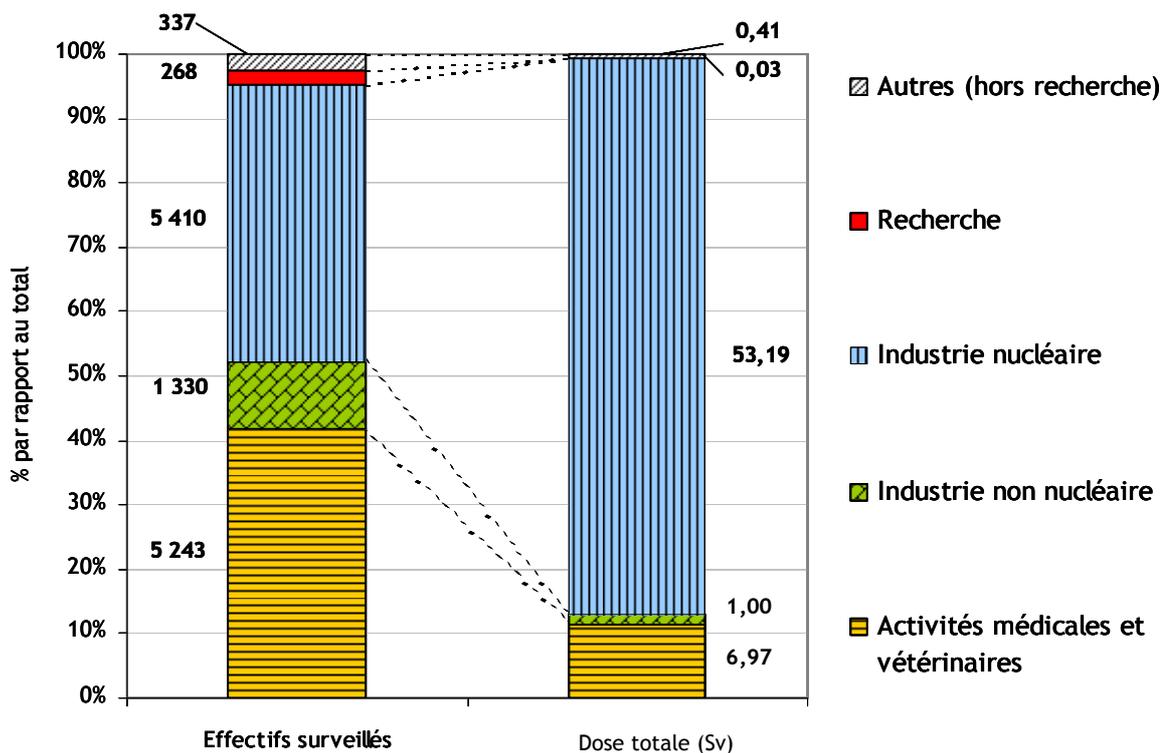


Figure 17 - Répartition des effectifs surveillés et des doses enregistrées pour la dosimétrie au poignet en 2009

Alors que le nombre de travailleurs ayant une dosimétrie poignet est sensiblement le même dans le domaine de l'industrie nucléaire et celui des activités médicales et vétérinaires, le domaine nucléaire représente à lui seul 86 % de la dose totale enregistrée en 2009.

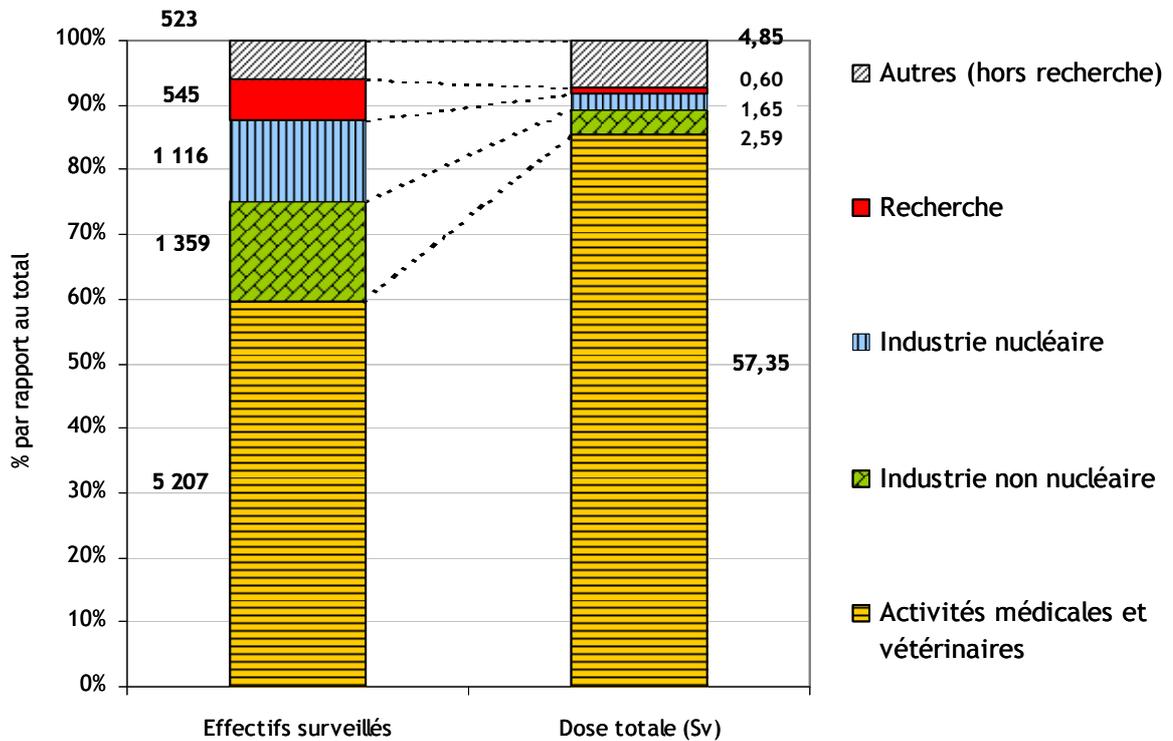
Aucune dose enregistrée sur un dosimètre au poignet n'est supérieure à la limite réglementaire. La dose individuelle maximale est de 357 mSv et concerne un travailleur intervenant dans le secteur de la fabrication du combustible nucléaire (société MELOX).

### 3.1.3.2. Dosimétrie bague

La dose totale pour la dosimétrie bague (doigts) est de 67,0 Sv pour 8 750 travailleurs surveillés en 2009 (ils étaient 6 900 travailleurs surveillés en 2008 et leur dose totale s'élevait à 53,6 Sv).

L'effectif surveillé par une dosimétrie bague est globalement moins important que celui surveillé par une dosimétrie poignet, même si le port de bague est majoritaire dans l'industrie non nucléaire et la recherche (Cf. figure 16). Ceci s'explique en grande partie par la contrainte supplémentaire que représente pour le travailleur le port d'une bague par rapport au dosimètre poignet.

La figure 18 illustre la répartition du nombre de travailleurs surveillés et des doses reçues en 2009 pour la dosimétrie bague.



**Figure 18 - Répartition des effectifs surveillés et des doses enregistrées pour la dosimétrie bague en 2009**

Le domaine des activités médicales et vétérinaires contribue pour 86 % à la dose totale.

La figure 19 illustre la répartition des doses reçues en 2009 pour les activités médicales et vétérinaires. Dans ce domaine d'activité, c'est le secteur de la radiologie qui contribue majoritairement aux expositions des extrémités. En 2009, un dépassement de la limite de 500 mSv sur la dosimétrie bague a été recensé pour trois travailleurs de ce secteur, la dose individuelle la plus élevée étant égale à 1 207 mSv. A noter que le graphe de la figure 19 n'inclut pas de données concernant les travailleurs suivis par le SPRA puisqu'en 2009 seuls les dosimètres poignets étaient encore utilisés pour la dosimétrie des extrémités dans le domaine militaire.

Dose totale bague pour les activités médicales et vétérinaires : 57,35 Sv

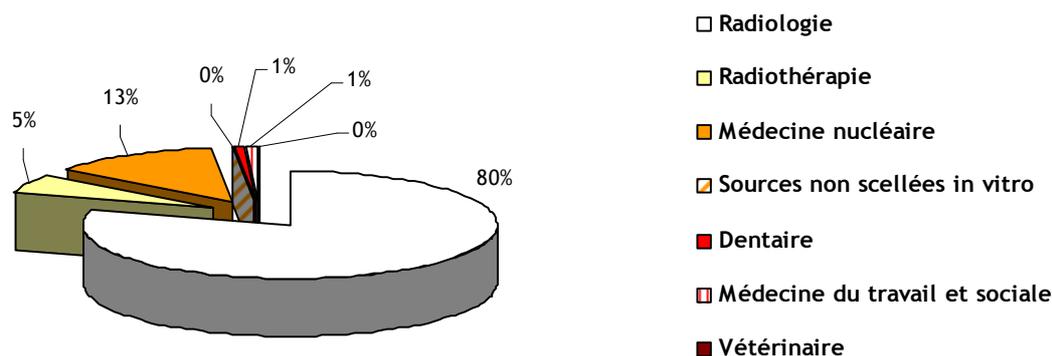


Figure 19 - Répartition des doses enregistrées pour la dosimétrie bague en 2009 pour les activités médicales et vétérinaires

### 3.1.4. CONCLUSION

L'analyse des données collectées auprès des laboratoires de dosimétrie externe passive permet d'établir que l'effectif surveillé au cours de l'année 2009 est de 319 091 travailleurs, en hausse de +4,1 % par rapport à 2008 (+4,3 % entre 2007 et 2008). Cette progression régulière du nombre de travailleurs surveillés en France s'inscrit dans la continuité depuis l'année 2003.

La dose collective correspondante est égale à 65,68 Sv, ce qui représente une augmentation de 10,2 % par rapport à 2008. Alors qu'une diminution globale des doses collectives avait été observée depuis la fin des années 90 du fait notamment de la mise en application de la directive européenne 96/29/Euratom (1996) transposée en mars 2003 dans la réglementation française, la dose collective augmente depuis 2007 (+9 % en 2007 et +4,7 % en 2008) de façon concomitante avec le nombre de travailleurs surveillés.

La dose individuelle annuelle moyenne est égale à 0,21 mSv sur l'ensemble des 319 091 travailleurs surveillés. Les doses individuelles moyennes ont augmenté par rapport à l'année précédente dans tous les domaines : de l'ordre de 25 % dans le domaine médical et la recherche, et plus faiblement dans l'industrie non nucléaire (+2 %) et dans l'industrie nucléaire (+7 %). Il convient de souligner que pour établir cette comparaison, la même classification des travailleurs a été conservée pour les données de 2008 et de 2009.

En ne considérant que les 73 576 travailleurs surveillés ayant reçu au moins une fois une dose supérieure au seuil d'enregistrement, la dose individuelle annuelle moyenne s'élève à 0,89 mSv, ce qui est constant par rapport à l'année précédente (0,9 mSv en 2008).

En 2009, l'effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle supérieure à 1 mSv est de 14 630 travailleurs, soit 4,6 % de l'effectif total, ce qui est comparable au chiffre de 2008 (4,3 %).

La baisse du nombre de dépassements de la limite annuelle de dose efficace de 20 mSv observée au cours des dernières années s'est confirmée (15 cas contre 16 cas en 2008, 22 cas en 2007, 26 en 2006 et 40 en 2005). Les travailleurs concernés appartiennent pour la quasi-totalité au secteur médical et

à celui de l'industrie non nucléaire. Un cas de dépassement a été enregistré en 2009 pour un travailleur d'entreprise de sous-traitance intervenant dans une INB.

Une dose individuelle annuelle aux extrémités supérieure à la limite réglementaire de 500 mSv a été enregistrée pour trois travailleurs du secteur de la radiologie médicale.

## 3.2. BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

### 3.2.1. ELEMENTS DE CONTEXTE

#### 3.2.1.1. 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 concernés 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). Dans le domaine nucléaire, les analyses prescrites sont effectuées par les laboratoires d'analyses de biologie médicale (LABM) - ou par les SST dans certains cas - des entreprises exploitantes : défense, CEA, AREVA, EDF. S'agissant des professionnels du domaine médical et de la recherche, les examens prescrits par les médecins du travail sont pour la plupart réalisés par l'IRSN.

#### 3.2.1.2. Mise en œuvre de la surveillance

L'annexe I (§ 2) 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 [24] 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 à mettre en œuvre, les protocoles de surveillance de l'exposition 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 fixe 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 conduit le plus souvent à une dose très faible (une fraction de mSv). Parmi les examens présentés dans ce bilan, l'analyse radiotoxicologique de prélèvements nasaux n'a pas vocation à être utilisée dans le cadre d'une estimation dosimétrique ; il s'agit

essentiellement d'une méthode de dépistage appliquée dans le cadre d'une surveillance de chantier ou pour la détection d'une éventuelle contamination à la suite d'un incident.

### **3.2.1.3. 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.

Les résultats de plusieurs établissements ont parfois été communiqués de façon groupée, comme indiqué dans les tableaux. 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. Les statistiques indiquées pour AREVA NP Chalon/Saint-Marcel concernent uniquement les examens réalisés sur le site du CEMO<sup>14</sup>, les examens anthroporadiométriques réalisés dans les centrales nucléaires sur les travailleurs de cet établissement étant inclus dans les statistiques d'EDF.

Le bilan général détaille successivement les données relatives à la surveillance de routine (§ 3.2.2.1), celles 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 (§ 3.2.2.2), enfin celles relatives aux estimations dosimétriques réalisées pour des travailleurs en 2009 (§ 3.2.2.3). Le § 3.2.2.4 souligne les difficultés rencontrées par les organismes pour la mise en œuvre de la surveillance de l'exposition interne.

Les tableaux 6, 7, 8, et 9 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 ceux-ci, le nombre d'examens considérés comme positifs suivant les seuils considérés par chaque laboratoire. Le tableau 10 rassemble les données relatives aux examens réalisés à la suite d'un incident ou d'une suspicion d'incident susceptible d'avoir entraîné la contamination interne d'un ou plusieurs travailleurs (surveillance spéciale ou surveillance 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. Le tableau 11 présente le nombre de travailleurs pour lesquels un calcul de dose interne a été effectué au cours de l'année 2009 ainsi que le nombre de travailleurs considérés comme contaminés, c'est-à-dire ceux pour lesquels l'activité mesurée a conduit à une dose efficace annuelle engagée supérieure à 1 mSv,

---

<sup>14</sup> Centre de Maintenance des Outillages : site d'entretien et de stockage des outillages chauds.

conformément aux recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR)<sup>15</sup> et à la norme ISO 20553 [24] qui fixe une valeur maximale pour ce niveau égale à 5 % des limites annuelles de dose.

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 qu'un travailleur peut bénéficier d'une autre type d'examen ;
- 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 ;
- 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.

**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.**

En fonction de leur activité professionnelle, tous les travailleurs surveillés n'ont pas systématiquement eu d'examen au cours de l'année 2009. 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.

A la suite du bilan général, sont présentées successivement une analyse de ces données par secteur d'activité et une comparaison avec les résultats des bilans établis depuis 2006.

### **3.2.2. BILAN GENERAL**

#### **3.2.2.1. Surveillance de routine**

Dans le bilan général concernant la surveillance de routine, il apparaît que les examens anthroporadiométriques sont les plus nombreux, avec 197 901 examens réalisés en 2009, suivis par les

---

<sup>15</sup> Publication 78, Individual monitoring for internal exposure of workers - Replacement of ICRP Publication 54. vol. 27, n° 3/4, 1997.

analyses radiotoxicologiques des prélèvements nasaux et des urines, avec respectivement 56 873 et 49 656 examens. Si les nombres d'examens sont relativement proches pour ces deux derniers types d'analyses, les effectifs correspondants diffèrent nettement : 14 220 travailleurs ont été suivis en 2009 pour des analyses urinaires, contre 2 610 pour des analyses de prélèvements nasaux. Enfin 7 130 analyses radiotoxicologiques fécales ont été réalisées. Le nombre total d'examens réalisés en 2009, toutes analyses confondues, s'élève à 311 560.

Les évolutions de ce bilan depuis l'année 2006 sont présentées au paragraphe 3.2.4.

#### **3.2.2.2. Surveillance spéciale ou surveillance de contrôle**

10 473 examens ont été réalisés en 2009 dans le cadre d'une surveillance spéciale ou d'une surveillance de contrôle, dont 5 516 examens anthroporadiométriques réalisés dans les centrales nucléaires d'EDF (le nombre des travailleurs d'EDF ayant bénéficié de ces examens n'est pas connu). Pour 46 examens, soit moins de 1 %, le résultat est supérieur au niveau d'enregistrement. Il est important de préciser que, pour leur grande majorité, ces examens ne sont pas réalisés à la suite d'un événement considéré comme 'événement significatif de radioprotection'.

#### **3.2.2.3. Estimations dosimétriques**

En 2009, sur 384 travailleurs pour lesquels un calcul de dose a été réalisé, 18 cas de contamination interne ont été rapportés. La dose individuelle la plus élevée est estimée à 69 mSv et constitue un dépassement de la limite annuelle réglementaire (Cf. § 3.3). La deuxième dose la plus élevée a été estimée à 6 mSv, ce qui est de l'ordre des niveaux d'exposition interne enregistrés en 2008 : une dose engagée supérieure à 1 mSv avait été enregistrée l'an passé chez 20 travailleurs, la dose individuelle maximale étant égale à 5,7 mSv.

#### **3.2.2.4. Difficultés liées à la surveillance de l'exposition interne des travailleurs**

Le questionnaire envoyé par l'IRSN aux laboratoires pour établir le bilan 2009 permettait à ces derniers de faire remonter les difficultés éventuelles rencontrées dans leur travail en termes de délais de retour d'échantillons, de volumes exploitables, ...

Parmi les laboratoires ayant répondu à cette partie du questionnaire, plusieurs déclarent ne rencontrer aucune difficulté. Il ressort des réponses apportées par les autres laboratoires que le taux d'échantillons rendus hors délai varie entre 1 % et 11 % suivant les laboratoires, et que le volume des échantillons d'urines ou de selles collectées sur 24h est insuffisant dans moins de 5 % des cas.

Concernant les estimations dosimétriques, un service de santé au travail évoque la difficulté de réaliser les calculs de dose pour les travailleurs d'entreprises extérieures ayant quitté le chantier à la fin de leur mission.

Tableau 6 - 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	0	0
AREVA NC Pierrelatte	409	918	0
AREVA NC Marcoule	172	4 119	0
MELOX	0	0	0
AREVA NP Jeumont SA (JSPM et SOMANU)	0	0	0
AREVA NP Chalon	0	0	0
AREVA NC Cadarache, TA, IC, STMI (suivis par CEA)	420	483	0
SGN St-Quentin	35	35	0
SGN Marcoule (suivis par CEA)	0	0	0
TN International	23	23	0
STMI Pierrelatte	4	4	0
COMURHEX Pierrelatte	292	229	1
COMURHEX Malvesi	249	1 287	31
AREVA NC La Hague	2 172	4 167	nc
CENTRACO et SOCODEI (suivis par CEA)	0	0	0
EURODIF	335	518	0
SOCATRI	26	26	0
Laboratoire CERCA	4	27	0
FBFC Romans	123	185	0
EDF	82	353	0
<b>Sous-total industrie nucléaire hors CEA</b>	<b>4 353</b>	<b>12 374</b>	<b>32</b>
CEA Cadarache	841	354	0
Entreprises extérieures du CEA Cadarache	1 311	479	0
CEA DAM IDF (BIII)	18	65	0
Entreprises extérieures du CEA DAM IDF	59	285	0
CEA DAM Valduc	2 077	11 436	0
CEA Fontenay-aux-Roses	740	1 266	0
CEA Grenoble	261	593	0
CEA Pierrelatte (suivi par AREVA)	50	73	0
CEA Marcoule	6	171	0
Entreprises extérieures du CEA Marcoule	172	1 177	0
CEA Saclay	1 003	3 116	0
<b>Sous-total CEA</b>	<b>6 538</b>	<b>19 015</b>	<b>0</b>
CIS-BIO International Marcoule (suivi par le CEA)	0	0	0
Etablissements suivis par le SPRA	0	0	0
IRSN Cadarache (suivi par le CEA)	40	18	0
Etablissements suivis par l'IRSN	3 018	17 361	133 (*)
<b>Sous-total médecine et recherche hors CEA</b>	<b>3 058</b>	<b>17 379</b>	<b>133</b>
<b>Sous-total défense (SPRA)</b>	<b>271</b>	<b>888</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>14 220</b>	<b>49 656</b>	<b>165</b>

nc : donnée non communiquée, nd : donnée non disponible

(\*) 133 analyses urinaires réalisées par l'IRSN ont donné un résultat supérieur à la limite de détection, tous types de surveillance confondus.

Tableau 7 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques fécales

Etablissement	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs
AREVA NC siège	0	0	0
AREVA NC Pierrelatte	201	201	0
AREVA NC Marcoule	331	358	0
MELOX	590	590	18
AREVA NP Jeumont SA (JSPM et SOMANU)	0	0	0
AREVA NP Chalon	0	0	0
AREVA NC Cadarache, TA, IC, STMI (suivis par CEA)	420	378	0
SGN St-Quentin	0	0	0
SGN Marcoule (suivis par CEA)	5	5	0
TN International	0	0	0
STMI Pierrelatte	0	0	0
COMURHEX Pierrelatte	0	0	0
COMURHEX Malvesi	84	84	0
AREVA NC La Hague	534	714	1
CENTRACO et SOCODEI (suivis par CEA)	0	0	0
EURODIF	0	0	0
SOCATRI	0	0	0
Laboratoire CERCA	0	0	0
FBFC Romans	231	295	2
EDF	265	657	0
<b>Sous-total industrie nucléaire hors CEA</b>	<b>2 661</b>	<b>3 282</b>	<b>21</b>
CEA Cadarache	841	78	0
Entreprises extérieures du CEA Cadarache	1 311	453	1
CEA DAM IDF (BIII)	21	21	0
Entreprises extérieures du CEA DAM IDF	10	15	0
CEA DAM Valduc	2 077	1 193	2
CEA Fontenay-aux-Roses	160	308	0
CEA Grenoble	81	207	0
CEA Pierrelatte (suivi par AREVA)	0	0	0
CEA Marcoule	273	277	0
Entreprises extérieures du CEA Marcoule	1 054	1 146	0
CEA Saclay	91	138	0
<b>Sous-total CEA</b>	<b>5 919</b>	<b>3 836</b>	<b>3</b>
CIS-BIO International Marcoule (suivi par CEA)	0	0	0
Etablissements suivis par le SPRA	0	0	0
IRSN Cadarache (suivi par CEA)	40	4	0
Etablissements suivis par l'IRSN	1	8	nd
<b>Sous-total médecine et recherche hors CEA</b>	<b>41</b>	<b>12</b>	<b>0</b>
<b>Sous-total défense (SPRA hors médical et recherche)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>8 621</b>	<b>7 130</b>	<b>24</b>

nc : donnée non communiquée, nd : donnée non disponible

**Tableau 8 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de prélèvements nasaux**

<b>Etablissement</b>	<b>Nombre de travailleurs suivis</b>	<b>Nombre total d'examens</b>	<b>Nombre d'examens considérés positifs</b>
AREVA NC siège	0	0	0
AREVA NC Pierrelatte	0	0	0
AREVA NC Marcoule	0	0	0
MELOX	0	0	0
AREVA NP Jeumont SA (JSPM et SOMANU)	0	0	0
AREVA NP Chalon	0	0	0
AREVA NC Cadarache, TA, IC, STMI (suivis par le CEA)	nd	2 368	0
SGN St-Quentin	0	0	0
SGN Marcoule (suivis par le CEA)	0	0	0
TN International	0	0	0
STMI Pierrelatte	0	0	0
COMURHEX Pierrelatte	0	0	0
COMURHEX Malvesi	0	0	0
AREVA NC La Hague	0	0	0
CENTRACO et SOCODEI (suivis par le CEA)	0	0	0
EURODIF	0	0	0
SOCATRI	0	0	0
Laboratoire CERCA	0	0	0
FBFC Romans	2	2	0
EDF	266	2 191	0
<b>Sous-total industrie nucléaire hors CEA</b>	<b>268</b>	<b>4 561</b>	<b>0</b>
CEA Cadarache	nd	45	0
Entreprises extérieures du CEA Cadarache	nd	914	0
CEA DAM IDF (BIII)	33	685	0
Entreprises extérieures du CEA DAM IDF	46	2 858	0
CEA DAM Valduc	2 077	42 635	1
CEA Fontenay-aux-Roses	181	5 154	0
CEA Grenoble	0	0	0
CEA Pierrelatte (suivi par AREVA)	0	0	0
CEA Marcoule	0	0	0
Entreprises extérieures du CEA Marcoule	0	0	0
CEA Saclay	5	20	0
<b>Sous-total CEA</b>	<b>2 342</b>	<b>52 311</b>	<b>1</b>
CIS-BIO International Marcoule (suivi par le CEA)	0	0	0
Etablissements suivis par le SPRA	0	0	0
IRSN Cadarache (suivi par le CEA)	nd	1	0
Etablissements suivis par l'IRSN	0	0	0
<b>Sous-total médecine et recherche</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>Sous-total défense (SPRA hors médical et recherche)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>2 610</b>	<b>56 873</b>	<b>1</b>

nc : donnée non communiquée, nd : donnée non disponible

Tableau 9 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques

Etablissement	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs
AREVA NC siège	15	0	0
AREVA NC Pierrelatte	0	0	0
AREVA NC Marcoule	1 022	852	0
MELOX	111	111	0
AREVA NP Jeumont SA (JSPM et SOMANU)	370	740	0
AREVA NP Chalon	238	1 309	0
AREVA NC Cadarache, TA, IC, STMI (suivis par le CEA)	420	492	0
SGN St-Quentin	68	68	0
SGN Marcoule (suivis par le CEA)	353	377	4
TN International	48	48	0
STMI Pierrelatte	0	0	0
COMURHEX Pierrelatte	0	0	0
COMURHEX Malvesi	0	0	0
AREVA NC La Hague	6 736	6 730	nc
CENTRACO et SOCODEI (suivis par le CEA)	181	168	0
EURODIF	0	0	0
SOCATRI	11	22	0
Laboratoire CERCA	24	9	0
FBFC Romans	197	197	0
EDF (LABM + CNPE)	40 212	168 132	429 (*)
<b>Sous-total industrie nucléaire hors CEA</b>	<b>50 006</b>	<b>179 255</b>	<b>433</b>
CEA Cadarache	841	841	0
Entreprises extérieures du CEA Cadarache	1 311	1 674	0
CEA DAM IDF (BIII)	388	388	0
Entreprises extérieures du CEA DAM IDF	154	154	0
CEA DAM Valduc	2 077	1 375	0
CEA Fontenay-aux-Roses	1 154	1 380	0
CEA Grenoble	600	921	0
CEA Pierrelatte (suivi par AREVA)	0	0	0
CEA Marcoule	1 250	884	0
Entreprises extérieures du CEA Marcoule	nc	2 071	0
CEA Saclay	1 595	2 084	0
<b>Sous-total CEA</b>	<b>9 370</b>	<b>11 772</b>	<b>0</b>
CIS-BIO International Marcoule (suivi par le CEA)	38	50	0
Etablissements suivis par le SPRA	79	79	0
IRSN Cadarache (suivi par le CEA)	40	40	0
Etablissements suivis par l'IRSN	239	304	61
<b>Sous-total médecine et recherche hors CEA</b>	<b>396</b>	<b>473</b>	<b>61</b>
<b>Sous-total défense (SPRA hors médical et recherche)</b>	<b>3 988</b>	<b>6 401</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>63 760</b>	<b>197 901</b>	<b>494</b>

nc : donnée non communiquée, nd : donnée non disponible

(\*) Au sein des centrales EDF, on compte 429 examens anthroporadiométriques considérés comme positifs, tous types de surveillance confondus.

**Tableau 10 - Examens réalisés à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale ou de contrôle)**

<b>Etablissement</b>	<b>Nombre de travailleurs suivis</b>	<b>Nombre total d'examens</b>	<b>Nombre d'examens considérés positifs</b>
AREVA NC siège	0	0	0
AREVA NC Pierrelatte	24	37	0
AREVA NC Marcoule	10	49	0
MELOX	9	34	0
AREVA NP Jeumont SA (JSPM et SOMANU)	0	0	0
AREVA NP Chalon	1	10	0
AREVA NC Cadarache, TA, IC, STMI (suivis par le CEA)	57	36	0
SGN St-Quentin	0	0	0
SGN Marcoule (suivis par le CEA)	0	0	0
TN International	0	0	0
STMI Pierrelatte	4	8	0
COMURHEX Pierrelatte	12	14	2
COMURHEX Malvesi	40	42	4
AREVA NC La Hague	122	703	1
CENTRACO et SOCODEI (suivis par le CEA)	2	4	0
EURODIF	335	62	0
SOCATRI	9	36	0
Laboratoire CERCA	0	0	0
FBFC Romans	42	102	4
EDF	71 (LAM seul)	5 858	0 (*)
<b>Sous-total industrie nucléaire hors CEA</b>	<b>738</b>	<b>6995</b>	<b>11</b>
CEA Cadarache	9	12	0
Entreprises extérieures CEA du CEA Cadarache	54	73	0
CEA DAM IDF (BIII)	6	10	0
Entreprises extérieures CEA DAM IDF	1	3	0
CEA DAM Valduc	126	314	29
CEA Fontenay-aux-Roses	27	71	0
CEA Grenoble	52	336	0
CEA Pierrelatte (suivi par AREVA)	3	3	0
CEA Marcoule	8	35	0
Entreprises extérieures du CEA Marcoule	49	275	5
CEA Saclay	118	644	0
<b>Sous-total CEA</b>	<b>453</b>	<b>1 776</b>	<b>34</b>
CIS-BIO International Marcoule (suivi par le CEA)	1	1	0
Etablissements suivis par le SPRA	0	0	0
IRSN Cadarache (suivi par le CEA)	0	0	0
Etablissements suivis par l'IRSN :			
* analyses radiotoxicologiques urinaires	302	1 697	0 (*)
* mesures anthroporadiométriques	4	4	1
<b>Sous-total médecine et recherche hors CEA</b>	<b>307</b>	<b>1 702</b>	<b>1</b>
<b>Sous-total défense (SPRA hors médical et recherche)</b>	<b>68</b>	<b>149</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>1 498</b>	<b>10 473</b>	<b>46</b>

(\*) 429 examens anthroporadiométriques réalisés au sein des centrales EDF et 133 analyses urinaires réalisées par l'IRSN ont été considérés comme positifs, tous types de surveillance confondus (Cf. tableaux 6 et 9).

Tableau 11 - Estimations dosimétriques de la dose interne

Etablissement	Nombre de travailleurs concernés par un calcul de dose	Nombre de travailleurs contaminés (**)
AREVA NC siège	0	0
AREVA NC Pierrelatte	0	0
AREVA NC Marcoule	31	0
MELOX	0	0
AREVA NP Jeumont SA (JSPM et SOMANU)	0	0
AREVA NP Chalon	0	0
AREVA NC Cadarache, TA, IC, STMI (suivis par le CEA)	0	0
SGN St-Quentin	0	0
SGN Marcoule (suivis par le CEA)	0	0
TN International	0	0
STMI Pierrelatte	nc	nc
COMURHEX Pierrelatte	0	0
COMURHEX Malvesi	0	0
AREVA NC La Hague	16	2
CENTRACO et SOCODEI (suivis par le CEA)	0	0
EURODIF	0	0
SOCATRI	0	0
Laboratoire CERCA	0	0
FBFC Romans	294	9
EDF	3	0
<b>Sous-total industrie nucléaire hors CEA</b>	<b>344</b>	<b>11</b>
CEA Cadarache	0	0
Entreprises extérieures CEA du CEA Cadarache	1	1
CEA DAM IDF (BIII)	0	0
Entreprises extérieures CEA DAM IDF	0	0
CEA DAM Valduc	nd	4
CEA Fontenay-aux-Roses	27	0
CEA Grenoble	0	0
CEA Pierrelatte (suivi par AREVA)	0	0
CEA Marcoule	0	0
Entreprises extérieures CEA du CEA Marcoule	1	1
CEA Saclay	1	0
<b>Sous-total CEA</b>	<b>30</b>	<b>6</b>
CIS-BIO International Marcoule (suivi par le CEA)	0	0
Etablissements suivis par le SPRA	0	0
IRSN Cadarache (suivi par le CEA)	0	0
Etablissements suivis par l'IRSN	10	1
<b>Sous-total médecine et recherche hors CEA</b>	<b>10</b>	<b>1</b>
<b>Sous-total défense (SPRA hors médical et recherche)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>384</b>	<b>18</b>

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

### 3.2.3. BILAN PAR SECTEUR D'ACTIVITE

La figure 20 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.

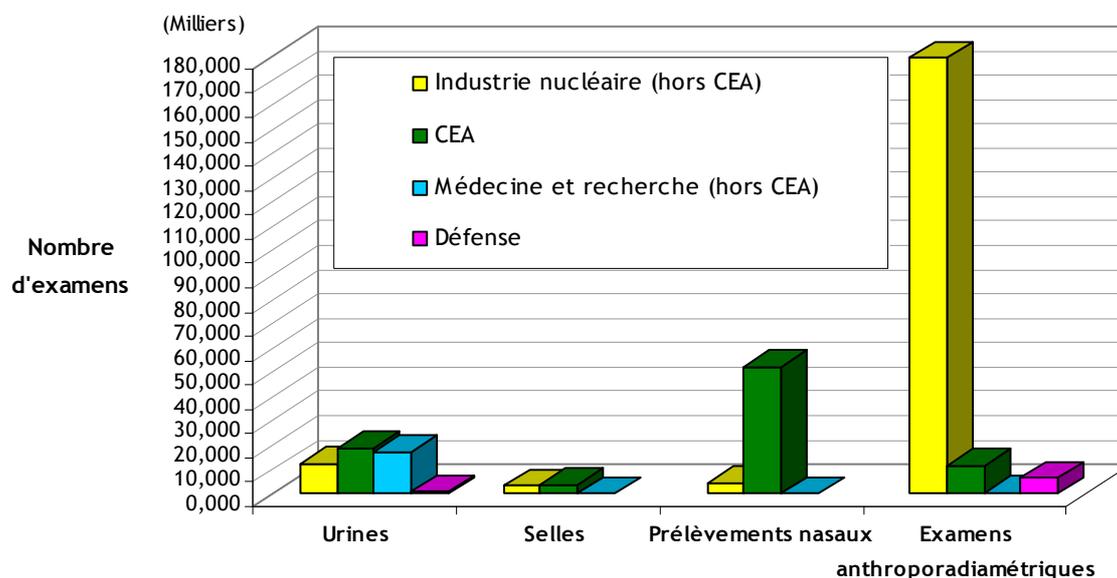


Figure 20 - Nombre d'examens suivant les types d'analyses mises en œuvre pour assurer la surveillance de l'exposition interne dans les grands secteurs d'activité en 2009 (surveillance de routine)

Comme les années précédentes, 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 radiotoxiques. Le suivi des personnels dans les établissements du secteur médical et de la recherche repose essentiellement sur des analyses radiotoxiques urinaires. Les personnels du secteur de la défense bénéficient majoritairement d'une surveillance par anthroporadiométrie et dans une moindre mesure par des analyses radiotoxiques 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 de mesure 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 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'accident nucléaire ou d'acte de malveillance susceptible 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. Le parc sera à terme composé de deux véhicules. En vue d'une couverture optimale sur le territoire français, une répartition de ces deux moyens mobiles, au nord et au sud de la France, est envisagée.

### 3.2.3.1. Industrie nucléaire

La figure 21 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  $\gamma$  (produits d'activation<sup>16</sup> et produits de fission<sup>17</sup>), repose essentiellement sur des examens anthroporadiométriques alors que les activités du groupe AREVA conduisent à privilégier également 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  $\alpha$  ( $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{235-238}\text{U}$ ,...). Les analyses fécales sont pratiquées essentiellement pour la mesure des actinides.

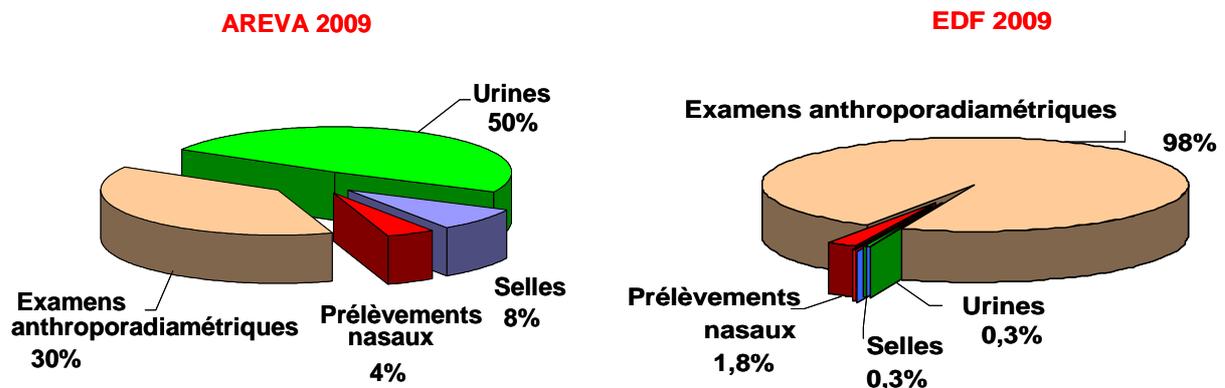


Figure 21 - Répartition des analyses réalisées dans les différentes entreprises du secteur nucléaire (surveillance de routine)

Dans le cadre des programmes de surveillance spéciale ou de contrôle, 1 137 examens ont été réalisés en 2009 au sein du groupe AREVA, dont 11 ont conduit à un résultat supérieur au niveau d'enregistrement. Les évaluations dosimétriques réalisées auprès de 341 travailleurs ont révélé que 11 d'entre eux avaient reçu une dose engagée supérieure à 1 mSv. La dose individuelle la plus élevée estimée constitue un dépassement de la limite annuelle réglementaire puisqu'elle atteint 69 mSv (dans le cadre d'un incident) et la deuxième dose la plus élevée dans ce secteur est égale à 4,35 mSv.

<sup>16</sup> Matériaux de la structure d'un réacteur nucléaire devenus radioactifs après avoir été soumis à de forts flux de neutrons.

<sup>17</sup> Restes d'un noyau fissile après fission dans un réacteur ; ils contribuent à l'essentiel de la radioactivité présente dans le combustible irradié.

Au sein du LABM d'EDF, une évaluation dosimétrique a été réalisée pour 2 travailleurs : les doses engagées estimées sont inférieures à 1 mSv.

429 examens anthroporadiométriques réalisés au sein des CNPE, toutes surveillances confondues, ont eu un résultat supérieur à la limite de détection, dont 111 ayant entraîné des investigations complémentaires. Une évaluation dosimétrique a été réalisée pour trois travailleurs, avec un résultat chaque fois inférieur à 1 mSv. Le tableau 12 présente le bilan détaillé des mesures anthroporadiométriques réalisées par EDF sur les sites des centrales nucléaires en 2009.

Tableau 12 - Bilan détaillé des mesures anthroporadiométriques réalisées par EDF pour les travailleurs des centrales nucléaires suivis en 2009

<b>ANTHROPORADIOMETRIE EDF - année 2009</b>	
Nombre de travailleurs EDF	19 791
Nombre de travailleurs d'entreprises extérieures	20 334
<b><u>Nombre total d'examens effectués</u></b>	<b>176 921</b>
pour surveillance de routine :	168 045
pour surveillance spéciale ou de contrôle :	5 516
pour surveillance de chantier :	3 360
Détail par centrale nucléaire (toutes surveillances)	Nombre d'examens (*)
BELLEVILLE	8 131 (+ 38 %)
BLAYAIS	11 342 (+ 24 %)
BUGEY	9 913 (- 1 %)
CATTENOM	10 644 (+ 33 %)
CHINON	12 705 (+ 27 %)
CHOOZ	8 871 (+ 81 %)
CIVAUX	6 441 (+ 37 %)
CRUAS	8 734 (+ 1 %)
DAMPIERRE	11 297 (-0,4 %)
FESSENHEIM	9 616 (+ 75 %)
FLAMANVILLE	6 137 (- 47 %)
GOLFECH	3 794 (- 47 %)
GRAVELINES	13 962 (+ 8 %)
NOGENT	7 386 (+ 11 %)
PALUEL	10 286 (+ 12 %)
PENLY	7 572 (+75 %)
SAINT ALBAN	5 665 (- 25 %)
SAINT LAURENT	7 280 (+30 %)
TRICASTIN	14 917 (+ 38 %)
CREYS MALVILLE	1 739 (- 5 %)
BRENNILIS	489 (+ 10 %)

(\*) Evolution par rapport à 2008

### 3.2.3.2. 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 22 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 60 % 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 en sortie d'installations classées « zone contrôlée ».

Dans le cadre des programmes de surveillance spéciale ou de contrôle, 1 776 examens ont été réalisés en 2009 sur l'ensemble des sites du CEA ; pour 34 examens le résultat était supérieur au niveau d'enregistrement. Parmi les 30 travailleurs pour lesquels un calcul de dose a été réalisé, 6 travailleurs ont reçu une dose engagée supérieure à 1 mSv, la dose individuelle la plus élevée estimée étant égale à 6 mSv.

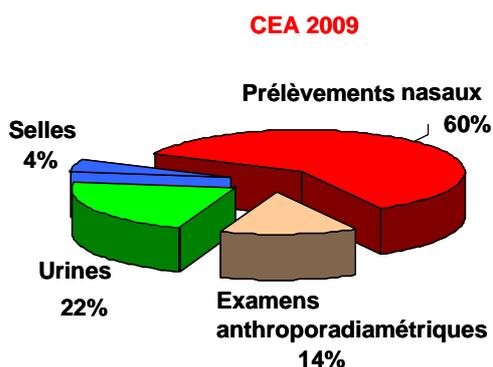


Figure 22 - Répartition des analyses réalisées dans les établissements du CEA (surveillance de routine)

### 3.2.3.3. Médecine et recherche

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

Les principaux radionucléides émetteurs  $\alpha$ ,  $\gamma$  et  $\beta$  à mesurer par radiotoxicologie, ainsi que le nombre d'analyses correspondantes réalisées par l'IRSN en 2009, sont précisés dans le tableau 13. L'utilisation de radionucléides émetteurs  $\alpha$  est précisée ici à titre d'information comme faisant l'objet d'une surveillance par les laboratoires de l'IRSN, même si elle concerne des activités autres que celles rencontrées dans le secteur de la médecine et la recherche (c'est par exemple le cas des travailleurs ayant séjourné dans les pays de l'Est évoqués ci-après).

Tableau 13 - Principaux radionucléides émetteurs  $\alpha$ ,  $\gamma$  et  $\beta$  analysés par l'IRSN en 2009

Radionucléides émetteurs $\alpha$ (781 analyses)	Radionucléides émetteurs $\gamma$ (14 242 analyses)	Radionucléides émetteurs $\beta$ (3 900 analyses)
dont 159 analyses de l'américium 241	dont 2 396 analyses de l'iode 131	dont 1 378 analyses du tritium

Les mesures réalisées par le laboratoire de l'IRSN montrent que 99,3 % des résultats d'analyses radiotoxicologiques sont inférieurs à la limite de détection. Dans le cas contraire (0,7 % des résultats), les trois contaminants les plus fréquemment détectés sont comme l'année précédente, et dans l'ordre, l'iode 131 (49 cas sur un total de 133), l'iode 125 (22 cas sur 133) et le tritium (19 cas sur 133).

Au total 239 travailleurs ont fait l'objet d'au moins un examen anthroporadiométrique à l'IRSN en 2009 dans le cadre de la surveillance de routine : 74 travailleurs du secteur de la médecine nucléaire, 62 travailleurs de l'IRSN, 103 travailleurs ayant séjourné dans les pays de l'Est. Les résultats sont positifs pour 34 examens dans le secteur de la médecine nucléaire, 1 examen chez les travailleurs de l'IRSN et 26 examens chez les travailleurs ayant séjourné dans les pays de l'Est.

En 2009, l'IRSN a réalisé une estimation dosimétrique pour 10 travailleurs : 8 estimations ont concerné des travailleurs du secteur médical et de la recherche (dont 3 travailleurs de médecine nucléaire) et 2 estimations ont concerné des activités à l'étranger. Une seule dose engagée, égale à 2 mSv, est supérieure à 1 mSv et concerne un travailleur de médecine nucléaire.

Des travailleurs du secteur de la médecine ou de la recherche sont également suivis par le CEA ; aucune dose engagée supérieure à 1 mSv n'a été enregistrée pour ces travailleurs.

#### 3.2.3.4. Défense

Les données présentées dans ce paragraphe regroupent les statistiques de la surveillance exercée par le SPRA à Clamart, qui centralise également pour ce bilan les données du service médical d'unité de la base opérationnelle de l'île Longue à Brest, du service médical d'unité de l'escadrille des sous-marins nucléaires lanceurs d'engins de la base navale de Brest, du service médical d'unité de l'escadrille des sous-marins nucléaires d'attaque de la base navale de Toulon, et depuis l'année 2008, du service médical du porte-avion « Charles-de-Gaulle », à l'exclusion des travailleurs de ces établissements intervenant dans le secteur médical et de la recherche qui sont inclus dans les données présentées au § 3.2.3.3). Comme le montre la figure 23, la surveillance de l'exposition interne est principalement réalisée par deux types d'examens : les analyses radiotoxicologiques des urines (pour 12 % des examens) et des examens anthroporadiométriques du corps entier, des poumons et de la thyroïde (pour 88 % des examens). En 2009, la surveillance des travailleurs suivis par le SPRA n'a pas fait l'objet d'estimation dosimétrique.

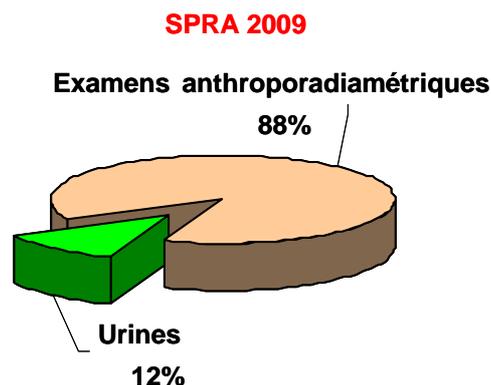


Figure 23 - Répartition des analyses réalisées au profit des personnels du ministère de la défense (surveillance de routine)

### 3.2.4. EVOLUTION PAR RAPPORT AUX ANNEES PRECEDENTES (PERIODE 2006-2009)

Comme précisé plus haut (Cf. § 3.2.2.1), 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.

#### 3.2.4.1. Evolution dans le cadre de la surveillance de routine

Globalement, le nombre total d'examens réalisés a augmenté de 6,5 %, passant de 292 419 examens en 2008 à 311 560 examens en 2009, confirmant la tendance observée entre 2007 et 2008 (+8 %). La figure 24 détaille ces évolutions en fonction du type d'examen.

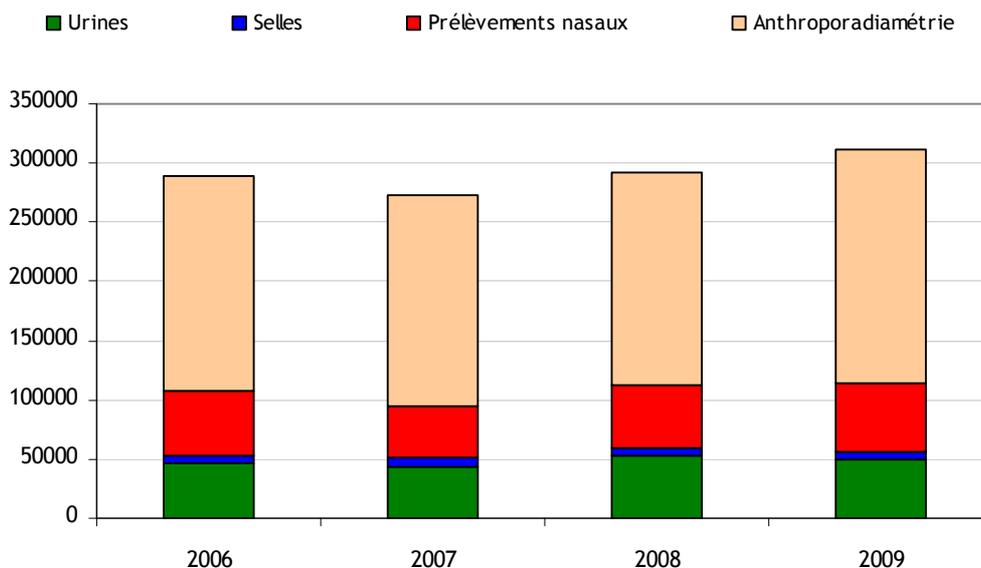


Figure 24 - Evolution du nombre d'examens réalisés dans le cadre de la surveillance de routine entre 2006 et 2009 (tous secteurs d'activité confondus)

Les figures 25 à 28 précisent les tendances observées dans chaque secteur d'activité.

Dans l'industrie nucléaire (Cf. figure 25), il apparaît que le nombre d'examens anthroporadiométriques, d'analyses de selles et de prélèvements nasaux a augmenté entre 2008 et 2009 (+10 %, +7,4 % et +6,7 % respectivement) alors que le nombre d'analyses d'urines a légèrement diminué (-5,5 %).

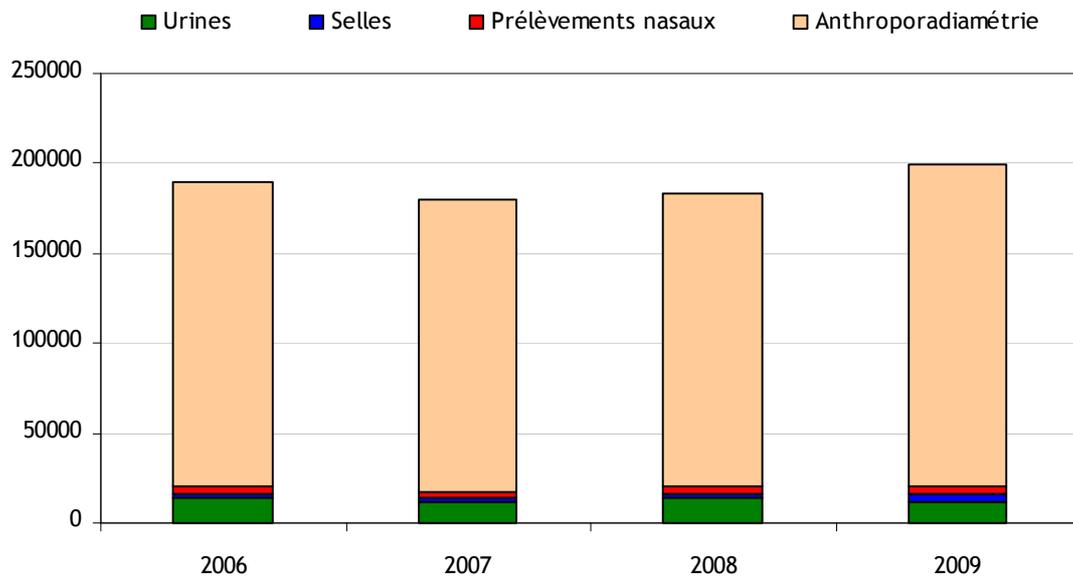
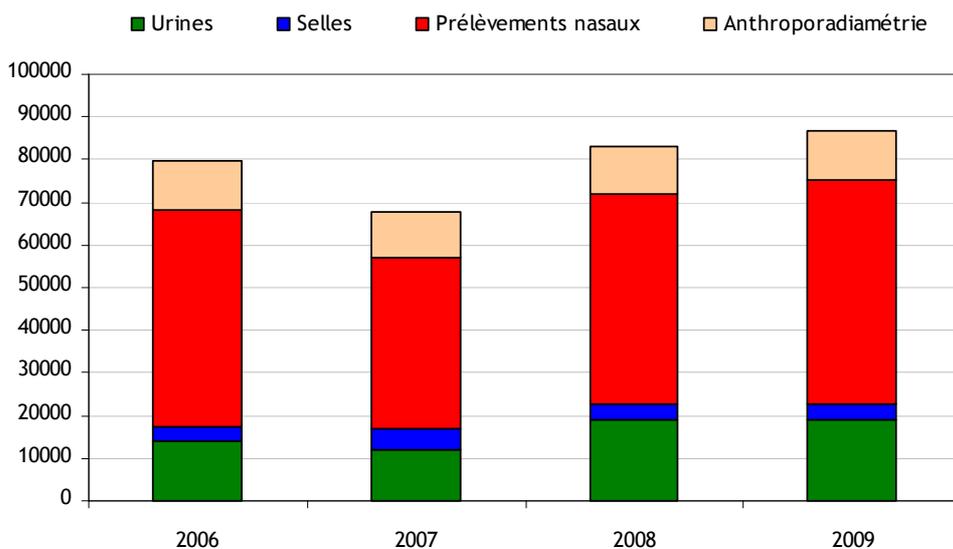


Figure 25 - Evolution du nombre d'examens de routine réalisés dans l'industrie nucléaire (AREVA et EDF) entre 2006 et 2009

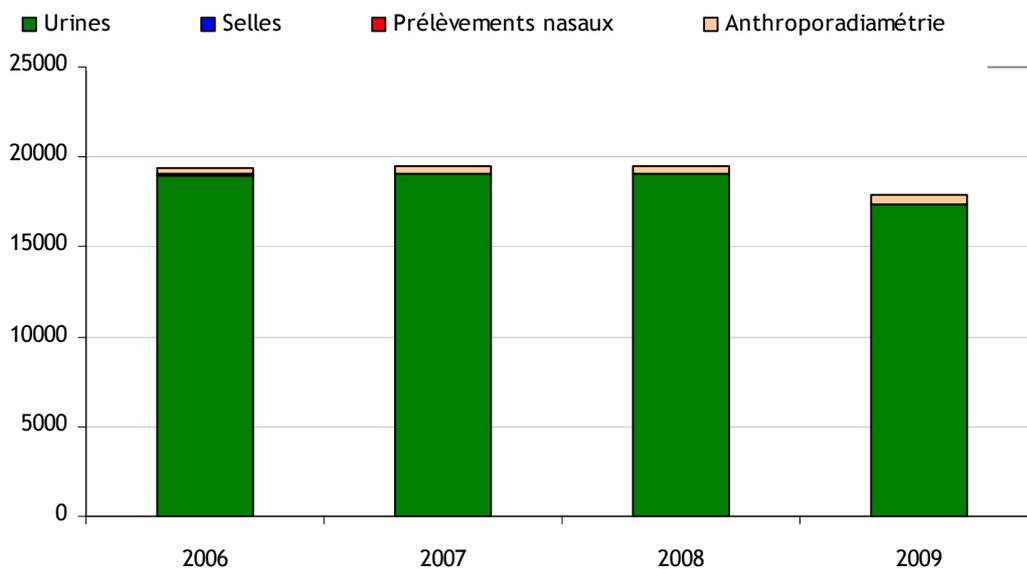
Au sein du groupe AREVA, les variations sont liées aux évolutions intervenues dans les activités du groupe sur la période considérée. Concernant les analyses radiotoxicologiques réalisées au LABM d'EDF, l'évolution du nombre d'examens suit en grande partie celle des activités de démantèlement au cours du temps. Ce type de chantier peut être à l'origine d'une exposition interne importante des travailleurs qui y participent. La tendance observée correspond à l'augmentation programmée du nombre de chantiers de démantèlement, alors qu'une baisse d'activité dans ce secteur avait été observée entre 2006 et 2007. Concernant les examens anthroporadiométriques réalisés dans les centrales nucléaires d'EDF, l'évolution du nombre d'examens entre 2008 et 2009 (indiquée sous forme de pourcentage dans le tableau 12) varie d'un centre à l'autre, et dépend principalement de la variation du nombre d'heures d'arrêt de tranche dans chaque centrale.

La figure 26 présente les évolutions observées pour l'ensemble des sites du CEA entre 2006 et 2009. La variation du nombre d'examens est liée à l'évolution des activités dans les différents sites du CEA.



**Figure 26 - Evolution du nombre d'exams de routine réalisés au CEA entre 2006 et 2009**

Dans le secteur médical et de la recherche (Cf. figure 27), le nombre d'exams anthroporadiométriques réalisés en routine a augmenté entre 2008 et 2009(+28,5 %) alors que le nombre d'analyses d'urines a légèrement diminué (-8,9 %). Les autres types d'exams étant réalisés en très faible nombre, les évolutions ne sont pas jugées significatives.



**Figure 27 - Evolution du nombre d'exams de routine réalisés dans le médical et la recherche entre 2006 et 2009**

Concernant les effectifs suivis par le SPRA (hors médical et recherche), les variations présentées sur la figure 28 traduisent là encore les variations d'activité dans le secteur de la défense.

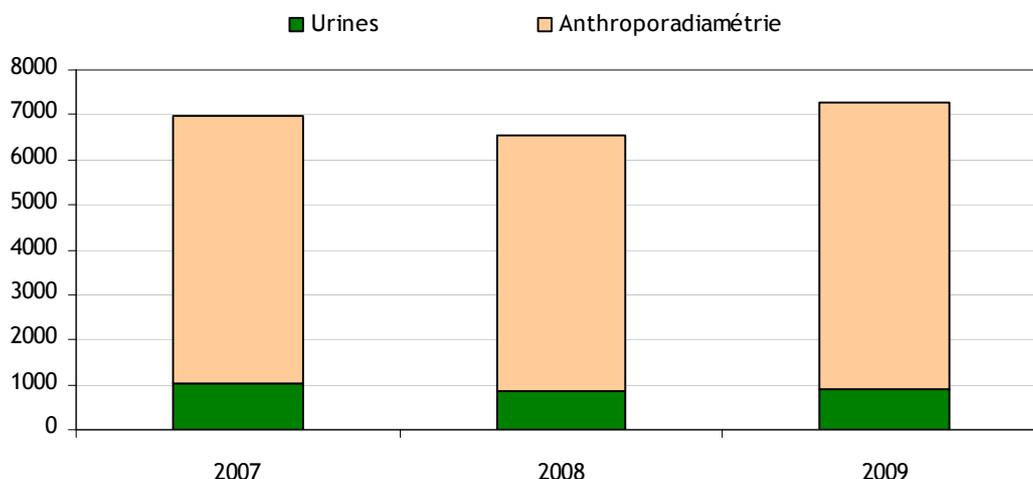


Figure 28 - Evolution du nombre d'examens de routine réalisés dans le secteur de la défense entre 2006 et 2009

#### **3.2.4.2. Evolution dans le cadre de surveillance spéciale ou de contrôle**

Seules les données en termes d'effectifs sont disponibles depuis 2006 pour cette comparaison, les nombres d'examens n'étant pas connus pour 2006 et 2007. L'effectif total suivi dans le cadre de surveillance spéciale ou de contrôle est de 1 498 travailleurs en 2009, à comparer aux 1 421, 1 344 et 1 601 travailleurs ayant bénéficié d'un examen dans ce cadre en 2008, 2007 et 2006 respectivement.

Entre 2008 et 2009, le nombre d'examens réalisés dans ce cadre a augmenté de 9,4 %, passant de 9 571 à 10 473 examens, tous types confondus.

#### **3.2.4.3. Evolution des estimations dosimétriques**

La figure 29 présente pour les années 2006 à 2009 le nombre de travailleurs contaminés, c'est-à-dire le nombre de travailleurs pour lesquels le calcul de la dose a conduit à une dose efficace engagée supérieure à 1 mSv, ainsi que les doses individuelles maximales enregistrées. En 2009, la plus forte dose individuelle enregistrée (69 mSv) constitue un dépassement de la limite annuelle réglementaire intervenu dans le contexte d'un incident, la deuxième dose la plus élevée atteignant 6 mSv.

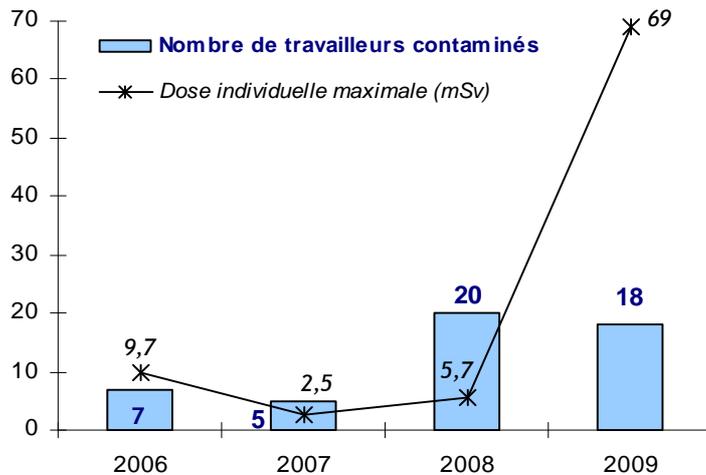


Figure 29 - Evolution du nombre de travailleurs contaminés entre 2006 et 2009

### 3.2.5. 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 2009 à 311 560, ce qui représente une augmentation de 6,5 % par rapport au nombre d'examens réalisés l'année précédente. Ce pourcentage de variation doit être considéré avec précaution du fait de l'indisponibilité de certaines données.

L'analyse détaillée des données collectées conduit aux constatations suivantes :

- tandis que les nombres d'analyses radiotoxicologiques fécales et d'analyses radiotoxicologiques de prélèvements nasaux augmentent (+7,5 % et +6,7 % respectivement), on observe une augmentation plus importante du nombre d'examens anthroporadiométriques (+10 %). Seul le nombre d'analyses radiotoxicologiques urinaires a diminué entre 2008 et 2009 (-5,5 %). Ces tendances ne se retrouvent pas d'une année sur l'autre;
- 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, suivant les radionucléides auxquels sont susceptibles d'être exposés les travailleurs. En 2009, cette répartition est sensiblement la même que celles observées en 2007 et en 2008. Chez AREVA, les analyses radiotoxicologiques urinaires sont majoritaires (50 %), suivis par les examens anthroporadiométriques (30 %). 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 (22 %) et les examens anthroporadiométriques (14 %) ;

- les protocoles d'analyse et les programmes de surveillance étant encore aujourd'hui fortement dépendants du laboratoire ou du SST qui réalise la surveillance de l'exposition interne, en fonction des activités des travailleurs à surveiller et des radionucléides auxquels ils sont susceptibles d'être exposés, les modalités de cette surveillance sont très variables d'un établissement à l'autre, même au sein des grandes entreprises exploitantes de l'industrie nucléaire. Une évolution des statistiques dans les années qui viennent est vraisemblable, liée à la mise en place de protocoles d'analyse et de programmes de surveillance plus standardisés.

Le nombre d'examens réalisés dans le cadre de la surveillance spéciale ou de contrôle s'élève à 10 473 (soit 9,4 % de plus qu'en 2008). Pour 46 de ces examens, soit moins de 1 %, le résultat était supérieur au niveau d'enregistrement. Cette surveillance a concerné 1 498 travailleurs en 2008, contre 1 421 travailleurs en 2007, ces chiffres n'incluant pas les travailleurs des centrales nucléaires pour lesquels la donnée n'est pas disponible.

Enfin, en 2009, une estimation dosimétrique a été réalisée pour 384 travailleurs, soit à la suite d'un examen positif dans le cadre de la surveillance de routine, soit à la suite d'un incident. La dose engagée a été estimée supérieure à 1 mSv chez 18 d'entre eux, avec une dose maximale estimée à 69 mSv (dans le cadre d'un incident). La deuxième dose la plus élevée a été estimée à 6 mSv.

### 3.3. DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

#### 3.3.1. GESTION DES SITUATIONS DE DEPASSEMENT

Des valeurs limites d'exposition sont réglementairement fixées par le code du travail (Cf. tableau 14). Ces valeurs concernent la dose efficace, les doses équivalentes aux extrémités, la dose équivalente à la peau et la dose équivalente au cristallin.

Tableau 14 - Limites annuelles réglementaires de doses

	Corps entier (dose efficace)	Main, poignet, pied, cheville (dose équivalente)	Peau (dose équivalente sur tout cm <sup>2</sup> )	Cristallin (dose équivalente)
Travailleur	20 mSv	500 mSv	500 mSv	150 mSv
Jeune travailleur (de 16 à 18 ans)	6 mSv	150 mSv	150 mSv	45 mSv

Les laboratoires et organismes agréés en charge des mesures de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants doivent, sans délai, informer le médecin du travail et l'employeur de la détection d'un dépassement de l'une de ces limites d'exposition. Conformément à l'arrêté du 30 décembre 2004, *relatif à la carte individuelle de suivi médical et 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 signalement d'un dépassement de limite réglementaire de dose. Cette enquête doit conduire *in fine* à la confirmation ou, au contraire, 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 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, informé par le laboratoire de l'alerte de dépassement faite au médecin du travail, peut prendre directement contact avec ce dernier, suivre l'enquête, en enregistrer les conclusions et, le cas échéant, proposer une assistance et des conseils pour mener à bien cette enquête. 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.

En l'absence de retour d'information du médecin du travail suite à une alerte de dépassement de limite réglementaire de dose, la dose mesurée est conservée dans SISERI et le dépassement est considéré comme avéré.

Les dépassements de la limite réglementaire annuelle de dose associés au cumul des valeurs de doses sur les douze mois (doses éventuellement mesurées par plusieurs laboratoires lorsque le travailleur a plusieurs employeurs) sont détectés à partir de requête dans SISERI. L'IRSN alerte alors directement le(s) médecin(s) du travail de cette situation.

### 3.3.2. BILAN DE L'ANNEE 2009

Le bilan établi fin juin 2010 met en évidence un dépassement de l'une des limites réglementaires de dose, sur la période allant du 1<sup>er</sup> janvier 2009 au 31 décembre 2009, pour 19 travailleurs (Cf. tableau 15).

Tableau 15 - Dépassements des limites annuelles réglementaires de doses : bilan 2009

	Nombre de travailleurs
<b>Dose efficace</b>	<b>15</b>
<i>due à une exposition externe</i>	<i>14</i>
<i>due à une exposition interne</i>	<i>1</i>
<b>Dose équivalente aux extrémités</b>	<b>3</b>
<b>Dose équivalente à la peau</b>	<b>1</b>

Dans 14 cas, le dépassement de la limite réglementaire de dose efficace est dû à une dose externe supérieure à 20 mSv, reçue soit sur une seule période de port du dosimètre (11 cas), soit par cumul sur plusieurs périodes de port (les 3 autres cas). Le dépassement de la limite de dose efficace dû à une exposition interne fait suite à un incident de contamination.

Quatre travailleurs se situent juste au-dessus de la limite réglementaire, ayant reçu moins de 21 mSv et 3 ont reçu plus de 50 mSv (2 par exposition externe et 1 par exposition interne).

Des dépassements de la limite réglementaire de dose efficace sont observés dans les différents domaines d'activités : 8 travailleurs exercent dans le domaine médical, 5 dans le domaine industriel non nucléaire et 2 au sein d'entreprises sous-traitantes intervenant dans le domaine nucléaire.

Les dépassements de la limite de dose équivalente aux extrémités ont été obtenus pour 2 des 3 travailleurs par cumul des valeurs sur 12 mois. Ces 3 travailleurs exercent dans le domaine médical et plus précisément dans le secteur de la radiologie interventionnelle pour l'un d'entre eux. C'est ce dernier qui a reçu la dose aux extrémités la plus importante, soit un peu plus du double de la limite annuelle de dose équivalente.

Enfin, le travailleur concerné par le dépassement de la limite réglementaire de dose équivalente à la peau a reçu une dose ponctuelle dépassant de peu cette limite. Il exerce dans le domaine industriel avec des rayonnements peu pénétrants et cette exposition n'a pas entraîné de dépassement de la dose efficace.

Sur l'ensemble des 19 cas de dépassements référencés pour 2009, 6 cas sont confirmés par le médecin du travail, dont un dépassant 50 mSv. Dans les autres cas, l'IRSN n'a pas encore eu connaissance des résultats de l'enquête (dossier en cours de traitement ou impossibilité de joindre le médecin du travail).

### 3.3.3. EVOLUTION PAR RAPPORT AUX ANNEES PRECEDENTES (PERIODE 1996-2009)

#### 3.3.3.1. Evolution du nombre de travailleurs ayant reçu une dose externe annuelle supérieure à 20 mSv

La figure 30 présente l'évolution de 1996 à 2009 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. La situation est restée relativement stable entre 2000 et 2004, année au cours de laquelle l'IRSN a commencé à tracer chacun des signalements de dépassement pour avoir accès aux conclusions de l'enquête menée par le médecin du travail. Une évolution plus significative à la baisse est observée depuis 2004.

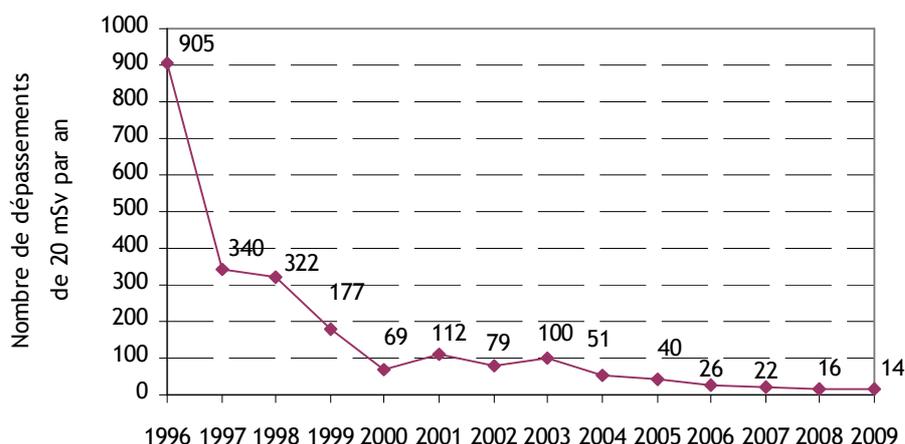


Figure 30 - Evolution, de 1996 à 2009, du nombre de travailleurs surveillés dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv

Trois domaines d'activité présentent de façon récurrente des doses supérieures à 20 mSv par an (Cf. figure 31) : le domaine médical et vétérinaire, celui de l'industrie non nucléaire (essentiellement les métiers du contrôle non destructif) et celui des entreprises sous-traitantes des exploitants nucléaires (calorifugeurs, tourneurs, mécaniciens, soudeurs...).

Le nombre de cas de dépassement des 20 mSv a fortement diminué dans l'industrie nucléaire<sup>18</sup> (487 en 1996, 1 en 2009, dans une entreprise extérieure intervenant sur les INB) mais également dans l'industrie non nucléaire (222 en 1996, 5 en 2009) et dans le secteur des activités médicales et vétérinaires (193 en 1996, 8 en 2009). Une baisse régulière est également observée dans le domaine des activités médicales et vétérinaires ; ce domaine est depuis 1997 celui où les effectifs présentant

<sup>18</sup> Industrie nucléaire : centrales nucléaires - agents EDF, cycle du combustible - agents AREVA et entreprises extérieures.

les doses les plus élevées sont les plus nombreux. Toutefois, en 2009, aucune dose supérieure à 50 mSv n'est enregistrée dans ce secteur, qui est pourtant celui où les travailleurs suivis sont les plus nombreux et où les écarts par rapport aux bonnes pratiques de port des dosimètres étaient précédemment les plus importants (typiquement, le dosimètre reste dans la salle d'irradiation et enregistre alors une dose significative non reçue par le travailleur).

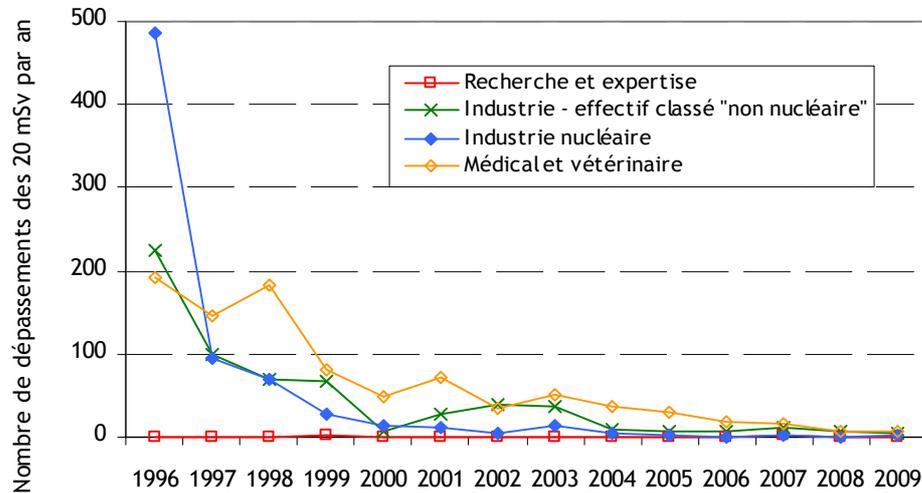


Figure 31 - Evolution, de 1996 à 2009, du nombre de travailleurs surveillés dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv, par domaine d'activité

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

La figure 32 illustre l'évolution du nombre de travailleurs ayant reçu une dose externe annuelle supérieure à 50 mSv au cours de la période 1996-2009. En 1996, 63 travailleurs surveillés avaient reçu une dose par exposition externe supérieure à 50 mSv. Les 2 cas enregistrés en 2009 concernent 2 travailleurs de l'industrie non nucléaire.

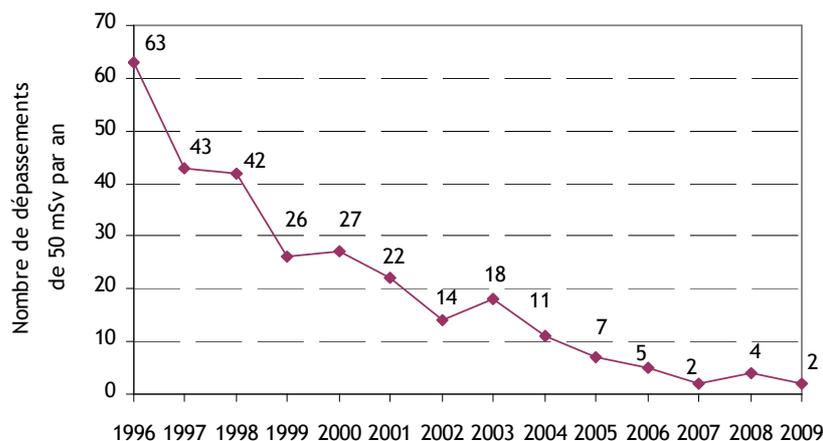


Figure 32 - Evolution, de 1996 à 2009, du nombre de travailleurs ayant reçu une dose externe annuelle supérieure à 50 mSv

## 4. EXPOSITIONS DES TRAVAILLEURS A LA RADIOACTIVITE NATURELLE

La surveillance des travailleurs sujets aux expositions dites « naturelles renforcées », liées aux matières premières (Cf. § 4.1) ou au radon dans le cadre d'activités professionnelles (Cf. § 4.2), est actuellement encore en cours d'organisation, à la suite des évolutions réglementaires récemment intervenues dans ces deux domaines. En revanche, les personnels navigants soumis à une exposition aux rayonnements cosmiques font l'objet d'un suivi dosimétrique déjà effectif, bien que non exhaustif (Cf. § 4.3).

### 4.1. INDUSTRIES « NORM »

Certaines activités industrielles telles que la production de céramiques réfractaires, la combustion de charbon en centrales thermiques ou encore le traitement de minerais d'étain, d'aluminium, etc. mettent en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides (chaînes de l'uranium et du thorium). La manipulation et la transformation de ces matières qualifiées de « NORM<sup>19</sup> » ou « TENORM<sup>20</sup> » peuvent entraîner une augmentation notable de l'exposition des travailleurs.

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

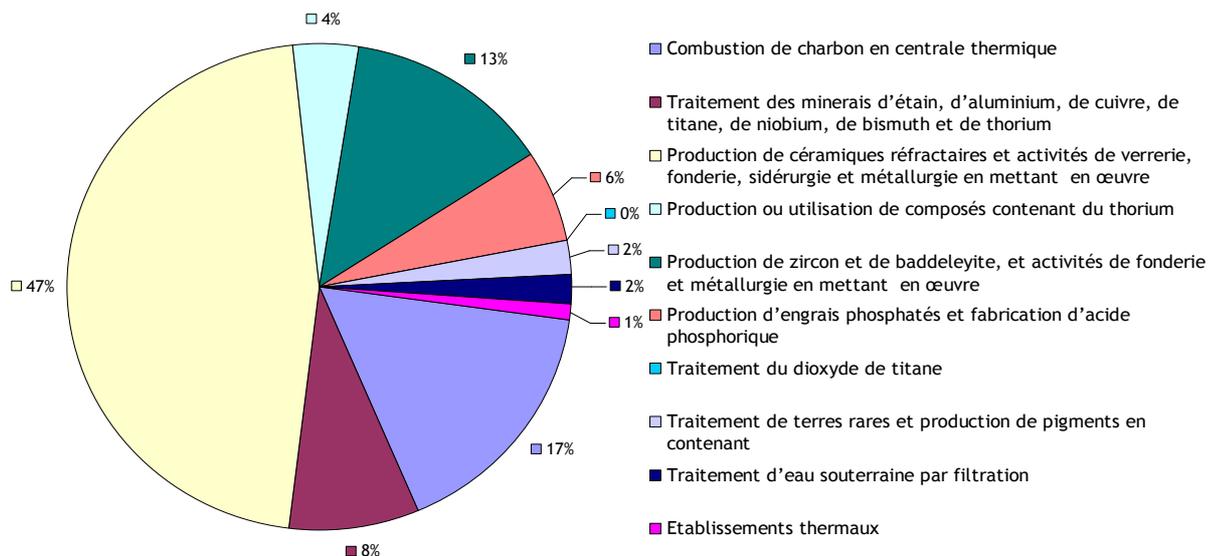
#### 4.1.1. BILAN DES ETUDES ANALYSEES PAR L'IRSN

L'IRSN a été chargé de centraliser les résultats des évaluations des doses reçues par les travailleurs dans le cadre de l'application de l'arrêté du 25 mai 2005 afin d'établir une cartographie de la situation. Fin 2009, le nombre de dossiers reçus s'élevait à 86. La figure 33 en présente la répartition selon les catégories d'activités professionnelles visées par les dispositions de l'arrêté.

---

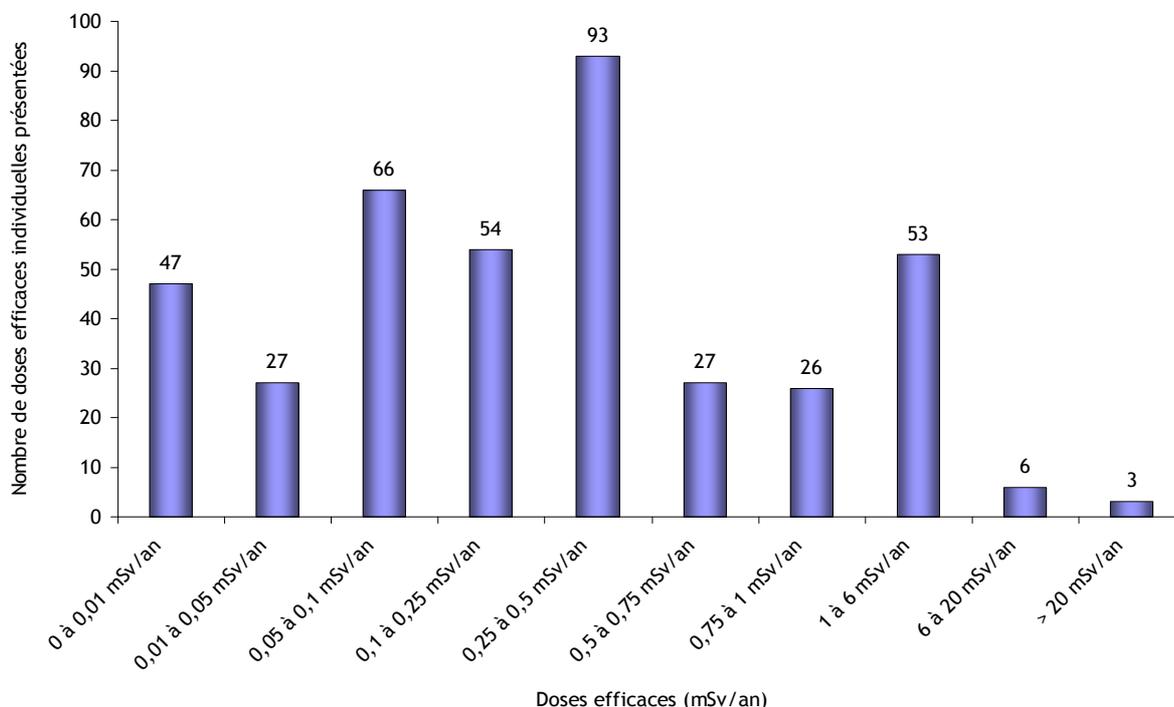
<sup>19</sup> NORM = Naturally Occurring Radioactive Materials

<sup>20</sup> TENORM = Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials



**Figure 33 : Répartition des dossiers reçus selon les catégories d'activités professionnelles visées par les dispositions de l'arrêté du 25 mai 2005**

La figure 34 présente la distribution des doses efficaces individuelles calculées pour plus de 400 postes de travail étudiés dans les dossiers reçus.



**Figure 34 : Distribution des doses efficaces calculées pour les travailleurs**

Environ 15% des doses efficaces individuelles calculées pour les travailleurs sont supérieures à la limite de 1 mSv/an au-delà de laquelle les travailleurs doivent être considérés comme

« professionnellement exposés » au sens du code du travail et faire l'objet d'une surveillance individuelle dosimétrique et médicale. Des postes de travail dans certaines catégories professionnelles visées par l'arrêté du 25 mai 2005 présentent des doses efficaces individuelles pouvant même être supérieures à 20 mSv/an. Certains postes de travail ont d'ailleurs fait l'objet d'une analyse plus approfondie de la part de l'IRSN.

L'arrêté du 25 mai 2005 impose aux industriels, lors de leurs évaluations des doses efficaces pour leurs travailleurs, de tenir compte de l'exposition externe, de l'exposition interne par inhalation de poussières ainsi que de l'exposition interne par inhalation du radon et de ses descendants.

Parmi les doses efficaces individuelles rapportées, l'IRSN a mis en évidence l'hétérogénéité des approches retenues par les industriels dans leur prise en compte :

- de l'exposition externe ou de l'exposition interne par inhalation de poussières ; certains n'en tiennent pas compte même si ces voies peuvent constituer une voie significative d'exposition ;
- de la contribution du radon et de ses descendants dans le calcul de la dose efficace individuelle ;
- de la contribution de la radioactivité naturellement présente dans l'environnement autour de l'installation pour le calcul de la dose efficace individuelle.

Pour ces raisons, il n'est pas possible de comparer directement les doses efficaces individuelles rapportées par les différents industriels. Pour chaque secteur d'activité, lorsque les données étaient disponibles, l'IRSN a compilé les doses efficaces ajoutées hors radon<sup>21</sup>, c'est-à-dire en supplément de l'exposition due à la radioactivité naturellement présente dans l'environnement et hors exposition due au radon et à ses descendants. Le tableau 16 présente ces données portant sur environ 250 postes de travail, soit sept catégories d'activités professionnelles. La gamme de doses efficaces ajoutées recensées par l'IRSN ainsi que la part des doses supérieures à 1 mSv/an sont aussi présentées dans ce tableau.

Les doses efficaces ajoutées relatives à la combustion de charbon en centrale thermique, à la production d'engrais phosphatés et à la fabrication d'acide phosphorique ainsi qu'au traitement de terres rares et à la production de pigments en contenant sont toutes inférieures à 1 mSv/an. La quasi-totalité des doses efficaces ajoutées relatives à la production de céramiques réfractaires et aux activités de verrerie, fonderie, sidérurgie et métallurgie en mettant en œuvre sont inférieures à 1 mSv/an. Ceci est cohérent avec les données publiées dans la littérature.

De nombreuses valeurs de doses efficaces ajoutées relatives à la production de zircon et de baddeleyite, aux activités de fonderie et métallurgie en mettant en œuvre et au traitement des minerais d'étain, d'aluminium, de cuivre, de titane, de niobium, de bismuth et de thorium sont de l'ordre de 2 mSv/an à 3 mSv/an.

Concernant la production ou l'utilisation de composés contenant du thorium, deux postes de travail présentent des doses efficaces ajoutées très supérieures à 1 mSv/an, respectivement 82 mSv/an et

---

<sup>21</sup> La contribution du radon et de ses descendants a été traitée par le biais de l'activité volumique du radon

60 mSv/an. L'inhalation de poussières est la voie d'exposition principale pour ces deux postes de travail. Pour l'un des postes, afin de réduire l'exposition des travailleurs, l'industriel a envisagé d'imposer le port d'équipements de protection individuelle, de procéder périodiquement à l'aspiration des poussières dans les locaux et d'installer un système de filtration de l'air ambiant des locaux. Aucune mise à jour des évaluations dosimétriques n'a à ce jour été transmise à l'IRSN, suite à ces actions. Le second poste de travail est actuellement suspendu. Dans la mesure où l'industriel souhaiterait redémarrer l'activité à ce poste de travail, l'IRSN a notamment recommandé une surveillance individuelle de routine de l'exposition interne : des analyses radiotoxicologiques d'urines et de selles, ainsi qu'un suivi de l'exposition au radon au moyen d'un dosimètre « alpha » individuel.

Tableau 16 : Doses efficaces ajoutées recensées par l'IRSN

Catégorie	Nombre de postes de travail	Gamme de doses efficaces ajoutées	Part des doses supérieures à 1 mSv/an
Combustion de charbon en centrale thermique	32	< 1 µSv/an à 0,4 mSv/an	0%
Traitement des minerais d'étain, d'aluminium, de cuivre, de titane, de niobium, de bismuth et de thorium	42	50 µSv/an à 6 mSv/an (*)	30%
Production de céramiques réfractaires et activités de verrerie, fonderie, sidérurgie et métallurgie en mettant en œuvre	100	13 µSv/an à 1,5 mSv/an	2%
Production ou utilisation de composés contenant du thorium	6	< 1 µSv/an à 82 mSv/an	35%
Production de zircon et de baddeleyite, et activités de fonderie et métallurgie en mettant en œuvre	57	< 1 µSv/an à 2 mSv/an	15%
Production d'engrais phosphatés et fabrication d'acide phosphorique	6	10 µSv/an à 0,5 mSv/an	0%
Traitement de terres rares et production de pigments en contenant	3	65 µSv/an à 0,3 mSv/an	0%

(\*) Concernant le poste de travail présentant une dose efficace de 6 mSv/an, de nouvelles mesures réalisées en 2010, montrent une diminution du débit de dose, ce qui conduirait alors à une dose efficace ajoutée de l'ordre de 3 mSv/an.

#### 4.1.2. ETUDE CONCERNANT LE TRANSPORT DES « NORM »

##### 4.1.2.1. Contexte de l'étude concernant le transport de NORM

L'Agence Internationale pour l'Énergie Atomique (AIEA) a lancé en 2005 un programme de recherche coordonné (Coordinated Research Program, CRP) visant à vérifier l'adéquation de la réglementation relative au transport des matières radioactives naturelles (Naturally Occurring Radioactive Material ou NORM).

Le transport des matières radioactives est réglementé [25] mais les matières peu actives dont le transport entraîne des doses très faibles aux travailleurs et à la population bénéficient d'une exemption de la réglementation (les valeurs d'exemption sont identiques à celles présentées dans les Normes Fondamentales de radioprotection [26]). Pour leur part, les matières radioactives d'origine naturelle et les minerais contenant des radionucléides naturels, qui sont à l'état naturel ou qui n'ont été traités qu'à des fins autres que l'extraction des radionucléides et qui ne sont pas destinés à être traités en vue de l'utilisation de ces radionucléides (i.e. en dehors du cycle du combustible), bénéficient d'une exclusion de la réglementation quand leur activité massique est inférieure aux valeurs d'exemption auxquelles on a appliqué un facteur 10 (Cf. § 107 (e) de la réglementation [25]).

Afin d'examiner l'adéquation de la réglementation au transport des matières radioactives naturelles, une étude a été menée sur les principales NORM transportées en France.

#### **4.1.2.2. Évaluation des doses reçues pour le transport de NORM**

##### **Exposition externe**

Deux scénarios réalistes d'exposition externe ont été étudiés. Le premier concerne un chauffeur de camion qui supervise également les opérations de chargement et de déchargement non loin d'un silo. Le second concerne un conducteur de charriot élévateur transportant des « big bags ». Le temps total d'exposition considéré est de 800 heures pour le premier scénario et de 900 heures pour le second, sur un total de 2 000 heures travaillées.

La figure 35 indique la dose annuelle externe reçue par les opérateurs dans chacun des deux scénarios. Les doses sont exprimées pour les valeurs d'exemption définies dans les Normes Fondamentales [26]. Comme rappelé ci-dessus, lorsque le transport concerne des matériaux qui ne sont pas destinés à l'extraction de leurs radionucléides, ces valeurs peuvent être 10 fois plus élevées. Il faut noter que, pour l'industrie non nucléaire, la plage d'activités massiques des matières transportées est très large. En effet, ces matières n'étant pas destinées à l'extraction de leurs radionucléides, elles ne sont pas sélectionnées en fonction de leur activité et, par conséquent, des chargements présentant des activités massiques très variables sont transportés au cours de l'année. Il est a priori peu vraisemblable qu'une même personne soit amenée à transporter systématiquement les matières présentant une forte activité massique. A contrario, les matières destinées à l'extraction des radionucléides sont sélectionnées pour leur activité élevée. Sur l'ensemble des études reçues par l'IRSN, il a été constaté, en moyenne, un facteur 10 entre l'activité maximum et l'activité moyenne des NORM de l'industrie non nucléaire (i.e. non destinés à l'extraction de leurs radionucléides). Ce facteur est en adéquation avec celui introduit par le paragraphe 107 (e) de la réglementation [25] pour la définition de valeurs d'exemption dans le cas de transport dans les activités NORM.

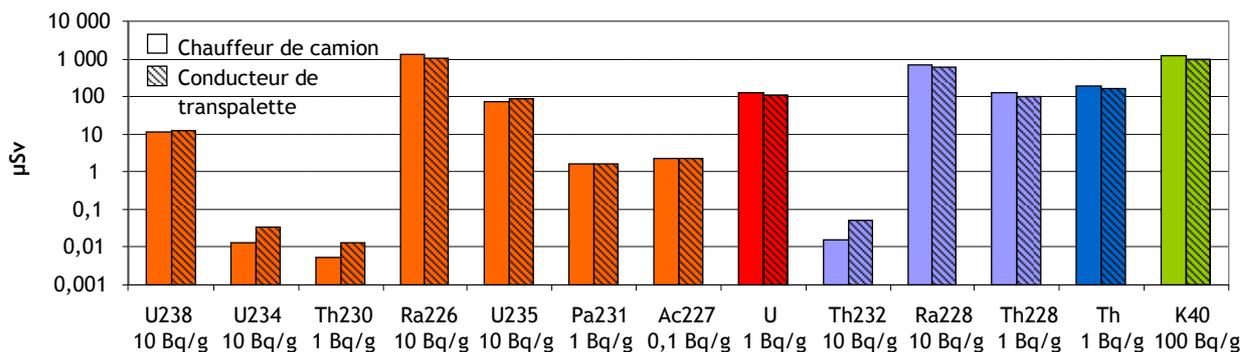


Figure 35 : dose externe annuelle pour chaque groupe de radionucléides en utilisant leurs valeurs d'exemption.

### Exposition interne

Un scénario standard d'exposition interne a été considéré : concentration de poussière de  $1 \text{ mg/m}^3$ , débit respiratoire de  $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$ , ingestion de  $1 \text{ mg/h}$ , et taille des particules de  $5 \mu\text{m}$ . Il n'a pas été possible d'évaluer une dose annuelle car aucune information concernant les taux d'empoussièrément moyens dans lesquels pouvaient évoluer les opérateurs n'a été communiquée ou étudiée par les exploitants.

Par conséquent, la figure 36 indique la dose interne horaire reçue par les opérateurs pour le scénario défini par l'IRSN. Les doses sont, comme sur la figure 35, exprimées pour les valeurs d'exemption définies dans les Normes Fondamentales [26]. Lorsque le transport concerne des matériaux qui ne sont pas destinés à l'extraction de leurs radionucléides, ces valeurs peuvent être 10 fois plus élevées.

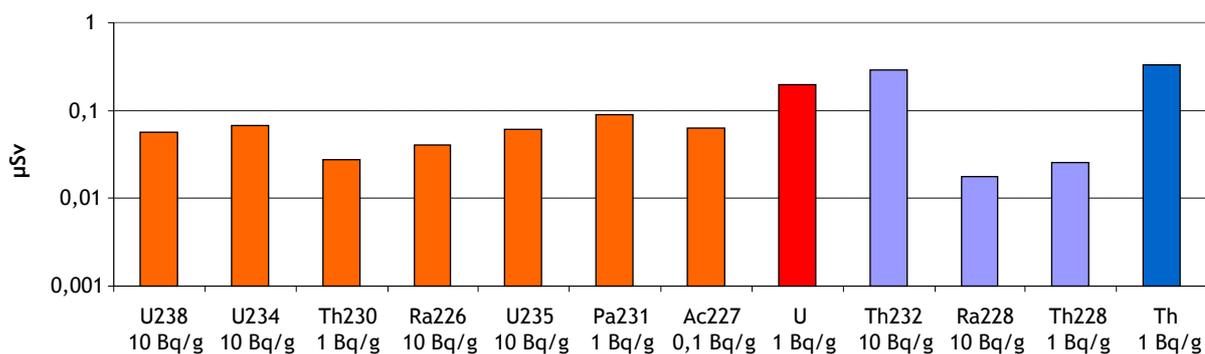


Figure 36 : dose horaire interne pour chaque groupe de radionucléides en utilisant leurs valeurs d'exemption.

## 4.2. RADON

L'article R. 4451-136 du code du travail prévoit que des mesures de radon soient mises en œuvre dans les établissements où les travailleurs sont susceptibles d'être exposés à ce gaz radioactif naturel en raison de la situation de leurs lieux de travail, en particulier dans les lieux souterrains. L'arrêté du 7 août 2008 fixe la liste des activités ou catégories d'activités professionnelles concernées par ces dispositions. Ce texte précise également les modalités et les conditions d'application des dispositions de l'article R. 4451-136 en fonction des niveaux d'activité volumique du radon fixés par la décision n° 2008-DC-0110 de l'ASN homologuée par l'arrêté du 8 décembre 2008.

En 2009, trois décisions de l'ASN sont venues compléter le cadre réglementaire :

- La décision n° 2009-DC-0134 du 7 avril 2009, homologuée par l'arrêté du 5 juin 2009, fixe les critères d'agrément des organismes habilités à procéder aux mesures de l'activité volumique du radon, la liste détaillée des informations à joindre à la demande d'agrément et les modalités de délivrance, de contrôle et de retrait de l'agrément.
- La décision n° 2009-DC-0135 du 7 avril 2009, homologuée par l'arrêté du 5 juin 2009, précise les conditions suivant lesquelles il est procédé à la mesure de l'activité volumique du radon.
- La décision n° 2009-DC-0136 du 7 avril 2009, homologuée par l'arrêté du 5 juin 2009, fixe les objectifs, la durée et le contenu des programmes de formation des personnes qui réalisent les mesures de l'activité volumique du radon.

Dans le cadre de cette nouvelle réglementation, l'IRSN a mis en place deux nouveaux cursus de formation destinés aux organismes désirant obtenir les agréments Niveau 1 option A (mesure dans tous types de bâtiment) et Niveau 1 option B (mesure dans les cavités et ouvrages souterrains) de l'ASN.

En outre, deux guides méthodologiques précédemment publiés par l'IRSN ont été réactualisés. Le premier [27] décrit la méthodologie de mesure du radon dans les bâtiments souterrains. Le second est relatif au mesurage du radon dans les cavités et les ouvrages souterrains [28]. Ils viennent s'ajouter au guide concernant la méthodologie de mesurage de l'activité volumique du radon dans les établissements thermaux [29], publié en 2008.

## 4.3. EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS COSMIQUES

Conformément à l'arrêté du 8 décembre 2003, les compagnies aériennes françaises sont tenues d'évaluer l'exposition de leur personnel navigant aux rayonnements cosmiques dès lors que cette exposition est susceptible de dépasser 1 mSv/an et, si tel est le cas, de surveiller ces personnels. Afin d'évaluer les doses efficaces reçues par ces personnels, le système SIEVERT a été mis en service par l'IRSN en 2001, en coopération avec la Direction générale de l'aviation civile (DGAC), l'Observatoire de Paris et l'Institut Polaire français - Paul Emile Victor (IPEV) (Cf. Annexe 1, § 1.2).

En 2009, 16 compagnies françaises, dont Air France, avaient un abonnement à SIEVERT, soit quatre compagnies de plus qu'en 2008. Ainsi environ 23 300 personnels navigants ont bénéficié d'un suivi de leur exposition aux rayonnements cosmiques tout au long de l'année.

Parmi ces compagnies, Air France et Air Calédonie International ont envoyé à l'IRSN les doses reçues par leurs personnels en 2009.

Le tableau 17 présente le bilan réalisé pour l'année 2009 concernant les personnels navigants de l'aviation civile. Selon ce bilan, 15 % des doses individuelles annuelles sont inférieures à 1 mSv, et 85 % des doses sont comprises entre 1 mSv et 6 mSv. Cette répartition des doses est très proche de celle observée dans d'autres pays européens, comme par exemple l'Allemagne ou les Pays-Bas. En 2008, la part des personnels navigants ayant reçu une dose supérieure ou égale à 1 mSv était inférieure (82,5 % contre 85 % en 2009). Cette évolution peut en partie s'expliquer par le fait qu'en 2009 la compagnie Air France a moins fait appel à des personnels prestataires, ce qui entraîne une diminution de la proportion de personnels recevant de plus faibles doses en raison d'une activité partielle sur l'année. La dose individuelle annuelle moyenne est de 2,2 mSv, ce qui est identique à la valeur obtenue en 2008. La dose individuelle annuelle maximale atteint 5,5 mSv, soit une valeur un peu plus élevée qu'en 2008 (5,1 mSv).

**Tableau 17 - Bilan 2009 des doses individuelles annuelles des personnels navigants de l'aviation civile (compagnies Air France et Air Calédonie International)**

Effectif	Répartition des doses individuelles annuelles (mSv)						Dose moyenne (mSv)	Dose maximale (mSv)
	< 1	1 à 2	2 à 3	3 à 4	4 à 5	5 à 6		
19 830	2 985 (15,1 %)	5 865 (29,6 %)	5 864 (29,6 %)	4 398 (22,2 %)	711 (3,6 %)	7 -	2,2	5,5

Le tableau 18 présente un bilan des doses reçues par les personnels navigants de l'aviation militaire. A la différence du bilan présenté dans le tableau 17, ces doses ne sont pas le résultat d'un calcul, mais sont issues de mesures de l'équivalent de dose Hp(10) à l'aide de dosimètres individuels (composantes photonique et neutronique).

**Tableau 18 - Bilan 2009 des doses individuelles annuelles des personnels navigants de l'aviation militaire**

Effectif	Répartition des doses individuelles annuelles (mSv)						Dose moyenne (mSv)	Dose maximale (mSv)
	< 1	1 à 2	2 à 3	3 à 4	4 à 5	5 à 6		
137	111 (81 %)	26 (19 %)	0	0	0	0	0,6	1,8

## 5. ACTIONS DANS LE DOMAINE DE LA RADIOPROTECTION DES TRAVAILLEURS

### 5.1. ACTIONS DANS LE CADRE DE PROCESSUS D'OPTIMISATION ET D'HARMONISATION DES PRATIQUES

#### 5.1.1. PARTICIPATION AUX ETUDES MENEES DANS LE CADRE D'ORAMED

Le projet ORAMED (Optimization of RAdiation protection for MEDical staff) financé par la L'Union Européenne dans le cadre du 7ème PCRD<sup>22</sup> (programme-cadre en matière de recherche et développement) et coordonné par le SCK-CEN (Belgique), a débuté en février 2008. Le principal objectif de ce projet est de développer des méthodologies pour estimer plus finement et éventuellement réduire l'exposition des travailleurs dans le domaine médical.

Le projet se décline en quatre thèmes principaux :

- la mesure et le calcul des doses aux extrémités et au cristallin en radiologie interventionnelle ;
- le développement d'un dosimètre pour le cristallin ;
- l'optimisation de l'utilisation de dosimètres opérationnels en radiologie interventionnelle ;
- l'amélioration de la dosimétrie d'extrémités en médecine nucléaire.

L'IRSN intervient dans chacun de ces thèmes à l'exception du thème 2 et coordonne le thème 3.

Le premier thème vise à obtenir un volume très important de données concernant les doses reçues par le personnel en radiologie interventionnelle. Un programme de mesures coordonné a ainsi été mis en œuvre au sein de nombreux hôpitaux européens en 2008 et 2009. La modélisation de plusieurs procédures parmi les plus représentatives a également été réalisée en 2009 afin de déterminer les paramètres d'influence (Cf. figure 37). Le deuxième thème porte sur la mise en œuvre pratique de la mesure de l'équivalent de dose individuel Hp(3), grandeur dosimétrique utilisée pour le suivi de la dose au cristallin. Le troisième thème concerne l'étude du comportement des dosimètres opérationnels en radiologie interventionnelle, domaine qui est caractérisé par des rayonnements pulsés (photons de faible énergie). Des tests ont été réalisés en laboratoire et auprès d'installations médicales dans plusieurs hôpitaux européens. Le quatrième et dernier thème a pour objectif d'évaluer les distributions de dose aux extrémités du personnel en médecine nucléaire. Ce travail est réalisé au travers d'un programme qui met lui aussi en jeu un nombre considérable de calculs et de mesures (Cf. figure 38).

Ces différents travaux ont fait l'objet de publications soumises à différentes revues [30 à 32].

---

<sup>22</sup> <http://www.oramed-fp7.eu/>

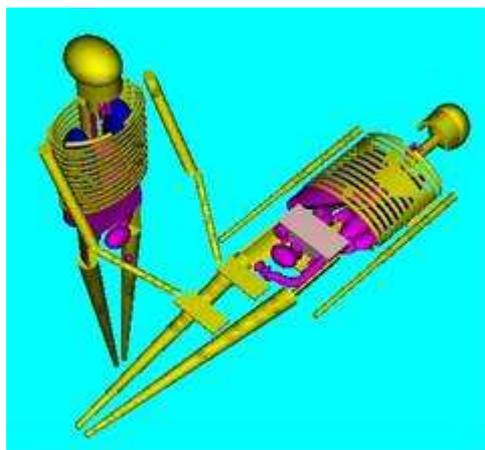


Figure 37 : Modélisation géométrique (code Monte Carlo MCNPX) permettant d'établir les cartographies de dose en radiologie interventionnelle



Figure 38 : Dosimètres thermoluminescents placés au niveau des mains

#### 5.1.2. PARTICIPATION A UNE INTERCOMPARAISON INTERNATIONALE SUR LA DOSIMETRIE OPERATIONNELLE

L'EURADOS est un réseau scientifique de laboratoires européens impliqués dans le domaine de la recherche en dosimétrie. Le principal objectif de ce réseau est de progresser dans la connaissance et le développement des techniques de dosimétrie des rayonnements ionisants en favorisant la collaboration inter laboratoire au sein de l'Europe.

Depuis une dizaine d'années, le groupe de travail n°2 de l'EURADOS coordonne les travaux qui portent sur l'harmonisation du suivi dosimétrique individuel. Ce groupe de travail organise régulièrement des intercomparaisons à l'échelle européenne.

Une intercomparaison de dosimètres d'extrémités, regroupant plus de 60 laboratoires de surveillance individuelle, a été organisée en 2009. Les irradiations ont été réalisées par des laboratoires accrédités : l'ARCS (Vienne, Autriche) pour la partie photons et l'IRSN pour la partie bêta. Les résultats ont été présentés et commentés lors du congrès IM2010<sup>23</sup> à Athènes.

<sup>23</sup>European Conference on Individual Monitoring of Ionizing Radiation - March 8-12, 2010 - Athens, Greece

## 5.2. ACTIONS CONCERNANT LES ETUDES DE POSTE

### 5.2.1. GUIDE IRSN POUR LA REALISATION DES ETUDES DE POSTES

Un guide pratique d'aide à la réalisation des études dosimétriques de poste de travail présentant un risque d'exposition aux rayonnements ionisants est édité par l'IRSN. Ce guide est destiné aussi bien au domaine médical, qu'aux secteurs de l'industrie ou de la recherche. Fondé sur l'expérience acquise par l'IRSN, il propose aux différents acteurs impliqués dans la radioprotection du personnel, notamment aux chefs d'établissement, aux personnes compétentes en radioprotection et aux médecins du travail, une approche méthodologique leur permettant de réaliser des études dosimétriques de poste de travail.

Une première partie du document présente le contexte réglementaire et les principaux objectifs associés à l'étude de poste, ainsi qu'un rappel sur les différents modes d'exposition, les grandeurs dosimétriques et les instruments de mesure associés, enfin des méthodes de calcul à mettre en œuvre, ainsi que des renvois vers quelques références utiles.

Dans une deuxième partie, le guide traite du recueil des données dosimétriques nécessaires pour mettre en œuvre le processus d'optimisation de la radioprotection, définir la classification des travailleurs et délimiter les zones de travail.

Enfin, la troisième partie est constituée de fiches expliquant comment la méthode se décline pour des domaines d'activité particuliers.

Dans sa dernière édition, le guide comporte trois fiches se rapportant à des activités médicales, consacrées respectivement à la radiologie conventionnelle, à la radiologie interventionnelle, et à la médecine nucléaire. Le document est en libre accès sur le site Internet de l'IRSN<sup>24</sup>.

### 5.2.2. ETUDES DE POSTE REALISEES PAR L'IRSN

Dans le cadre de ses activités, l'IRSN propose différents types de prestations dans le domaine de la radioprotection des travailleurs, en particulier des études de poste pour lesquels la méthodologie décrite ci-dessus est reprise

En 2009, six clients ont fait appel à l'IRSN pour des études de poste, trois en milieu médical et trois en milieu industriel, comme précisé dans le tableau 19.

---

<sup>24</sup> [http://www.irsn.fr/FR/base\\_de\\_connaissances/librairie/publications\\_professionnels/Pages/guides\\_techniques.aspx](http://www.irsn.fr/FR/base_de_connaissances/librairie/publications_professionnels/Pages/guides_techniques.aspx)

Tableau 19 - Etudes de postes réalisées par l'IRSN en 2009

Domaine d'activité	Secteur d'activité (*)	Libellé de l'étude de poste
Médical	1101010	Analyse de postes de travail exposés dans un service de radiologie
	1101020 1105010	Etudes de poste en radioprotection, une pour un scanner et deux en radiothérapie équipée d'un accélérateur
	1106000	Etude de poste en médecine nucléaire
Industrie	1309000	Analyse de postes de travail exposés dans la fabrication de semi conducteur pour l'implantation d'aluminium
Transport	1201000	Contrôle radiologique de wagons
Sources naturelles	1403000	Etude d'acceptabilité de déchets présentant une radioactivité naturelle renforcée (farine de zircon) - Partie 1, étude point zéro

(\*) au titre de la nomenclature de l'IRSN (Cf. Annexe II)

### 5.2.3. EXEMPLE D'UNE ETUDE PILOTE REALISEE EN RADIOLOGIE CONVENTIONNELLE

L'IRSN est intervenu en septembre 2009 dans un centre hospitalier de la Somme afin de procéder à l'analyse des postes de travail exposés aux rayonnements ionisants en radiologie, en suivant la méthodologie exposée dans le guide pratique de l'IRSN (Cf. § 5.2.1).

Trois postes de travail ont été identifiés dans la salle de radiologie : les manipulateurs en radiologie, le radiologue et l'aide soignante. Pour tous les examens réalisés dans la salle de radiologie, le poste des manipulateurs de radiologie est situé au niveau du pupitre de commande, derrière un paravent plombé (équivalent à 2 mm de plomb). Avec les hypothèses retenues concernant le temps de travail, les mesures réalisées sur l'installation ont permis d'estimer à 164  $\mu\text{Sv}$  la dose efficace individuelle annuelle à ce poste de travail, ce qui permet de classer les manipulateurs de radiologie en catégorie B, conformément à la réglementation, et de mettre en place un suivi dosimétrique trimestriel. Le radiologue réalise en moyenne une fois par mois l'examen d'hystérogaphie qui fait l'objet de cette étude de poste. Il est alors placé à environ 50 cm du faisceau de rayon X et porte un équipement de protection individuel (EPI) équivalent 0,35 mm de plomb. Des mesures avec et sans EPI ont été réalisées, conduisant à des doses efficaces annuelles de 8,4  $\mu\text{Sv}$  et 414  $\mu\text{Sv}$ , respectivement avec et sans EPI. Cet examen étant planifié de façon irrégulière (un par mois ou trois à quatre par an, suivant les années), il a jusqu'à présent été difficile de réaliser l'évaluation dosimétrique des extrémités à ce poste. Une aide soignante participe ponctuellement au maintien du patient, avec un positionnement à proximité de celui-ci. Dans l'hypothèse défavorable où le poste est toujours occupé par la même personne, ce qui n'est pas le cas en pratique, l'étude conduit à une dose efficace égale à 0,7  $\mu\text{Sv}$  et 28  $\mu\text{Sv}$  par examen, respectivement avec et sans EPI.

Ce travail a également permis de déterminer le zonage radiologique de l'installation pour les examens réalisés sur la table (Cf. figure 39) ou depuis le potter vertical (Cf. figure 40).

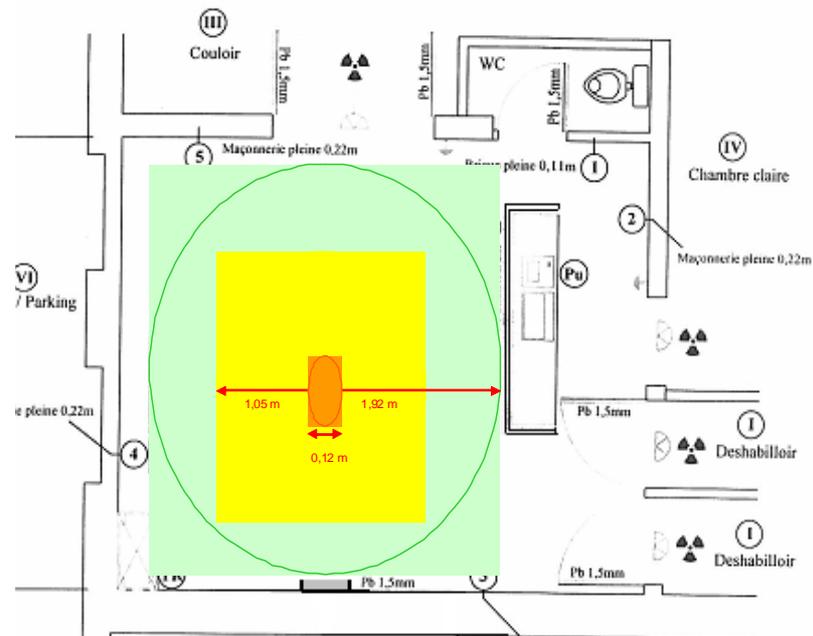


Figure 39 : Représentation du zonage autour de la table télécommandée. La zone derrière le pupitre est considérée en zone surveillée et les déshabilleurs, la chambre claire, les toilettes et le couloir sont considérés en zone non réglementée.



Figure 40 : Représentation du zonage autour du potter vertical.

## 5.3. SUIVI DES INCIDENTS ET DES EVENEMENTS DE RADIOPROTECTION

### 5.3.1. Evènements de radioprotection recensés par l'IRSN

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 évènements 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 tels que les doses individuelles moyennes reçues par les travailleurs, les doses collectives, etc. La connaissance des incidents et leur analyse sont indispensables pour constituer un retour d'expérience et élaborer des recommandations visant à améliorer la protection des travailleurs. Cette analyse ne rentre pas dans le cadre de ce rapport.

Parmi tous les évènements concernant la radioprotection que l'IRSN a recensés en 2009, 232 concernent directement les travailleurs. La figure 41 illustre la répartition de ces évènements selon les domaines d'activités.

Ces évènements concernent très majoritairement le domaine nucléaire (60 %) puis le domaine médical et vétérinaire (23 %) suivi par le domaine des usages industriels des rayonnements ionisants (9 %).

Les évènements de radioprotection recensés par l'IRSN recouvrent :

- les incidents déclarés à l'Autorité de sûreté nucléaire selon les guides de déclaration en vigueur ;
- des évènements non déclarés à l'Autorité de sûreté nucléaire, dont l'IRSN a connaissance et qu'il considère comme des signaux intéressants pour la radioprotection. Leur collecte est plus aléatoire et très dépendante des circuits d'information. L'IRSN a retenu dans cette catégorie les alertes de dépassement de limite réglementaire principalement.

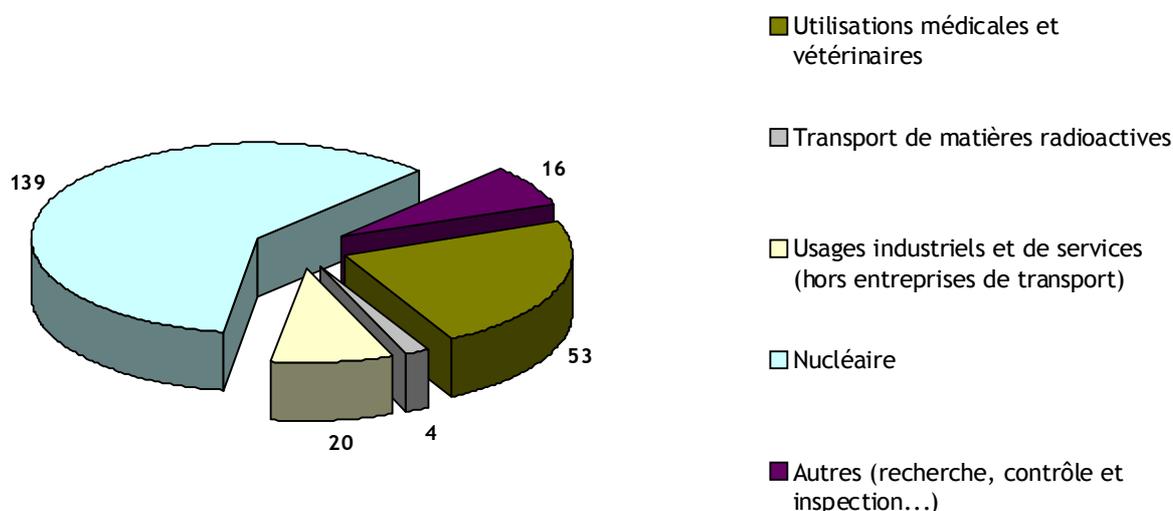


Figure 41 - Répartition des événements « travailleur » selon les domaines d'activités

### 5.3.2. Evènements déclarés à l'Autorité de Sûreté Nucléaire au titre de la radioprotection

Parmi les 232 évènements « travailleur » recensés, 162 sont des évènements déclarés selon les critères des guides de déclaration de l'ASN :

- le guide relatif aux modalités de déclaration et à la codification des critères relatifs aux évènements significatifs impliquant la sûreté, la radioprotection ou l'environnement applicable aux installations nucléaires de base et au transport de matières radioactives
- le guide DEU 03 de juillet 2007 relatif aux modalités de déclaration et à la codification des critères relatifs aux évènements significatifs dans le domaine de la radioprotection hors installations nucléaires de base et transports de matières radioactives

#### 5.3.2.1. Incidents dans les installations nucléaires de base et incidents de transport

Pour ces évènements, il existe des critères de déclaration propres à la radioprotection, des critères de déclaration « sûreté » et des critères « environnement ». Certains évènements peuvent être déclarés au titre d'un seul critère ou être des évènements mixtes déclarés au titre de la radioprotection et de la sûreté par exemple. Le bilan présenté considère tous les évènements qui ont été déclarés selon un critère radioprotection seul ou selon un critère de radioprotection associé à un autre critère.

Le nombre total des évènements concernant les travailleurs déclarés pour l'année 2009 au titre de la radioprotection dans les INB s'élève à 138 dont 13 relèvent également d'un critère de déclaration « sûreté » et 1 d'un critère de déclaration « environnement ». Le tableau 20 présente leur répartition selon les critères de déclaration.

Pour ce qui concerne le transport, 1 seul évènement a été déclaré au titre de la radioprotection. Il s'agit d'un évènement concernant le transport de radioéléments destinés à une utilisation médicale.

En plus de ceux-ci, un évènement survenu dans une installation nucléaire de base secrète (INBS) a été déclaré au titre de la radioprotection.

Tableau 20 - Evénements déclarés au titre de la radioprotection dans les INB en 2009

Critères Radioprotection concernant les INB	Nombre d'évènements
[2] Situation imprévue ayant entraîné le dépassement du quart d'une limite de dose individuelle annuelle réglementaire, lors d'une exposition ponctuelle, quel que soit le type d'exposition.	3
[3] Tout écart significatif concernant la propreté radiologique.	26
[4] Toute activité (opération, travail, modification, contrôle...) comportant un risque radiologique important, réalisée sans une analyse de radioprotection formalisée (justification, optimisation, limitation) ou sans prise en compte exhaustive de cette analyse.	5
[6] Situation anormale affectant une source scellée ou non scellée d'activité supérieure aux seuils d'exemption.	13
[7] Défaut de signalisation ou non-respect des conditions techniques d'accès ou de séjour dans une zone spécialement réglementée ou interdite (zones orange et rouge)	42
[9] Dépassement de la périodicité de contrôle d'un appareil de surveillance radiologique	3
[10] Tout autre événement susceptible d'affecter la radioprotection jugé significatif par l'exploitant ou par l'Autorité de sûreté nucléaire.	46
<b>TOTAL</b>	<b>138</b>

**5.3.2.2. Incidents hors installations nucléaire de base et transport déclarés au titre du guide ASN/DEU/03**

Le guide DEU 03 de l'ASN *relatif aux modalités de déclaration et à la codification des événements significatifs dans le domaine de la radioprotection hors installations nucléaires de base et transports de matières radioactives et ses critères de déclaration associés* est applicable depuis juillet 2007.

Parmi les évènements 'travailleurs' recensés par l'IRSN pour l'année 2009, 22 d'entre eux ont été déclarés au titre de ce guide (Cf. tableau 21).

**5.3.3. Alertes de dépassement des limites réglementaires de dose**

Dans le cadre du suivi de l'exposition des travailleurs et de la consolidation des données dosimétriques, les alertes des laboratoires de dosimétrie pour dépassement de limites réglementaires de dose parvenues à l'IRSN en 2009 sont au nombre de 59, ce qui correspond à 23 % des évènements recensés. Parmi ces alertes, 75 % proviennent du secteur médical et vétérinaire, 22 % du secteur « usages industriels et de services (hors entreprises de transport) », et 3% du secteur nucléaire. Les 59 alertes de dépassement recensées concernent 44 travailleurs, plusieurs d'entre elles affectant les mêmes travailleurs. L'IRSN n'a pas connaissance des éventuelles déclarations d'évènement faites à

l'ASN en lien avec ces alertes dosimétriques ; un recoupement de ces informations permettrait une amélioration de la consolidation des données.

**Tableau 21 - Evénements déclarés hors INB en 2009**

Critères radioprotection hors INB	Nombre d'événements
[1] - Dépassement de limites de dose travailleur (réel ou potentiel)	4
[4.1]- Perte ou vol de sources	3
[4.2]- Découverte de sources	2
[4.3]- Dispersion de radionucléides	2
[4.5] - Filière d'évacuation inappropriée	1
[4.8] - Entreposage dans un lieu non autorisé	1
[6.1] - Autres selon exploitant	2
Non renseignés par l'exploitant	7
<b>Total</b>	<b>22</b>

#### 5.3.4. Evolution par rapport aux années précédentes

Le tableau 22 reprend la répartition des événements « travailleurs » recensés par l'IRSN depuis 2004, selon les grands domaines d'activité. Il montre qu'aucune évolution significative n'a été observée sur ces 6 années. Le domaine médical reste le principal responsable d'alertes de dépassement de limite réglementaire de dose, dans une proportion supérieure (75 %) à la proportion des travailleurs de ce domaine (62%) sur l'ensemble des travailleurs suivis. Il convient de noter que ces événements sont connus sans aucune démarche proactive des employeurs. Si la culture de déclaration entre peu à peu dans les habitudes du domaine médical en ce qui concerne les événements patients, il semblerait qu'il y ait peu d'évolution en ce qui concerne les événements affectant la radioprotection des travailleurs. Les domaines d'activité ayant historiquement une culture déclarative plus forte, à l'image du domaine nucléaire, affichent un nombre relativement stable d'événements.

Tableau 22 - Evolution des évènements « travailleurs » sur la période 2004 - 2009

	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Alertes de dépassements de limite réglementaire de dose						
- utilisations médicales et vétérinaires	42	63	48	54	36	44
- transport	0	0	5	0	0	0
- industrie	11 <sup>(*)</sup>	17 <sup>(*)</sup>	13 <sup>(*)</sup>	18 <sup>(*)</sup>	17	13
- nucléaire					4	2
- autres (recherche, contrôle et inspection...)	2	2	1	0	0	0
- origine inconnue	0	0	1	0	0	0
<b>Total alertes de dépassements</b>	<b>55</b>	<b>82</b>	<b>68</b>	<b>72</b>	<b>57</b>	<b>59</b>
Autres évènements						
- utilisations médicales et vétérinaires	2	8	9	10	7	9
- transport						4
- industrie	193	182	170	169	183	7
- nucléaire						137
- autres (recherche, contrôle et inspection...)						16
<b>Total autres évènements</b>	<b>195</b>	<b>190</b>	<b>179</b>	<b>179</b>	<b>190</b>	<b>173</b>
<b>TOTAL</b>	<b>250</b>	<b>272</b>	<b>247</b>	<b>251</b>	<b>247</b>	<b>232</b>

(\*) Jusqu'en 2007, les données concernant l'industrie et le nucléaire étaient confondues.

## 5.4. AUTRES ACTIONS

### 5.4.1. CALCULS DE RADIOPROTECTION POUR LES BUNKERS DE RADIOTHERAPIE

#### 5.4.1.1. Contexte

Les accélérateurs de particules utilisés en radiothérapie produisent des faisceaux d'électrons et de photons dans la gamme d'énergies de 4 à 25 MeV et délivrent des débits de dose allant de 2 à 10 Gy.min<sup>-1</sup> à 1 mètre de la source. Les faisceaux de photons d'énergie nominale supérieure à 10 MeV engendrent par ailleurs un rayonnement neutronique secondaire par interaction avec des matériaux lourds situés dans la tête de l'appareil ou dans les murs. L'énergie moyenne de cette composante neutronique est d'environ 1 MeV et son intensité croît de façon exponentielle avec l'énergie du faisceau de photons.

Afin de protéger le personnel contre ces rayonnements, les accélérateurs médicaux sont installés dans des bunkers avec des parois généralement en béton de plus d'un mètre d'épaisseur, une porte d'accès renforcée et une chicane permettant de limiter l'épaisseur de la porte.

Depuis quelques années l'IRSN fournit un support technique aux professionnels de radiothérapie, en particulier aux radiophysiciens, pour le dimensionnement de nouvelles installations ou le redimensionnement de bunkers existants lors d'un changement d'appareil. L'IRSN réalise également

des prestations pour des centres de radiothérapie ou pour des sociétés mandatées par ceux-ci (cabinets d'architecte, entreprises du bâtiment...) et répond aux éventuelles demandes d'expertise de la part des autorités (ASN). Ces prestations ou avis d'expertise concernent généralement des installations non standard (type d'appareil, géométrie ou matériaux du bunker). Elles incluent la vérification du zonage et des protections envisagées et la proposition éventuelle de protections supplémentaires pour respecter la réglementation en vigueur en radioprotection. Les évaluations sont fondées sur l'estimation par calcul du débit d'équivalent de dose et de la dose efficace aux points d'intérêt, pour les champs de photons et de neutrons, au moyen de méthodes analytiques proposées dans la littérature internationale, en particulier les méthodes recommandées par le National Council of Radiation Protection (NCRP).

#### 5.4.1.2. Etudes réalisées en 2009

Au cours de l'année 2009, une première prestation a porté sur un projet de construction d'un bunker devant recevoir un accélérateur de 25 MV et de débit de  $6 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$  à 1 m. Une particularité de l'installation prévue était le percement du linteau au-dessus de la porte d'entrée du bunker par des conduits droits (non coudés) pour le passage des gaines de ventilation (Cf. figure 42). Les trajectoires des composantes du rayonnement contribuant à l'exposition en sortie de ces percements sont représentées par les traits bleus.

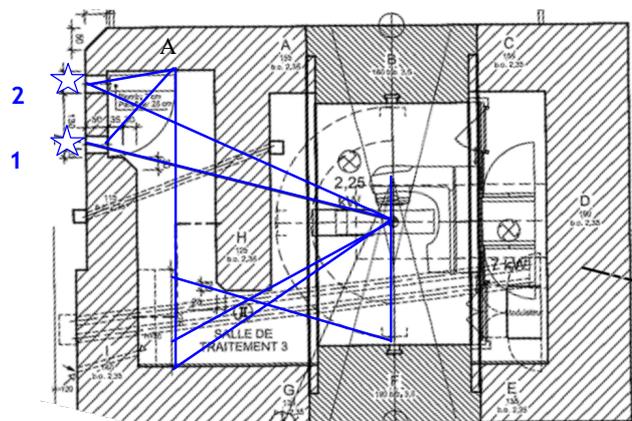


Figure 42 - Vue de haut d'un projet de construction d'un bunker de radiothérapie

Malgré les approximations d'une approche théorique analytique, les résultats des calculs de l'IRSN ont permis d'alerter sur un possible dépassement des limites réglementaires en sortie de ces percements, au niveau de la salle de commande de l'accélérateur (zone surveillée), en particulier au regard de la composante neutronique. L'IRSN a donc recommandé d'opter pour une trajectoire coudée des percements. Les valeurs estimées des débits d'équivalent de dose instantanés et des doses efficaces horaires, mensuelles et annuelles en sortie des percements du linteau pour les conduits de ventilation avant modification sont présentées dans le tableau 23, pour un accélérateur

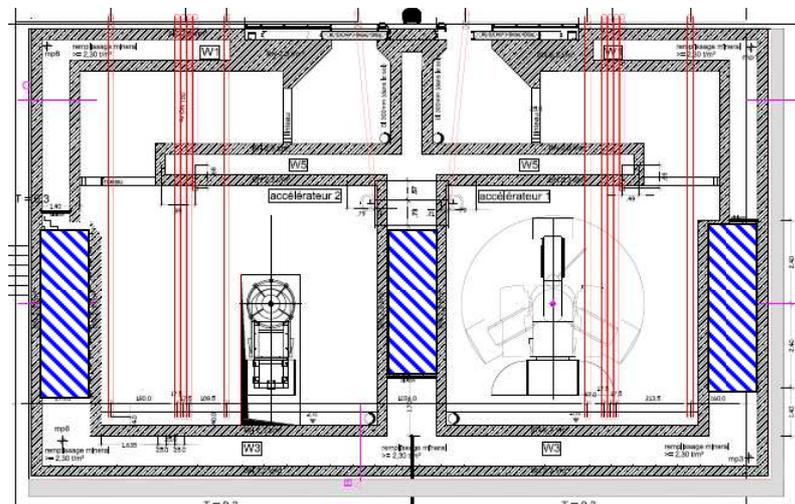
de 25 MV. Les limites réglementaires de dose efficace pour une zone surveillée sont de 7,5  $\mu\text{Sv}$  sur une heure et 6 mSv sur un an.

**Tableau 23 - Valeurs estimées des débits d'équivalent de dose instantanés et des doses efficaces horaires, mensuelles et annuelles en sortie des percements du linteau pour les conduits de ventilation avant modification, pour un accélérateur de 25 MV**

Point de mesure (*)	Composante photonique				Composante neutronique			
	Débit instantané ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Doses efficaces			Débit instantané ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Doses efficaces		
		horaire ( $\mu\text{Sv}$ )	mensuelle ( $\mu\text{Sv}$ )	annuelle (mSv)		horaire ( $\mu\text{Sv}$ )	mensuelle ( $\mu\text{Sv}$ )	annuelle (mSv)
1	32,0	6,4	1 030	12,9	136,9	54,8	8 763	109,5
2	17,8	3,7	595	7,4	50,1	20,0	3 208	40,1

(\*) Cf. figure 42

Une seconde prestation a concerné la construction de deux bunkers pour des accélérateurs de 18 MV, selon un nouveau système de murs « sandwichs » inventé en Allemagne et utilisé en France pour la première fois (Cf. figure 43). Ce système consiste en deux coques en béton entre lesquelles est inséré et compacté sur place du minerai de remplissage dont la composition, la densité et l'épaisseur sont adaptées en fonction de la nature, de l'énergie et de l'intensité du rayonnement à atténuer (par exemple, les zones hachurées en bleu sur la figure 43 sont plus denses que les autres zones).



**Figure 43 - Vue de haut d'un projet de construction de deux bunkers de radiothérapie selon le système de murs « sandwichs » (les traits rouges représentent les fourreaux enfouis dans le sol pour le passage de câbles ou de fluides, ils n'ont pas d'impact sur la radioprotection)**

L'étude de l'IRSN a notamment pointé le fait qu'il manque à ce jour des données dans la littérature scientifique internationale concernant l'atténuation des rayonnements par le système de murs

« sandwichs », en particulier pour le champ neutronique autour des accélérateurs médicaux. De plus, aucune information n'est fournie par le constructeur quant à l'optimisation effective du mélange des murs « sandwichs » pour une installation médicale donnée. L'IRSN a donc recommandé de réaliser des mesures de doses (photons et neutrons) en conditions normales d'utilisation de l'installation et avant sa mise en service, afin de valider les protections envisagées.

#### **5.4.2. CONTROLES DE RADIOPROTECTION**

En 2009, dans le cadre de prestations, 25 clients ont fait appel au Service d'Intervention et d'Assistance en Radioprotection de l'Institut pour des contrôles techniques réglementaires : 15 de ces clients étaient issus du milieu industriel, 7 du milieu médical et 5 de celui de la recherche. Un client demande souvent le contrôle de plusieurs installations. Aussi, pour décrire plus précisément le volume de travail correspondant, il est préférable de comptabiliser les installations contrôlées. Le service d'intervention a réalisé des contrôles dans un total de 74 installations en 2009, dont 54 % dans l'industrie, 39 % dans le médical et 7 % dans la recherche. Le tableau 24 détaille l'ensemble de ces prestations.

#### **5.4.3. PARTICIPATION A LA MISSION DE LA CNDP**

Une réflexion sur les actions à mettre en œuvre pour renforcer la transparence des travaux de l'IRSN a fait l'objet d'une mission confiée par l'Institut au vice-président de la Commission nationale du débat public (CNDP). Dans le cadre de cette mission, des cas-tests ont été proposés pour évaluer la démarche d'ouverture des travaux de l'IRSN à la société au sein de ses différentes directions. Initiée fin 2008, cette action s'est prolongée au cours de l'année 2009 et jusqu'en 2010. Le rapport annuel sur la radioprotection des travailleurs est le cas-test retenu pour la Direction de la radioprotection de l'Homme, l'objectif de l'exercice étant d'améliorer la structure du rapport et la présentation des données mises à disposition des différents publics en recueillant le point de vue de parties prenantes représentatives. Un groupe de travail a été constitué en veillant à ce que tous les domaines d'activité concernés par la radioprotection des travailleurs soient représentés. Il s'est réuni à deux reprises pour proposer des évolutions et en débattre. La principale évolution retenue est le choix d'une présentation du bilan annuel par secteur d'activité, pour une meilleure lisibilité du document. La mise en œuvre pratique de cette évolution reste dépendante de la disponibilité de l'information concernant le secteur d'activité, information qui doit être associée aux données dosimétriques des travailleurs, ce qui implique l'utilisation de la nomenclature établie par l'IRSN (Cf. Annexe II) par tous les acteurs de la radioprotection des travailleurs : des employeurs à l'IRSN, en passant par les organismes de surveillance de l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants.

Tableau 24 - Contrôles réalisés par le service d'intervention de l'IRSN en 2009

Domaine d'activité	Secteur d'activité (*)	Libellé du contrôle	Nb d'installations contrôlées
Médical	1106000	Contrôle de 3 services de médecine nucléaire et d'un laboratoire d'oncologie	4
	1101000 et 1106000	Contrôles externes de radioprotection : 18 générateurs X et un service de médecine nucléaire	19
	1106000	Contrôle technique de radioprotection (sources)	1
	1106000	Contrôle réglementaire	1
	1106000	Contrôle radiologique d'un service de médecine nucléaire désaffecté	2
	1101010	Contrôle d'un générateur X	1
	1101000	Contrôle de la contamination de locaux	1
Industrie	1301011	Contrôles externes de 4 générateurs X	17
	1301011	Contrôle de 2 générateurs X fixes	2
	1301011	Contrôle externe de radioprotection de sources scellées, de 4 densimètres et d'un générateur X fixe	5
	1301011	Contrôles externes de radioprotection, 4 générateurs X fixes et 35 locaux et sources	4
	1308020	Changement de filtres	2
	1301000	Analyse concernant le carbone 14 en complément de l'étude point 0	1
	1301000	Contrôle d'une sonde DNA	1
	1301000	Contrôle réglementaire	1
	1301000	Contrôle réglementaire	1
	1301000	Contrôle technique de radioprotection	2
	1301000	Contrôle réglementaire	1
	1301000	Contrôle réglementaire	1
	1301000	Contrôle technique de radioprotection dont un générateur X mobile	1
	1301000	Contrôle réglementaire	1
Recherche	1601000	Contrôle radiologique de 2 soutes à déchets	1
	1601000	Contrôle de trois navires	3
	1601000	Contrôle réglementaire	1
<b>Total Médical</b>			<b>29</b>
<b>Total Industrie</b>			<b>40</b>
<b>Total Recherche</b>			<b>5</b>
<b>TOTAL</b>			<b>74</b>

(\*) au titre de la nomenclature de l'IRSN (Cf. Annexe II)

## 6. CONCLUSIONS

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 soumise à un régime d'autorisation ou de déclaration en application du code de la santé publique (industrie nucléaire, industrie non nucléaire, applications médicales et vétérinaires, recherche) ainsi que des travailleurs de la défense et ceux exposés sur les lieux de travail à des sources naturelles de rayonnement.

Le bilan des expositions des travailleurs pour l'année 2009 permet de retenir les données marquantes suivantes :

### **Bilan de la surveillance de l'exposition externe par dosimétrie passive en 2009**

- *Effectif total surveillé : 319 091 travailleurs*
- *Dose collective de l'effectif total surveillé : 65,68 homme.Sv*
- *Dose individuelle annuelle moyenne sur l'ensemble des travailleurs surveillés : 0,21 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 : 14 631 travailleurs (soit 4,6 % de l'effectif total surveillé par dosimétrie passive)*
- *Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 20 mSv : 15 travailleurs*
- *Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle aux extrémités ou à la peau > 500 mSv : 4 travailleurs*

### **Bilan de la surveillance de l'exposition interne en 2009**

- *Nombre d'examens de routine réalisés : 292 419 examens (dont moins de 1 % considérés positifs)*
- *Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 384 travailleurs*
- *Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée > 1 mSv : 18 travailleurs*

### **Bilan de la surveillance de l'exposition aux rayonnements cosmiques en 2009 (aviation civile)**

- *Dose collective pour 19 830 personnels navigants : 43,6 homme.Sv*
- *Dose individuelle annuelle moyenne: 2,2 mSv*

En comparaison avec les bilans établis les années précédentes, il convient de souligner également les points suivants :

- le nombre de travailleurs surveillés par dosimétrie externe passive, tous secteurs d'activité soumise à autorisation ou déclaration confondus, a augmenté de 4,1 % en 2009, ce qui confirme la tendance observée les années précédentes (+7,3 % en 2005, +1,5 % en 2006,

+5,7 % en 2007 et +4,3 % en 2008). Cette progression régulière du nombre de travailleurs surveillés en France s'inscrit dans la continuité depuis l'année 2003. Au-delà de l'impact de l'évolution réglementaire importante intervenue cette année-là, l'augmentation du nombre de travailleurs recensés dans ce bilan peut traduire également le développement de certaines activités. Cela peut aussi être dû à un nombre croissant de travailleurs suivis par plusieurs laboratoires (ces travailleurs étant alors comptés plusieurs fois), ou encore à la prise en compte de travailleurs bénéficiant d'un suivi ponctuel, et qui n'étaient pas forcément comptabilisés précédemment. Seul l'établissement du bilan à partir du système SISERI permettra d'obtenir un nombre de travailleurs fiable puisque chaque travailleur ne sera compté qu'une fois, indépendamment du nombre de laboratoires ayant assuré son suivi dosimétrique au cours de l'année ;

- une augmentation de 10,2 % de la dose collective totale associée aux expositions externes mesurées par dosimétrie passive est observée par rapport à 2008, qui confirme également la tendance observée en 2008 (+ 4,9 %) et en 2007 (+ 9,1 %);
- les doses individuelles moyennes ont augmenté par rapport à l'année précédente dans tous les domaines, de 25 % dans le domaine médical et la recherche, et plus faiblement dans l'industrie non nucléaire (+2 %) et dans l'industrie nucléaire (+7 %) ;
- le nombre de travailleurs ayant reçu au cours de l'année une dose externe cumulée supérieure à 20 mSv est du même ordre en 2009 (14 cas) qu'en 2008 (16 cas), confirmant la baisse régulière observée depuis 2003. En 2009, les plus fortes doses sont enregistrées dans le domaine médical et dans l'industrie ;
- le nombre de travailleurs surveillés pour le risque d'exposition aux neutrons représente 11 % de l'effectif surveillé total, alors que la dose collective neutrons représente seulement 2,3 % 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 plus de la moitié des doses totales reçues par les travailleurs ;
- près de 7 % des travailleurs surveillés bénéficient d'une dosimétrie supplémentaire des extrémités (mains, doigts). En 2009, les doses individuelles moyennes mesurées au niveau des poignets et des doigts sont de 4,9 mSv et 7,7 mSv respectivement. Trois cas de dépassement de la limite annuelle de dose aux extrémités ont été recensés, qui concernent trois travailleurs du secteur de la radiologie médicale ;
- 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 2009, 18 cas de contamination interne ont été recensés. Dans un

cas (dose estimée à 69 mSv), la limite réglementaire a été dépassée, les autres valeurs de doses estimées ne dépassant pas 6 mSv ;

- le bilan de l'exposition externe des personnels navigants de l'aviation civile aux rayonnements cosmiques, établi à partir des données transmises par deux compagnies en 2009, témoigne d'une exposition externe non négligeable : 19 830 personnels navigants totalisent une dose collective de 43,6 homme.Sv, avec une dose individuelle annuelle moyenne de 2,2 mSv et maximale de 5,5 mSv ;
- parmi les événements de radioprotection que l'IRSN a recensés en 2009, 232 concernaient directement les travailleurs, tous secteurs d'activité confondus, contre 247 en 2008.

## 7. REFERENCES

- [1] Norme CEI 62387-1 (juillet 2007). Instrumentation pour la radioprotection, systèmes dosimétriques intégrés passifs pour la surveillance de l'environnement et de l'individu.
- [2] Norme ISO 21909 (décembre 2005). Dosimètres individuel passifs pour les neutrons. Exigences de fonctionnement et d'essai.
- [3] Norme ISO 12790-1 (mars 2002). Radioprotection, les critères de performance pour l'analyse radiotoxicologique.
- [4] 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
- [5] 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
- [6] 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
- [7] La radioprotection des travailleurs - Bilan 2004 - IRSN - Rapport DRPH/2005-09 du 15/11/05 - Alain RANNOU et Olivier COUASNON
- [8] 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
- [9] 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
- [10] Bilan de l'exposition externe passive des travailleurs en 2006 - IRSN - Rapport DRPH/SER/2007-17 du 19/09/07 - Olivier COUASNON
- [11] 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
- [12] 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
- [13] 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

- [14] La radioprotection des travailleurs - Bilan 2007 de la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants en France - IRSN - DRPH/DIR/2008-11 du 05/12/08 - Juliette FEUARDENT, Alain RANNOU, Roselyne AMEON, Isabelle CLAIRAND, Olivier COUASNON, Jean-Michel DELIGNE, Ronan MEAR, Jean-Philippe PIERRE, Nathalie PIRES, Jean-Luc REHEL, Pascale SCANFF, Antoine TALBOT, Maylis TELLE-LAMBERTON
- [15] La radioprotection des travailleurs - Bilan 2008 de la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants en France - IRSN - DRPH/DIR/2009-16 du 02/10/09 - Juliette FEUARDENT, Roselyne AMEON, James BERNIERE, Isabelle CLAIRAND, Johnny DUMEAU, Gwenaëlle LORIOT, Nathalie PIRES, Jean-Luc REHEL, Pascale SCANFF, Antoine TALBOT, Maylis TELLE-LAMBERTON
- [16] 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
- [17] Rapport d'activité OPRI - 1996 - OPRI - Protection des travailleurs
- [18] Rapport d'activité OPRI - 1997 - OPRI - Protection des travailleurs
- [19] Rapport d'activité OPRI - 1998 - OPRI - Mission Information et Communication - Bilan scientifique
- [20] Rapport d'activité OPRI - 1999 - OPRI - Mission Information et Communication - Bilan scientifique
- [21] Rapport d'activité OPRI - 2000 - OPRI - Mission Information et Communication - La radioprotection des travailleurs exposés
- [22] Rapport d'activité OPRI - 2001 - OPRI - Mission Information et Communication - La radioprotection des travailleurs exposés
- [23] La radioprotection des travailleurs exposés (Eléments de statistiques dosimétriques de l'année 2002 communiqués à la DRT) - IRSN - A. BIAU
- [24] Norme ISO 20553 (juillet 2006). Surveillance professionnelle des travailleurs exposés à un risque de contamination interne par des matériaux radioactifs.
- [25] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE - Règlement de transport des matières radioactives. Prescriptions n° TS-R-1, 2009.
- [26] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE - Normes fondamentales internationales de protection contre les rayonnements ionisants et de sûreté des sources de rayonnement. Normes de sûreté, collection Sécurité n° 115, 1997.
- [27] Rapport IRSN/DEI/SARG/2009-019
- [28] Rapport IRSN/DEI/SARG/2009-020
- [29] Rapport IRSN/DEI/SARG/2009-028
- [30] I. Clairand, J-M. Bordy, J. Daures, J. Debroas, M. Denozière, L. Donadille, M. Ginjaume, C. Itié, C. Koukorava, A-L. Lebacq, P. Martin, L. Struelens, M. Sans Mercé, M. Tomic, F. Vanhavere. Active personal dosimeters in interventional radiology: tests in laboratory conditions and in hospitals. Rad. Prot. Dosim. Soumis.

[31] J. Domienik, M. Brodecki, E. Carinou, L. Donadille, J. Jankowski, C. Koukorava, S. Krim, D. Nikodemova, N. Ruiz-Lopez, M. Sans-Mercé, L. Struelens, F. Vanhavere. Extremity and eye lens doses in interventional radiology procedures. First results of the ORAMED project. Rad. Prot. Dosim. Soumis.

[32] M. Sans Merce, N. Ruiz, I. Barth, A. Carnicer, L. Donadille, P. Ferrari, M. Fulop, M. Ginjaume, G. Gualdrini, S. Krim, X. Ortega, A. Rimpler, F. Vanhavere, F. Mariotti, S. Baechler. Extremity exposure in nuclear medicine - preliminary results of an European study. Rad. Prot. Dosim. Soumis.

# **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 ou de calcul 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 soit sur des mesures directes et bien standardisées, à partir du moment où le type de rayonnements ionisants auxquels les travailleurs sont exposés est connu, soit sur des calculs réalisés à partir des plans de vol des personnels navigants. 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. 4451-64 du code du travail, les mesures ou les calculs nécessaires à la surveillance de référence 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**

### **1.1. Dosimétrie externe passive**

Cette première partie est consacrée aux différents dosimètres individuels passifs fournis par les laboratoires d'exploitation dosimétrique en France en 2008.

La surveillance individuelle de l'exposition par dosimétrie passive est mise en œuvre par le chef d'établissement dès lors que le travailleur est classé (A ou B) comme travailleur exposé aux rayonnements ionisants au sens du code du travail.

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.

#### 1.1.1. LES ORGANISMES IMPLIQUES

A la fin de l'année 2009, les organismes ayant un agrément pour la surveillance individuelle de l'exposition externe des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants sont au nombre de 8 : DOSILAB, AREVA NC La Hague, AREVA NC Marcoule, IPHC de Strasbourg, IPN d'Orsay, LCIE-LANDAUER, ALGADE et le SPRA.

A ces organismes s'ajoutent le laboratoire de l'IRSN non soumis à agrément.

#### 1.1.2. LES DIFFERENTES TECHNIQUES

Il existe plusieurs techniques de dosimétrie passive :

- Le film photographique

Le dosimètre photographique est le plus ancien dosimètre. Il est sensible aux rayonnements  $X$ ,  $\gamma$  et  $\beta$ . La technique du film 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. Depuis le 1<sup>er</sup> octobre 2009, ce type de dosimètre n'est plus utilisé pour la dosimétrie corps entier par les laboratoires agréés par l'ASN. 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 (Cf. § 1.1.3) 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 photographique pour l'OSL. En 2008, l'IRSN a mis en œuvre la technologie RPL pour la dosimétrie corps entier des travailleurs. En 2009, l'IPN d'Orsay et l'IPHC de Strasbourg ont à leur tour abandonné le film photographique pour la technologie RPL.

- 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 exposés. 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 TLD permet de détecter les rayonnements X,  $\gamma$ ,  $\beta$ , et les neutrons moyennant l'utilisation de matériaux appropriés.

- 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. Les dosimètres OSL sont sensibles aux rayonnements X,  $\gamma$  et  $\beta$ .

- 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. Il permet la détection des rayonnements X,  $\gamma$  et  $\beta$ .

- 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 CR39<sup>25</sup>) est inséré dans un étui muni d'un « radiateur » qui, suivant sa composition, permet la détection des neutrons sur une large gamme d'énergie.

### 1.1.3. LE SEUIL D'ENREGISTREMENT DES DOSES EXTERNES PASSIVES

La réglementation<sup>26</sup> fixe les règles de mise en œuvre de la dosimétrie externe passive. Elle impose notamment l'utilisation de grandeurs opérationnelles<sup>27</sup>, 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).

Selon la réglementation<sup>30</sup>, le seuil d'enregistrement (plus petite dose non nulle enregistrée) ne peut être supérieur à 0,1 mSv et le pas d'enregistrement ne peut être supérieur à 0,05 mSv (valeurs applicables au 1<sup>er</sup> janvier 2008). Certains laboratoires ont anticipé cette évolution et enregistré dès 2007 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. Lorsque les performances techniques du dosimètre le permettent, les doses mesurées au-dessus du seuil de détection sont enregistrées (0,05 mSv pour certains dosimètres : Cf. tableau I-1).

<sup>25</sup> Columbia Resin 39

<sup>26</sup> 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.

<sup>27</sup> Selon les recommandations de l'ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements).

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 (ou 0,05 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 2009. 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.

**Tableau I-1 - Panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2009**

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, $\beta$ , $\gamma$ : OSL (InLight en modèle poitrine)	0,05	X, $\beta$ , $\gamma$ : OSL (InLight en modèle poignet)	0,05	X, $\beta$ , $\gamma$ : Bague TLD	0,30
	Neutrons : détecteur solide de trace (CR-39 - Neutrak en modèle poitrine) standard <sup>28</sup> ou équipé d'un radiateur en téflon <sup>29</sup>	0,20	Neutrons : détecteur solide de trace CR-39 (Neutrak en modèle poignet)	0,20	-	-
IRSN (LDI, laboratoire du Vésinet)	X, $\beta$ , $\gamma$ : TLD (poitrine) ou RPL <sup>30</sup> (poitrine)	0,1 (0,05 pour RPL)	X, $\beta$ , $\gamma$ : film (PS1 ou DC001 poignet) ou TLD (poignet)	0,1 (0,2 pour PS1)	X, $\beta$ , $\gamma$ : TLD (bague)	0,1
	Neutrons : détecteur solide de traces (PN3 <sup>31</sup> , associé au film PS1) ou TLD	0,1 (0,2 pour PN3)	Neutrons : détecteur solide de traces (PN3)	0,2	-	-
DOSILAB (Meaux)	X, $\beta$ , $\gamma$ : TLD	0,1	X, $\beta$ , $\gamma$ : TLD	0,1	X, $\beta$ , $\gamma$ : TLD	0,1
IPHC (Strasbourg) **	X, $\beta$ , $\gamma$ : film, RPL	0,2 pour film, 0,1 pour RPL	X, $\beta$ , $\gamma$ : film, RPL (poignet)	0,2 pour film, 0,1 pour RPL	-	-
IPN (Orsay) **	X, $\beta$ , $\gamma$ : film, RPL	0,2 pour film, 0,05 pour RPL	X, $\beta$ , $\gamma$ : film (poignet)	0,2	X, $\beta$ , $\gamma$ : Bague TLD	0,2
	Neutrons : Détecteur solide de traces (CR-39 - Neutrak en modèle poitrine) standard <sup>39</sup>	0,2	-	-	-	-
AREVA La Hague	X, $\beta$ , $\gamma$ et neutrons : Cogebadge <sup>32</sup> (TLD)	0,1	X, $\beta$ , $\gamma$ et neutrons : extREM (TLD)	0,15	-	-
AREVA Marcoule	X, $\beta$ , $\gamma$ et neutrons : TLD	0,1	X, $\beta$ , $\gamma$ et neutrons : TLD	0,15	-	-
SPRA (Division technique, Clamart)	X, $\beta$ , $\gamma$ : OSL	0,1	X, $\beta$ , $\gamma$ : OSL	n.c.***	-	-
	Neutrons : détecteur solide de traces (type PN3)	0,2	-	-	-	-

\* Ce seuil correspond à la valeur minimale de dose enregistrée (seuil d'enregistrement). Dans les tableaux 1 et 4 du chapitre 3, les statistiques d'EDF, dont les travailleurs sont suivis par LCIE-Landauer, sont calculées avec un seuil égal à 0,1 mSv.

\*\* Le dosimètre film a été remplacé par le dosimètre RPL à compter du 1<sup>er</sup> octobre 2009 à l'IPHC et à l'IPN.

\*\*\* n.c. : donnée non communiquée

<sup>28</sup> Mesure des neutrons intermédiaires et rapide.

<sup>29</sup> Permettant la mesure supplémentaire des neutrons thermiques.

<sup>30</sup> Depuis janvier 2008.

<sup>31</sup> PN3 : détecteur de traces créées par les protons de recul sur les noyaux d'hydrogène.

<sup>32</sup> Dosimètre développé par COGEMA (AREVA) pour la mesure des rayonnements X,  $\beta$ ,  $\gamma$  et neutrons. Le support des dosimètres thermoluminescents (cartouche de fluorure de lithium) et des détecteurs fonctionnant par activation (dosimétrie accidentelle de criticité).

## 1.2. Dosimétrie des personnels navigants

En France, le Système d'Information et d'Evaluation par Vol de l'Exposition au Rayonnement cosmique dans les Transports aériens (SIEVERT) est mis à la disposition des compagnies aériennes pour le calcul des doses de rayonnement cosmique reçues par les personnels navigants lors des vols en fonction des routes empruntées, conformément à la réglementation<sup>33</sup>. 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. Le système SIEVERT est opérationnel depuis 2001.

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](http://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 ensuite à l'employeur de cumuler les doses reçues au cours des trajets effectués par chaque membre du personnel navigant.

## 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

---

<sup>33</sup> Arrêté du 8 décembre 2003 fixant les modalités de mise en œuvre de la protection contre les rayonnements ionisants des travailleurs affectés à l'exécution de tâches à bord d'aéronefs en vol

radionucléides en cause. La norme ISO 20553 [24] 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. § 2.3).

## **2.1. Les organismes impliqués dans la surveillance de l'exposition interne**

A la fin de l'année 2009, 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 8 : AREVA NC La Hague, CEA Cadarache, CEA DAM Ile-de-France, CEA Grenoble, CEA Marcoule, CEA Saclay, EDF Saint-Denis et le SPRA. Les agréments sont délivrés sur décision de l'ASN pour une durée de 3 ans maximum.

A ces organismes s'ajoutent les laboratoires de l'IRSN, non soumis à agrément.

## **2.2. Les méthodes 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  $\gamma$  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  $\gamma$  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, et 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 ceux 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, salivaires ou de phanères peuvent également être réalisées.

Les émetteurs  $\alpha$  peuvent être détectés par comptage  $\alpha$  global ou par spectrométrie  $\alpha$ . Le comptage  $\alpha$  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  $\alpha$  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  $\alpha$  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  $\beta$  sont principalement mesurés par scintillation liquide. Cette méthode consiste à mélanger l'échantillon à analyser avec un liquide scintillant. L'émission des particules  $\beta$  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  $\beta$  peuvent également être mesurés à l'aide d'un compteur proportionnel après une étape préalable de séparation chimique du radioélément.

Les émetteurs X et  $\gamma$  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 dosimétrique de la dose interne

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 CIPR<sup>34</sup> (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) :  $E = I \cdot \varepsilon$

où  $I$  est l'activité incorporée (Bq) et  $\varepsilon$  le coefficient de dose par unité d'incorporation (Sv/Bq), tel que précisé dans le Code de la santé publique (arrêté du 1<sup>er</sup> 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 des caractéristiques temporelles de l'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  $\mu\text{m}$ . *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 utilisés pour la surveillance de l'exposition interne

La figure I décrit les 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 2009, pour un

<sup>34</sup> Commission Internationale de Protection Radiologique

certain nombre de radionucléides caractéristiques. Ces données ont été obtenues dans le cadre d'une enquête réalisée en 2007 auprès des différents laboratoires de dosimétrie interne et mises à jour à l'occasion des extensions de périmètre d'accréditation de ces laboratoires par le COFRAC. 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. Les programmes de surveillance et les protocoles de mesures ne font pas à l'heure actuelle l'objet de procédures standardisées entre les laboratoires, même si des initiatives sont actuellement en cours.

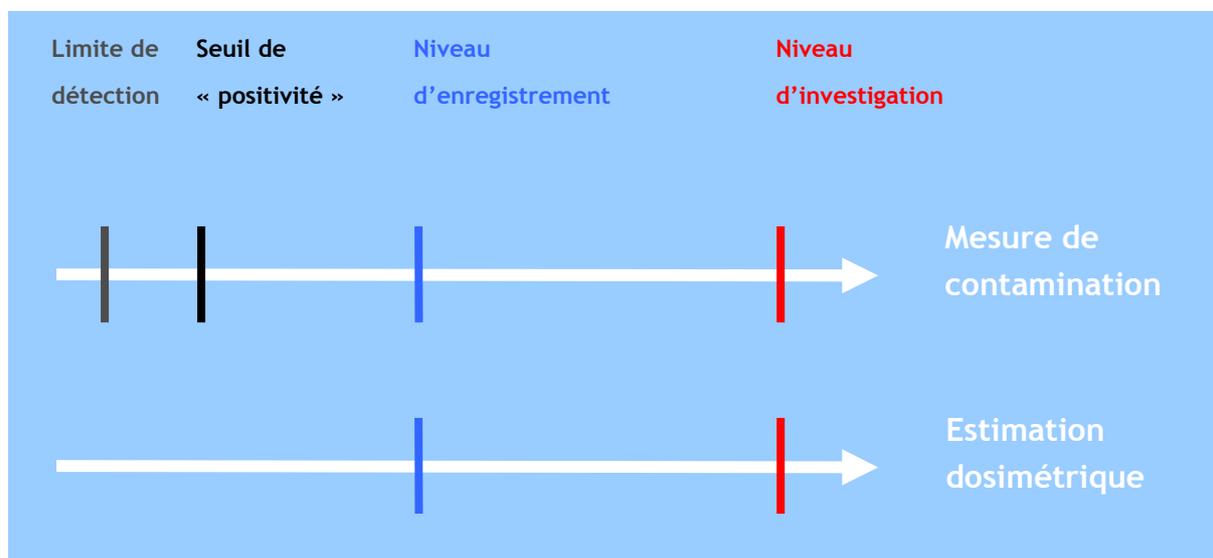


Figure I - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs

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 [24], 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.

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.

**Tableau I-2 - Limites de détection observées pour les principales techniques de dosimétrie interne mises en œuvre en France en 2009**

Type d'examen	Type de rayonnements	Radionucléide(s) considéré(s)	Limites de détection (LD)
Radiotoxicologie des prélèvements nasaux	$\alpha$ $\beta$ $\gamma/X$		de 0,04 à 0,7 Bq* de 0,02 à 4 Bq* 37 Bq*
Radiotoxicologie des selles	$\alpha$ $\gamma/X$	actinides $^{60}\text{Co}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{54}\text{Mn}$ , $^{110}\text{Ag}$	de 0,00002 à 0,05 Bq* 1 Bq*
Radiotoxicologie des urines	$\alpha$	uranium pondéral uranium actinides (sauf uranium)	de 0,1 à 4 $\mu\text{g/L}$ de 0,0002 à 0,01 Bq de 0,0002 à 0,2 Bq
	$\beta$	$^{210}\text{Po}$ $^3\text{H}$ $^{14}\text{C}$ $^{32}\text{P}$ $^{35}\text{S}$ $^{36}\text{Cl}$ $^{90}\text{Sr}$ $\beta$ totaux	de 0,006 à 0,02 Bq/L de 15 à 700 Bq/L de 60 Bq/L à 370 Bq/L de 4 à 15 Bq/L de 5 à 20 Bq/L de 60 à 200 Bq/L de 0,2 à 0,5 Bq/L
	$\gamma/X$	tous radionucléides	de 0,12 Bq/L à 0,4 Bq/L 1 à 75 Bq/L
Anthroporadiométrie corps entier	$\gamma/X$	$^{137}\text{Cs}$ $^{60}\text{Co}$	de 30 Bq à 210 Bq de 40 Bq à 150 Bq
Anthroporadiométrie pulmonaire	$\gamma/X$	$^{241}\text{Am}$ $^{235}\text{U}$ $^{239}\text{Pu}$	de 5 Bq à 15 Bq de 7 Bq à 9 Bq 2 200 à 7 000 Bq
Anthroporadiométrie de la thyroïde	$\gamma/X$	$^{131}\text{I}$ $^{125}\text{I}$	de 2 Bq à 30 Bq de 20 à 25 Bq

\* il s'agit de Bq par échantillon ou prélèvement

## ANNEXE II : NOMENCLATURE DES SECTEURS D'ACTIVITE

<b>110000 Utilisations médicales et vétérinaires</b>	
1101000	<b>Radiodiagnostic</b>
1101010	<i>Radiologie conventionnelle</i>
1101020	<i>Radiologie conventionnelle + scanner</i>
1102000	<b>Soins dentaires</b>
1103000	<b>Médecine du travail et dispensaires</b>
1104000	<b>Radiologie interventionnelle</b>
1104010	<i>Cardiologie</i>
1104020	<i>Neurologie</i>
1104030	<i>Vasculaire</i>
1104040	<i>Autres</i>
1105000	<b>Radiothérapie</b>
1105010	<i>Radiothérapie avec Cobalt ou accélérateur</i>
1105020	<i>Radiothérapie autre (protons, neutrons)</i>
1105030	<i>Curiethérapie bas débit</i>
1105040	<i>Curiethérapie pulsée ou haut débit</i>
1106000	<b>Médecine nucléaire</b>
1106010	<i>Services spécialisés en diagnostic</i>
1106011	<i>Sans TEP</i>
1106012	<i>Avec TEP</i>
1106020	<i>Services mixtes thérapie-diagnostic</i>
1107000	<b>Laboratoire d'analyse médicale avec radio-immunologie</b>
1108000	<b>Irradiation de produits sanguins</b>
1109000	<b>Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique</b>
1110000	<b>Médecine vétérinaire</b>
1111000	<b>Logistique et maintenance du médical (prestataires)</b>
1111010	<i>Logistique</i>
1111020	<i>Maintenance</i>
1112000	<b>Autres</b>
<b>120000 Transport de matières radioactives</b>	
1201000	<b>Nucléaire</b>
1202000	<b>Médical</b>
1203000	<b>Sources à usages divers (industriel, etc.)</b>
<b>130000 Usages industriels et de services (hors entreprises de transport)</b>	
1301000	<b>Contrôles utilisant des sources de rayonnements</b>
1301010	<i>Utilisation de gammagraphes et générateurs X</i>
1301011	<i>Utilisation de gammagraphes et générateurs X fixes</i>
1301012	<i>Utilisation de gammagraphes et générateurs X mobiles</i>
1301013	<i>Utilisation de gammagraphes et générateurs X fixes et mobiles</i>
1301020	<i>Détection de plomb dans les peintures</i>
1301030	<i>Utilisation de jauges industrielles</i>
1301031	<i>Utilisation de jauges industrielles à poste fixe</i>
1301032	<i>Utilisation de jauges industrielles avec matériel mobile</i>
1301033	<i>Utilisation de jauges industrielles fixes et mobiles</i>
1302000	<b>Soudage par faisceau d'électron</b>
1303000	<b>Production et conditionnement de radio-isotopes (y compris industrie radio-pharmaceutique)</b>
1304000	<b>Radio-polymérisation et « traitement de surface »</b>
1305000	<b>Stérilisations</b>
1306000	<b>Contrôles pour la sécurité des personnes et des biens</b>
1307000	<b>Détection géologique (Well logging)</b>
1308000	<b>Logistique et maintenance dans le secteur industriel (Prestataires)</b>
1308010	<i>Logistique</i>

1308020	Maintenance
1309000	Autres
<b>1400000</b>	<b>Sources naturelles</b>
1401000	Aviation
1402000	Mines et traitement des minerais
1403000	Manipulation et stockage de matières premières contenant des éléments des familles naturelles du thorium et de l'uranium
1404000	Activités s'exerçant dans un lieu entraînant une exposition professionnelle au radon et à ses descendants
1404010	Sources thermales et établissements thermaux
1404020	Captage et traitement des eaux
1404030	Autres
1405000	Industries du gaz, du pétrole et du charbon
1406000	Autres
<b>1500000</b>	<b>Nucléaire</b>
1501000	Propulsion nucléaire
1501010	Equipage
1501020	Maintenance à terre
1501030	Intervention et préparation à l'intervention
1502000	Armement
1502010	Maintenance des installations
1502020	Transport
1502030	Intervention et préparation à l'intervention
1503000	Extraction et traitement du minerai d'uranium
1504000	Enrichissement et conversion
1505000	Fabrication du combustible
1506000	Réacteurs de production d'énergie
1507000	Retraitement
1508000	Démantèlement des installations nucléaires
1509000	Effluents, déchets et matériaux récupérables (y compris ne provenant pas du cycle)
1509010	Traitement des effluents
1509020	Traitement et conditionnement des déchets
1509030	Entreposage
1509040	Stockage
1510000	Logistique et maintenance du Nucléaire (Prestataires)
1510010	Logistique
1510011	Logistique dont le personnel est attaché aux sites
1510012	Logistique dont le personnel est itinérant
1510020	Maintenance
1510021	Maintenance dont le personnel est attaché aux sites
1510022	Maintenance dont le personnel est itinérant
1511000	Installations de recherche liées au Nucléaire
1512000	Autres
<b>1600000</b>	<b>Autres</b>
1601000	Recherche (autre que nucléaire et médical) et Enseignement
1601010	Centre d'enseignement et formation
1601020	Etablissements de recherche (autre que nucléaire et médical)
1602000	Situations de crise (pompiers, protection civile...)
1603000	Organismes d'inspection et de contrôle
1603010	Organismes d'inspection et de contrôle publics
1603020	Organismes de contrôle privés
1604000	Activités à l'étranger

## ANNEXE III : NOMENCLATURE DES METIERS

Médecin (radiologue, médecine nucléaire, radiothérapeute)	1
Médecin anesthésiste	2
Autres médecins (cardiologue, chirurgien...)	3
PSRPM, radiophysicien, physicien médicaux	4
Manipulateur électroradiologiste, technicien de médecine nucléaire ou de radiothérapie	5
Infirmier anesthésiste, IBODE	6
Infirmier	7
Aide soignant, brancardier	8
Radiopharmacien, technicien en analyses biomédicales	9
Vétérinaire	10
Auxiliaire spécialisé vétérinaire, auxiliaire vétérinaire	11
Dentiste, chirurgien-dentiste	12
Assistant dentaire	13
Médecin du travail	14
Intervenant logistique (entretien, nettoyage, servitudes)	15
Intervenant maintenance appareil émetteur rayonnements ionisants	16
Etudiant, stagiaire	17
Chercheur (directeur, attaché, chargé), ingénieur...	18
Assistant médical, auxiliaire médical, diététicien, kinésithérapeute ou autre métier du secteur médical	19
Manutentionnaire, magasinier, cariste, grutier, pontier, docker	20
Chauffeur, conducteur (seulement roulage)	21
Chauffeur, conducteur effectuant de la manutention	22
Intervenant sécurité-radioprotection-environnement	23
Directeur, chef, ingénieur projet/produit/affaires/études, ingénieur recherche industrielle et/ou	24
Chimiste, physicien, biochimiste, géologue	25
Commercial	26
Pharmacien	27
Chef de chantier, chef de travaux	28
Opérateur de tir radio poste fixe (gammagraphe...),	29
Soudeur	30
Intervenant du bâtiment (peintre, maçon...)	31
Technicien de laboratoire, laborantin, assistant de recherche	32
Opérateur de fabrication	33
Opérateur d'exploitation, conduite (contrôle commande, contrôle de pile, rondier)	34
Téléopérateur	35
Personnel navigant (pilote, steward...)	36
Mineur	37
Foreur	38
Employés excavations	39
Employés des thermes	40
Echafaudeur	41
Calorifugeur	42
Technicien de contrôle (ressuage, US...)	43
Décontamineur	44
Electricien, électronicien, instrumentiste (installations nucléaires)	45
Robinetier, plombier (installations nucléaires)	46
Scaphandrier, plongeur	47
Tuyauteur, chaudronnier	48
Câbleur	49
Professeur (collège, lycée, université), formateur	50
Gendarme, Policier, douanier, agent de contrôle	51
Sapeur pompier	52
Inspecteur, agent de contrôle	53
Autres	54