

# La radioprotection des travailleurs

Bilan 2008 de la surveillance des travailleurs exposés  
aux rayonnements ionisants en France

DIRECTION DE LA RADIOPROTECTION DE L'HOMME

---

---

## RESUME

En France, plus de 300 000 travailleurs sont susceptibles d'être exposés aux 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 de rayonnement naturel (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 Sécurité Nucléaire assure une surveillance de ces expositions professionnelles. Ce rapport dresse un bilan des expositions professionnelles pour l'année 2008.

---

---

## ABSTRACT

In France, more than 300 000 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 2008.

---

---

## MOTS-CLES

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

# SOMMAIRE

<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>8</b>
<b>2. MODALITES DE LA SURVEILLANCE DOSIMETRIQUE DES TRAVAILLEURS.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1. Objectifs de la surveillance.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2. 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. Système SISERI.....</b>	<b>13</b>
2.3.1. La transmission des données à SISERI en 2008.....	14
2.3.2. La consultation des données de SISERI en 2008.....	16
<b>3. 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>18</b>
<b>3.1. Bilan des expositions externes.....</b>	<b>18</b>
3.1.1. METHODOLOGIE ET HYPOTHESES RETENUES.....	18
3.1.2. DOSIMETRIE « CORPS ENTIER ».....	20
3.1.2.1. Résultats généraux.....	20
3.1.2.1.1. Exposition totale (photons et neutrons).....	20
3.1.2.1.2. Contribution des neutrons.....	22
3.1.2.2. Analyses par domaine d'activité.....	22
3.1.2.2.1. Exposition totale (photons et neutrons).....	22
3.1.2.2.2. Contribution des neutrons.....	28
3.1.2.3. Evolutions par rapport aux années précédentes.....	30
3.1.2.3.1. Exposition totale (photons et neutrons).....	30
3.1.2.3.2. Contribution des neutrons.....	33
3.1.3. DOSIMETRIE DES EXTREMITES.....	33
3.1.3.1. Dosimétrie poignet.....	34
3.1.3.2. Dosimétrie bague.....	36
3.1.4. CONCLUSION.....	38
<b>3.2. Bilan des expositions internes.....</b>	<b>40</b>
3.2.1. ELEMENTS DE CONTEXTE.....	40
3.2.1.1. Les secteurs d'activité.....	40
3.2.1.2. Mise en œuvre de la surveillance.....	40
3.2.1.3. Méthodologie et hypothèses retenues.....	41
3.2.2. BILAN GENERAL.....	41
3.2.2.1. Surveillance de routine.....	41
3.2.2.2. Surveillance spéciale ou la surveillance de contrôle.....	42
3.2.2.3. Estimations dosimétriques.....	43
3.2.3. BILAN PAR SECTEUR D'ACTIVITE.....	50
3.2.3.1. Industrie nucléaire.....	51

3.2.3.2. Activités du CEA .....	54
3.2.3.3. Médecine et recherche .....	54
3.2.3.4. Défense .....	55
3.2.4.  EVOLUTIONS PAR RAPPORT AUX DEUX ANNEES PRECEDENTES .....	56
3.2.4.1. Evolution dans le cadre de la surveillance de routine .....	56
3.2.4.2. Evolution dans le cadre des surveillances spéciale ou de contrôle.....	59
3.2.4.3. Evolution des estimations dosimétriques .....	59
3.2.5.  CONCLUSION .....	60
<b>3.3. Dépassements des limites annuelles réglementaires de dose.....</b>	<b>62</b>
3.3.1.  BILAN DE L'ANNEE 2008.....	62
3.3.2.  EVOLUTION PAR RAPPORT AUX ANNEES PRECEDENTES (PERIODE 1996 - 2008).....	63
3.3.2.1. Evolution du nombre de travailleurs ayant reçu une dose efficace annuelle supérieure à 20 mSv	63
3.3.2.2. Evolution du nombre de travailleurs ayant reçu une dose efficace annuelle supérieure à 50 mSv	65
<b>4.  EXPOSITIONS DES TRAVAILLEURS A LA RADIOACTIVITE NATURELLE.....</b>	<b>66</b>
<b>4.1. Industries « NORM » .....</b>	<b>66</b>
4.1.1.  BILANS DES ETUDES REÇUES .....	66
4.1.2.  ETUDE ANALYSEE EN 2008.....	68
<b>4.2. Radon .....</b>	<b>68</b>
<b>4.3. Expositions aux rayonnements cosmiques .....</b>	<b>69</b>
<b>5.  PERSPECTIVES D'EVOLUTION DU BILAN ANNUEL DES EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES .....</b>	<b>70</b>
<b>6.  SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION .....</b>	<b>73</b>
<b>6.1. Evènements de radioprotection recensés par l'IRSN .....</b>	<b>73</b>
<b>6.2. Exemples d'incidents survenus en 2008 et ayant donné lieu à une expertise de l'IRSN .....</b>	<b>75</b>
6.2.1.  INCIDENTS DANS DES ETABLISSEMENTS HOSPITALIERS.....	75
6.2.2.  INCIDENT DANS UNE ENTREPRISE COMMERCIALISANT DES BOUTONS D'ASCENSEURS ..	75
6.2.3.  INCIDENT DANS UN ETABLISSEMENT DE RECHERCHE.....	75
<b>7.  CONCLUSIONS .....</b>	<b>77</b>
<b>8.  REFERENCES .....</b>	<b>79</b>
<b>ANNEXE I : PANORAMA DES TECHNIQUES ACTUELLEMENT UTILISEES EN FRANCE POUR LA SURVEILLANCE DES TRAVAILLEURS EXPOSES AUX RAYONNEMENTS IONISANTS.....</b>	<b>81</b>
<b>1. SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION EXTERNE .....</b>	<b>81</b>
<b>1.1. Dosimétrie externe passive.....</b>	<b>81</b>
1.1.1.  LES ORGANISMES IMPLIQUES.....	82
1.1.2.  LES DIFFERENTES TECHNIQUES .....	82
1.1.3.  LE SEUIL D'ENREGISTREMENT DES DOSES EXTERNES PASSIVES .....	83
<b>1.2. Dosimétrie des personnels navigants .....</b>	<b>84</b>
<b>2. SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION INTERNE.....</b>	<b>85</b>
<b>2.1. Les organisme impliqués dans la surveillance de l'exposition interne... 86</b>	<b>86</b>

<b>2.2. Les méthodes de mesure de contamination.....</b>	<b>86</b>
2.2.1. LES EXAMENS ANTHROPORADIAMETRIQUES .....	86
2.2.2. LES ANALYSES RADIOTOXICOLOGIQUES .....	86
<b>2.3. L'estimation dosimétrique de la dose interne .....</b>	<b>87</b>
<b>2.4. Les seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne.....</b>	<b>88</b>
<b>ANNEXE II : EXEMPLES D'ETUDES DE POSTE REALISEES PAR L'IRSN .....</b>	<b>91</b>
<b>1. ETUDE DOSIMETRIQUE DANS L'ENVIRONNEMENT D'INSTALLATIONS FIXES DE</b>	
<b>    RADIOGRAPHIE ENDO-BUCCALE .....</b>	<b>91</b>
<b>2. EVALUATION DE DEUX DISPOSITIFS MEDICAUX DE TOMOGRAPHIE VOLUMIQUE</b>	
<b>    UTILISES POUR LE DIAGNOSTIC DENTAIRE .....</b>	<b>92</b>
<b>3. EVALUATION DE LA CONTAMINATION ATMOSPHERIQUE DES SERVICES DE</b>	
<b>    MEDECINE NUCLEAIRE .....</b>	<b>92</b>

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

Tableau 1 - Bilan des doses externes passives - 2008.....	21
Tableau 2 - Bilan synthétique des doses externes passives - 2008 .....	22
Tableau 3 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires.....	44
Tableau 4 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques fécales.....	45
Tableau 5 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de prélèvements nasaux.....	46
Tableau 6 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques .....	47
Tableau 7 - Examens réalisées à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale ou de contrôle) .....	48
Tableau 8 - Estimations dosimétriques de la dose interne .....	49
Tableau 9 - Bilan détaillé des mesures anthroporadiométriques réalisées par EDF pour les travailleurs exposés des centrales nucléaires en 2008 .....	53
Tableau 10 - Principaux radionucléides émetteurs $\alpha$ , $\gamma$ et $\beta$ analysés par l'IRSN en 2008 .....	55
Tableau 11 - Evolution du nombre d'examens réalisés dans le cadre de la surveillance de routine entre 2006 et 2008.....	57
Tableau 12 - Evolution du nombre d'examens de routine réalisés dans l'industrie nucléaire (AREVA et EDF) entre 2006 et 2008 .....	57
Tableau 13 - Evolution du nombre d'examens de routine réalisés au CEA entre 2006 et 2008 .....	58
Tableau 14 - Evolution du nombre d'examens de routine réalisés dans le médical et la recherche entre 2006 et 2007.....	58
Tableau 15 - Evolution du nombre d'examens de routine réalisés dans le secteur de la défense entre 2007 et 2008.....	59
Tableau 16 - Bilan 2008 des doses individuelles annuelles reçues par les personnels navigants (compagnies Air France et Air Calédonie International) .....	69
Tableau 17 - Bilan des doses externes en 2008 suivant la nouvelle nomenclature .....	72
Tableau 18 - Evénements de radioprotection concernant les travailleurs en 2008 .....	74
Tableau I-1 - Panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2008 .....	84
Tableau I-2 - Limites de détection observées pour les principales techniques de dosimétrie interne mises en œuvre en France en 2007 .....	89
Figure 1 - Exemple de présentation graphique des résultats de l'intercomparaison en radiotoxicologie pour le strontium 90.....	11
Figure 2 - Fantôme anthropomorphe IGOR dans trois configurations : 50kg, 70kg et 90kg (Research and Technical Centre « Protection », Saint-Petersbourg) .....	12
Figure 3 - Le système SISERI .....	13
Figure 4 - Répartition par secteur d'activité des établissements ayant transmis des données de dosimétrie opérationnelle en 2008 .....	15
Figure 5 - Répartition par secteur d'activité des données de dosimétrie opérationnelle transmises à SISERI en 2008 .....	15
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.....	16
Figure 7 - Répartition par secteur d'activité des personnes compétentes en radioprotection (PCR) ayant accès à SISERI en 2008 .....	17
Figure 8 - Bilan synthétique des doses externes passives par domaines d'activité en 2008 (effectifs surveillés et doses collectives).....	23
Figure 9 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives dans le domaine médical et vétérinaire en 2008 (hors travailleurs suivis par le SPRA) .....	24
Figure 10 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives dans le domaine de l'industrie nucléaire en 2008.....	25
Figure 11 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives pour la dosimétrie des neutrons en 2008.....	28
Figure 12 - Evolution des effectifs surveillés et de la dose collective, de 1996 à 2008 .....	31
Figure 13 - Evolution des effectifs surveillés, par domaine d'activité, de 1996 à 2008 .....	32
Figure 14 - Evolution des doses collectives, par domaine d'activité, de 1996 à 2008 .....	32
Figure 15 - Evolution des effectifs surveillés et des doses collectives pour l'exposition spécifique aux neutrons de 2005 à 2008 .....	33

Figure 16 - Importance relative de la surveillance de l'exposition aux extrémités par dosimétrie « bague » ou « poignet » en 2008, suivant les domaines d'activité .....	34
Figure 17 - Répartition des effectifs surveillés et des doses enregistrées pour la dosimétrie au poignet en 2008 .....	35
Figure 18 - Répartition des effectifs surveillés et des doses enregistrées pour la dosimétrie bague en 2008.....	37
Figure 19 - Répartition des doses enregistrées pour la dosimétrie bague en 2008 pour les activités médicales et vétérinaires.....	37
Figure 20 - Nombre d'examens suivant le type d'analyses mises en œuvre pour assurer la surveillance de l'exposition interne dans les grands secteurs d'activité en 2008 (surveillance de routine).....	50
Figure 21 - Répartition des analyses réalisées dans les différentes entreprises du secteur nucléaire (surveillance de routine).....	51
Figure 22 - Répartition des analyses réalisées dans les établissements du CEA (surveillance de routine) .....	54
Figure 23 - Répartition des analyses réalisées au profit des personnels du ministère de la défense (surveillance de routine).....	56
Figure 24 - Evolution du nombre de travailleurs contaminés entre 2006 et 2008 .....	59
Figure 25 - Evolution de 1996 à 2008, du nombre de travailleurs surveillés dont la dose efficace annuelle est supérieure à 20 mSv.....	64
Figure 26 - Evolution de 1996 à 2008, du nombre de travailleurs surveillés dont la dose efficace annuelle est supérieure à 20 mSv, par domaines d'activité .....	64
Figure 27 - Evolution de 1996 à 2008, du nombre de travailleurs ayant reçu une dose efficace annuelle supérieure à 50 mSv .....	65
Figure 28 : Répartition des dossiers reçus selon les catégories d'activités professionnelles visées par les dispositions de l'arrêté du 25 mai 2005 .....	67
Figure 29 : Distribution des doses efficaces calculées pour les travailleurs .....	67
Figure I - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs .....	89
Figure II - Représentation des positions à 50 cm (1 à 8) et à 100 cm (9 à 16) autour du patient. Les zones hachurées vertes indiquent les positions favorables (risque d'exposition minimal), les zones oranges les positions à éviter et la zone rouge les positions fortement déconseillées (attention : ce code couleur ne correspond aucunement aux zones réglementaires de l'arrêté du 15 mai 2006).....	92

## PRINCIPALES ABREVIATIONS

ASN : Autorité de Sûreté Nucléaire  
ATPu : Atelier de Technologie du Plutonium  
CEA : Commissariat à l'Energie Atomique  
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  
LSDOS: Laboratoire de Surveillance Dosimétrique de l'IRSN  
MDT : Médecin du Travail  
MOX : oxyde mixte de plutonium et d'uranium  
OSL : Optically Stimulated Luminescence  
PCR : Personne Compétente en Radioprotection  
RNIPP : Répertoire National d'Identité des Personnes Physiques  
RPL : RadioPhotoLuminescent 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 1 700 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 2008. Conformément à l'article R. 4456-26 du code du travail, les niveaux d'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants sont analysés compte tenu notamment de la nature des activités professionnelles, et en rendant compte des difficultés rencontrées en matière de surveillance radiologique des travailleurs. Les annexes de ce document comportent un panorama des techniques actuellement utilisées en France pour la surveillance des travailleurs exposés, ainsi que la présentation d'exemples d'études de poste qui illustrent les activités d'expertise de l'IRSN dans ce domaine.

## 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 nucléaire.

---

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

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 2008, 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. Sur avis favorable de l'institut, ces organismes ont été agréés pour la première fois ou ont vu leur agrément renouvelé par décision de l'ASN.

#### **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 des résultats dans le but de vérifier la qualité des mesures de l'exposition. 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-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 rayonnement 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 la rédaction de ce bilan, le rapport de synthèse des résultats anonymisés obtenus par les laboratoires participants n'était pas encore publié.

La prochaine intercomparaison de ce type est envisagée en 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 2008, 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 2008 étaient les suivants :  $^{32}\text{P}$ ,  $^{35}\text{S}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{45}\text{Ca}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{125}\text{Sb}$  et  $^{129}\text{I}$ .

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 strontium 90 sont présentés sur la figure 1.

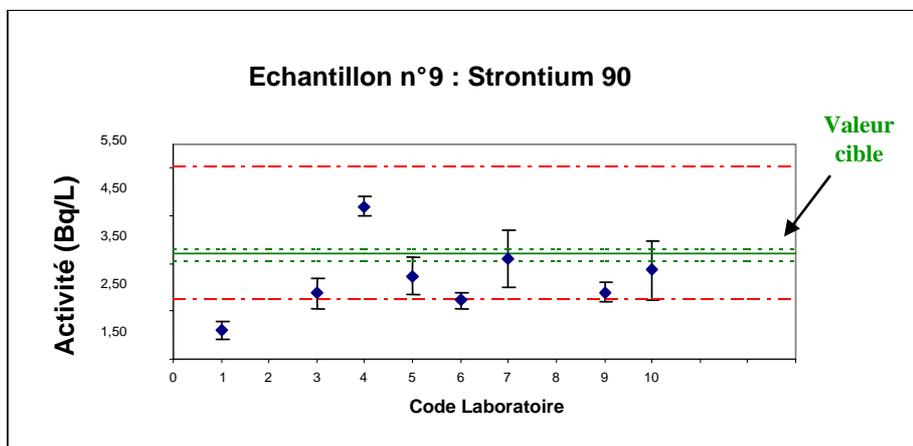


Figure 1 - Exemple de présentation graphique des résultats de l'intercomparaison en radiotoxicologie pour le strontium 90

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.

Les résultats des mesures réalisées par les participants se sont avérés satisfaisants, puisque 93 %

d'entre eux étaient dans les bornes de tolérance définies par la norme ISO 12790-1 [3].

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.

#### 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.

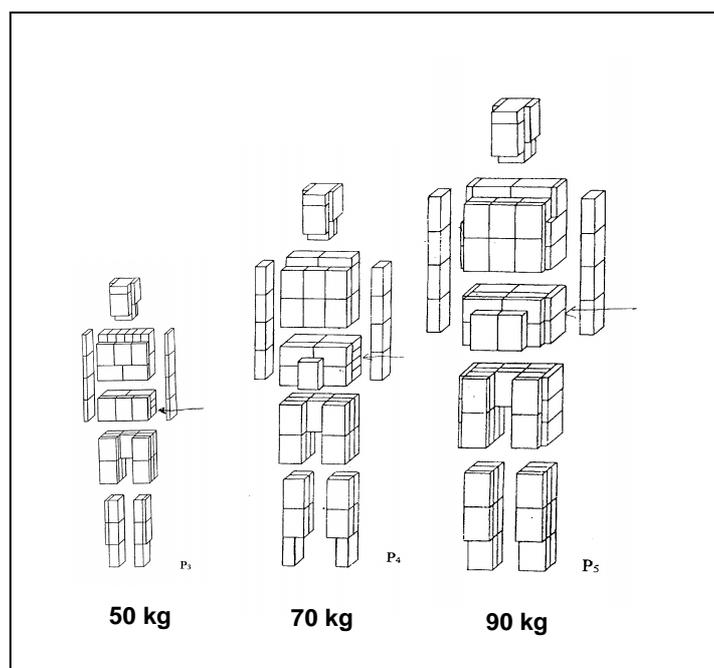


Figure 2 - Fantôme anthropomorphe IGOR dans trois configurations : 50kg, 70kg et 90kg (Research and Technical Centre « Protection », Saint-Petersbourg)

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 dans sa configuration 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 présentait soit des problèmes liés à l'utilisation du fantôme, soit des limites de détection supérieures à la valeur cible.

### 2.3. SYSTEME SISERI

Le système SISERI<sup>2</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 (figure 3).

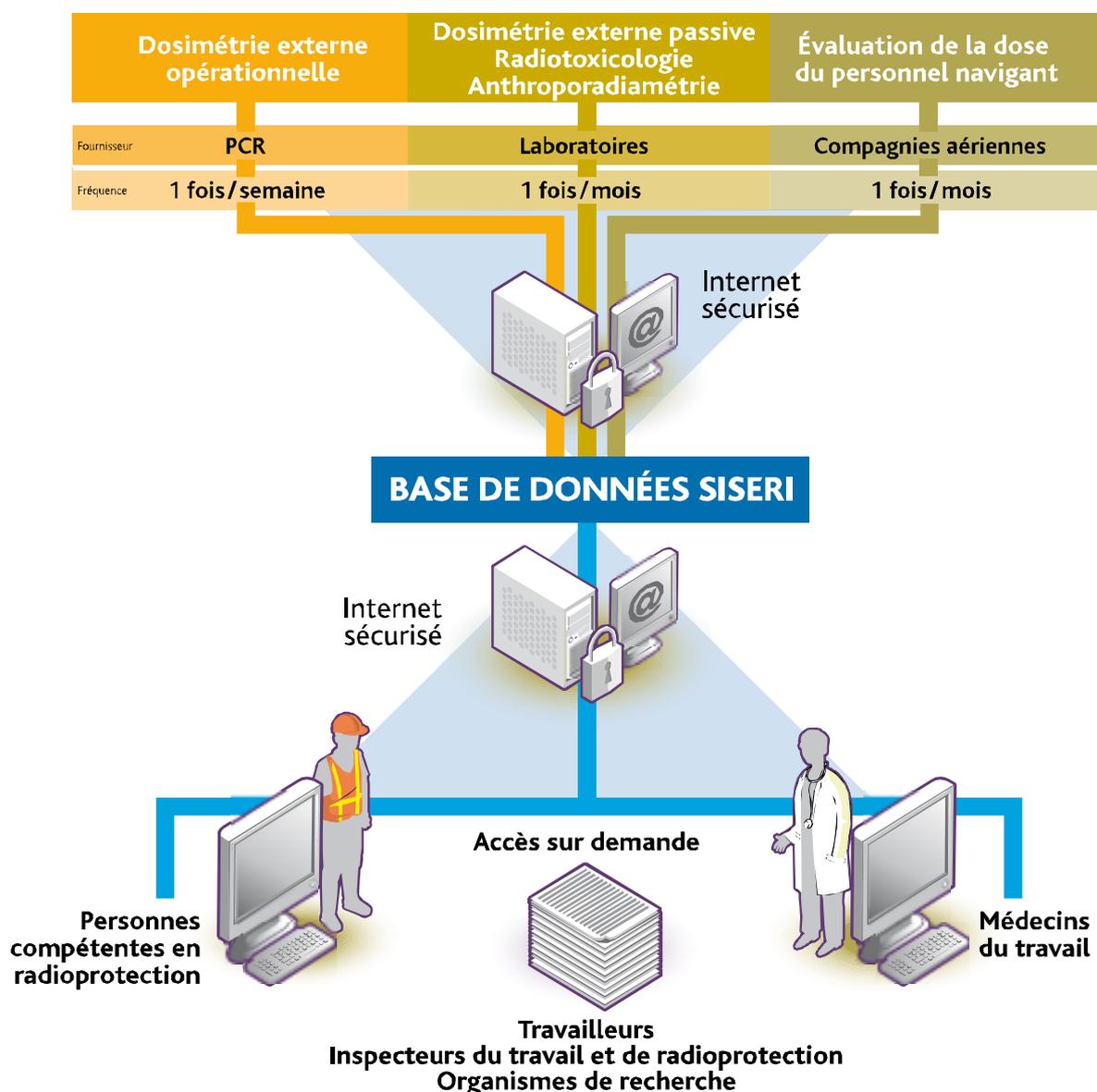


Figure 3 - Le système SISERI

<sup>2</sup> Système d'information de la surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants

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 : d'une part les résultats d'analyses radiotoxicologiques et d'exams anthroporadiométriques fournis par les Laboratoires d'Analyse de Biologie Médicale (LABM) ou les Services de Santé au Travail (SST), d'autre part, lorsque les circonstances le permettent, les doses internes calculées par les médecins du travail ;
- la dosimétrie du personnel navigant, dont les résultats sont transmis par les compagnies aériennes ([www.sievert-system.org](http://www.sievert-system.org)).

### 2.3.1. La transmission des données à SISERI en 2008

Les résultats individuels de la **dosimétrie externe passive** transmis mensuellement à SISERI par les laboratoires agréés représentent 2,4 millions de données pour 2008, soit une augmentation de plus de 9 % par rapport au volume observé en 2007. Les données sont rapidement intégrées dans la base dès lors qu'elles respectent les formats définis. En 2008, 77 % des données envoyées par les laboratoires ont été intégrées à leur réception, confirmant l'amélioration obtenue en 2007 (75 %) par rapport à 2006 (54 %). Alors que l'évolution notable observée entre 2006 et 2007 résultait d'efforts importants de l'IRSN pour faciliter l'intégration des données, la progression plus limitée depuis 2007 reflète les efforts consentis par les laboratoires pour fournir des données correctement identifiées. En effet, 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 70 %, en raison notamment d'un manque de complétude du numéro RNIPP<sup>3</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 2008 non intégrées représentaient 6 %, fin 2008. Il faut préciser que ces taux sont calculés sur les données effectivement transmises à SISERI et ne tiennent pas compte des éventuelles données non transmises par les laboratoires.

S'agissant de la **dosimétrie externe opérationnelle**, 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 2 470, fin 2008, soit une augmentation de 33 % par rapport au nombre de protocoles signés fin 2007.

---

<sup>3</sup> Répertoire National d'Identité des Personnes Physiques

Sur l'ensemble de l'année 2008, 595 établissements ont effectivement transmis au moins une donnée de dosimétrie opérationnelle, soit 27 % de plus qu'en 2007. Plus de 60 % de ces établissements appartiennent au secteur médical, près de 20 % à l'industrie non nucléaire et 6 % à celui de l'industrie nucléaire (figure 4).

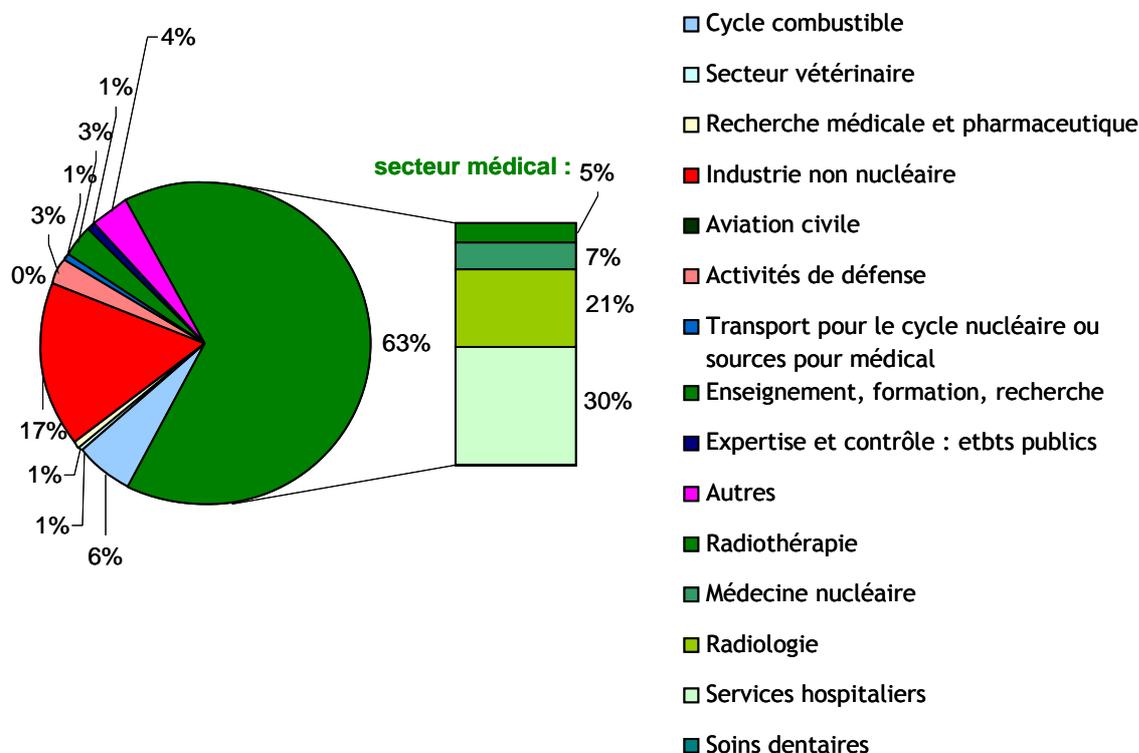


Figure 4 - Répartition par secteur d'activité des établissements ayant transmis des données de dosimétrie opérationnelle en 2008

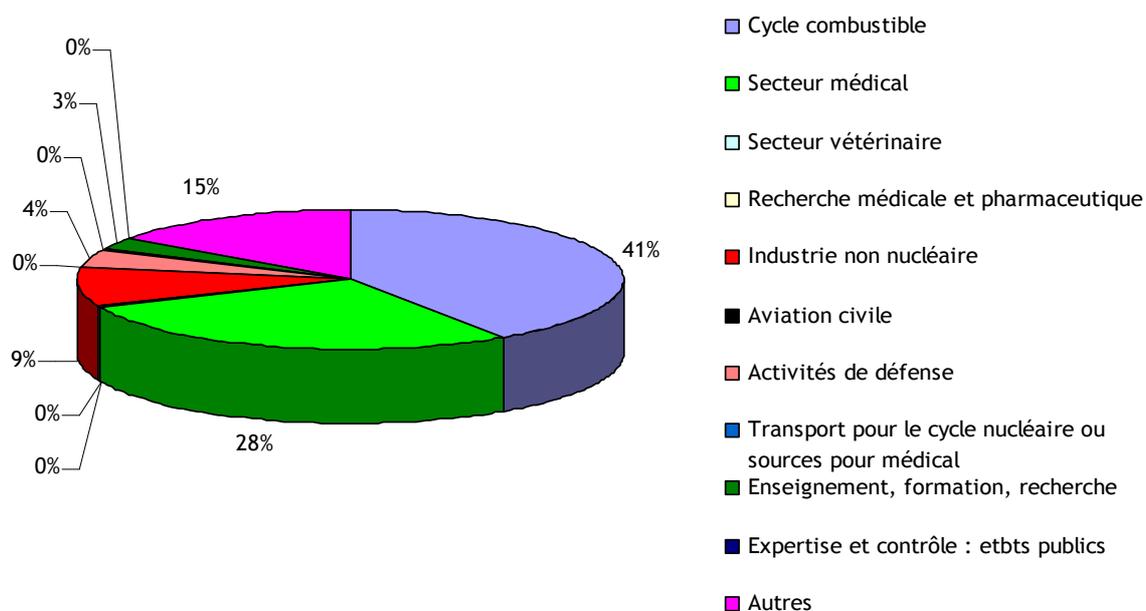


Figure 5 - Répartition par secteur d'activité des données de dosimétrie opérationnelle transmises à SISERI en 2008

Le nombre moyen de fichiers reçus mensuellement est de 1 470 pour l'année 2008, ce qui confirme l'augmentation observée en 2007. Au total 7,7 millions de valeurs de dose « opérationnelle » ont été enregistrées dans SISERI en 2008. Parmi ces données, près de la moitié proviennent des entreprises de l'industrie nucléaire, 28 % du secteur médical et 9 % de l'industrie non nucléaire (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.

En 2008, deux compagnies aériennes ont envoyé les résultats de la **dosimétrie des personnels navigants** à l'IRSN, pour intégration dans SISERI.

Enfin, les modalités de transmission des données de **dosimétrie interne** ont commencé à être 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. Les tests ont été réalisés au cours de l'année 2008, et les premiers envois de fichiers en conditions réelles ont été effectués début 2009.

### 2.3.2. La consultation des données de SISERI en 2008

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 (figure 6).

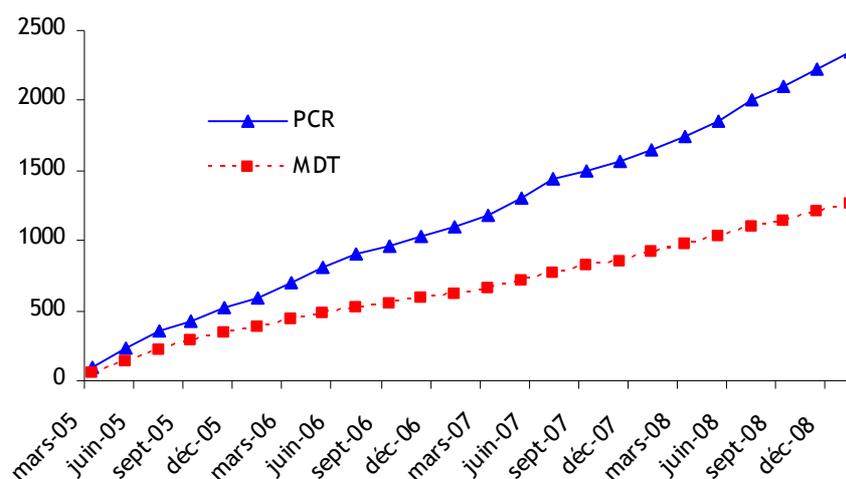
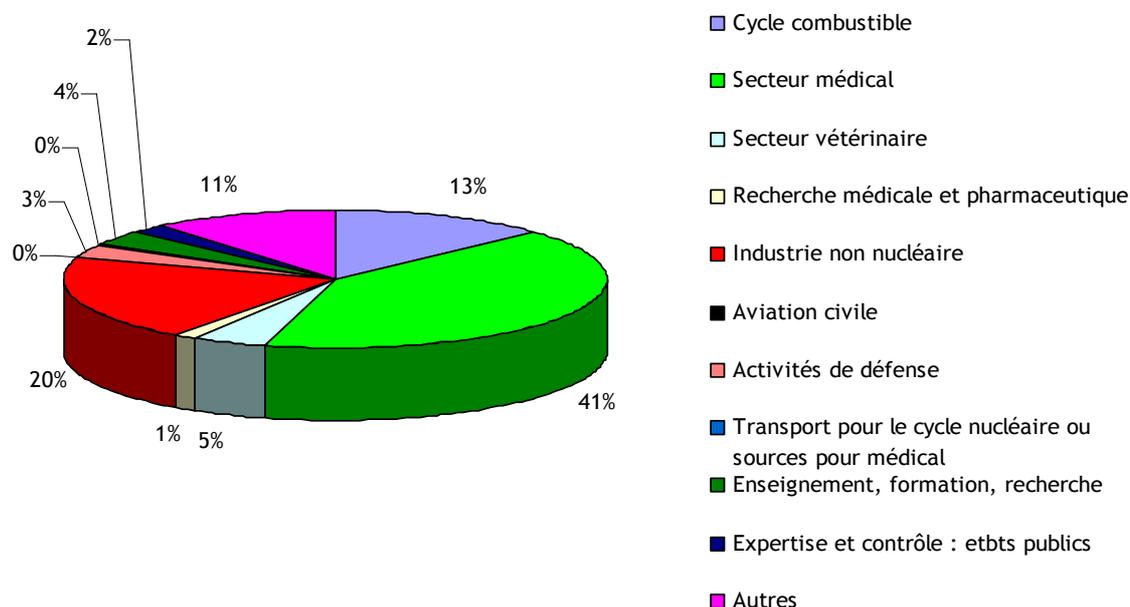


Figure 6 - Progression du nombre de personnes compétentes en radioprotection (PCR) et de médecins du travail (MDT) ayant accès à SISERI depuis sa mise en service

A la fin de l'année 2008, 1 257 MDT et 2 343 PCR avaient accès à SISERI, soit une augmentation respective de 32 % et de 37 %. Les PCR pouvant accéder à SISERI se répartissaient entre le secteur médical pour environ 40 %, le secteur industriel pour 20 % et l'industrie nucléaire pour 13 % (figure 7). Cette répartition marque une progression de la part du secteur médical, par rapport à celle observée fin 2007.

Une estimation a montré que 46 % des PCR et 15 % des MDT ayant un code d'accès à SISERI fin 2008 avaient consulté au moins une fois la base au cours du premier trimestre de l'année 2009. Ces chiffres démontrent que le système SISERI est loin d'être utilisé au maximum de son potentiel sur ce point.



**Figure 7 - Répartition par secteur d'activité des personnes compétentes en radioprotection (PCR) ayant accès à SISERI en 2008**

Au cours de l'année 2008, 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 en 2007 pour résoudre les difficultés identifiées au cours des deux premières années de son fonctionnement. Ces efforts engagés par l'IRSN pour mieux faire connaître SISERI à tous les acteurs impliqués dans la chaîne de surveillance (depuis les responsables des établissements où travaillent les individus jusqu'aux laboratoires de surveillance dosimétrique, sans oublier les inspecteurs chargés sur le terrain de faire respecter les exigences réglementaires) ont permis un meilleur fonctionnement du système et l'augmentation progressive du taux d'intégration des données.

### **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 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]), 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) :

- IRSN (LSDOS<sup>4</sup>, laboratoires du Vésinet et de Fontenay-aux-Roses)
- LCIE-LANDAUER (Fontenay-aux-Roses)
- DOSILAB SARL<sup>5</sup> (Meaux)
- IPHC<sup>6</sup> (Strasbourg)
- IPN<sup>7</sup> (Orsay)
- AREVA NC (laboratoires de La Hague et de Marcoule)
- 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 2008 est considéré dans l'effectif surveillé par chaque laboratoire.

Le bilan des expositions professionnelles pour l'année 2008 est établi à partir des doses externes individuelles annuelles transmises sous forme agrégée par les laboratoires de surveillance dosimétrique : effectifs des travailleurs par grands secteurs d'activité professionnelle, doses collectives (somme des doses individuelles reçues par un groupe de personnes) correspondantes et répartition des travailleurs par classes de doses.

Les données transmises par le SPRA sont intégrées 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.

---

<sup>4</sup> Laboratoire de Surveillance DOSimétrique

<sup>5</sup> ex COMET France

<sup>6</sup> Institut Pluridisciplinaire Hubert CURIEN

<sup>7</sup> Institut de Physique Nucléaire d'Orsay

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

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 et seuil bas de délimitation de la zone surveillée, art. R4452-1 du Code du travail) ;
- 6 mSv/an (seuil bas de la catégorie A des travailleurs exposés, art. R4453-1 du Code du travail et seuil bas de délimitation de la zone contrôlée, art. R4452-1 du Code du travail) ;
- 15 mSv/an (ancien seuil bas de délimitation de la zone contrôlée) ;
- 20 mSv/an (limite sur 12 mois consécutifs de la somme des doses efficaces reçues par exposition externe et interne applicable aux travailleurs exposés, art. R4451-12 du Code du travail) ;
- 50 mSv/an (ancienne valeur de la limite réglementaire pour les travailleurs exposés).

L'une des difficultés majeures qui se pose pour l'établissement de ce bilan est d'affecter les travailleurs surveillés aux activités professionnelles réellement exercées. En pratique, chaque travailleur est affecté au secteur professionnel auquel est rattachée son entreprise. Or, une même entreprise peut couvrir plusieurs secteurs d'activité. Par exemple, de nombreuses entreprises spécialisées dans les examens non destructifs (contrôles gammagraphiques de soudures) interviennent aussi bien dans le secteur nucléaire que dans des installations de l'industrie non nucléaire (les raffineries, le BTP...). Ces entreprises sont le plus souvent répertoriées dans le secteur de l'industrie non nucléaire pour l'affectation des résultats de la dosimétrie passive alors qu'une partie importante de la dose collective des travailleurs exposés dans ce secteur est attribuable à des travaux effectués par ces travailleurs dans les installations nucléaires de base (INB) pour le compte des exploitants.

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 encore diminuer par la suite, en fonction des résultats d'enquêtes validant ou invalidant les doses mesurées.

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

- un abaissement du seuil d'enregistrement a pour effet une augmentation des effectifs dont la dose n'est pas nulle ;
- 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 ;

---

<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 dispositifs, pour la mesure de l'exposition « corps entier » (Cf. ANNEXE I, tableau I-1).

- la période de port des dosimètres<sup>10</sup> peut également entraîner des variations d'évolution des statistiques dosimétriques annuelles. Ainsi, des valeurs d'équivalents de dose inférieures au seuil d'enregistrement du dosimètre sur un mois d'exposition sont assimilées à des doses nulles, mais peuvent être positives dans le cas d'une période de port plus importante du fait du cumul des expositions.

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.

### 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 présente par secteur d'activité ou par établissement, à partir des éléments fournis par les laboratoires de dosimétrie, le nombre de travailleurs concernés pour chacune des classes de dose<sup>11</sup> présentées ci-dessus ainsi que la dose collective.

Le nombre de travailleurs surveillés par dosimétrie externe passive en 2008 est de 306 629 soit 12 782 travailleurs de plus qu'en 2007, ce qui correspond à une augmentation de 4,3 %.

La dose collective s'élève à 52,36 homme.Sv en 2008, soit une diminution de 7,8 % par rapport à 2007.

La dose individuelle annuelle moyenne est de 0,17 mSv, soit en légère diminution par rapport à 2007 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 0,79 mSv, également en diminution par rapport à la valeur de 0,89 mSv obtenue en 2007.

95,7 % des travailleurs ont une dose annuelle inférieure à la limite réglementaire d'exposition du public, soit 1 mSv/an. Plus de 80 % d'entre eux n'ont reçu aucune dose au cours de l'année (doses mesurées inférieures au seuil d'enregistrement) ; 3,7 % ont enregistré une dose annuelle comprise entre 1 et 6 mSv et 0,6 % ont enregistré une dose annuelle comprise entre 6 et 20 mSv. Enfin, 16 travailleurs ont enregistré une dose supérieure à 20 mSv. La répartition des travailleurs par classes de doses est identique à celle de 2007.

Il convient de remarquer que la répartition des travailleurs surveillés dans les différents secteurs d'activité ou établissements a été faite plus précisément que pour les années passées, ce qui se

<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<sub>p</sub>(10) mesurés par les dosimètres passifs.

traduit par une forte diminution du nombre de travailleurs classés dans la rubrique « Divers » (de l'ordre de 50 %) et peut rendre délicates les comparaisons avec les années précédentes.

**Tableau 1 - Bilan des doses externes passives - 2008**

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	110 408	89 183	19 294	1 761	145	17	6	2	11,01
2	Radiothérapie	8 920	7 146	1 547	213	13	1	0	0	1,02
3	Médecine nucléaire	3 346	2 307	701	335	3	0	0	0	0,97
4	Sources non scellées in vitro	4 170	4 064	100	5	0	1	0	0	0,07
5	Médecine dentaire	32 073	29 881	2 098	90	4	0	0	0	0,93
6	Médecine du travail	7 774	6 290	1 358	119	7	0	0	0	0,68
7	Médecine vétérinaire	15 137	14 214	876	45	2	0	0	0	0,34
8	Industrie non nucléaire	34 374	23 173	7 494	2 857	830	13	5	2	10,79
9	Recherche	4 866	4 277	565	23	1	0	0	0	0,25
10	Divers	16 038	14 029	1 778	222	7	2	0	0	1,13
11	EDF (agents)	19 705	12 915	4 824	1 949	17	0	0	0	5,76 <sup>(b)</sup>
12	AREVA NC La Hague <sup>(c)</sup>	6 704	4 547	1 272	731	154	0	0	0	3,73
13	AREVA NC Marcoule <sup>(d)</sup>	3 978	3 178	614	186	0	0	0	0	0,57
14	MELOX (AREVA NC)	1 082	557	213	255	57	0	0	0	1,34
15	CEA	6 370	5 957	348	65	0	0	0	0	0,27
16	IPN Orsay	2 751	2 596	129	26	0	0	0	0	0,08
17	« Entreprises extérieures » <sup>(e)</sup> (suivi IRSN)	9 019	7 238	1 180	507	93	1	0	0	2,51
18	« Entreprises extérieures » <sup>(e)</sup> (suivi LCIE)	8 001	3 541	2 513	1 562	365	19	1	0	8,50
19	IPHC (Strasbourg)	611	602	9	0	0	0	0	0	0,00
20	Défense (militaires et DCNS)	8 884	3 653	4 966	263	2	0	0	0	1,93
20 bis	Médical (SPRA)	1 943	778	1 113	51	1	0	0	0	0,44
21	Administrations	159	158	1	0	0	0	0	0	0,00
22	Divers industrie nucléaire (ANDRA, ...)	56	55	0	1	0	0	0	0	0,00
23	Entreprises de transport	260	179	77	4	0	0	0	0	0,03
	<b>Total</b>	<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>52,36</b>
	<i>Rappel des résultats de 2007</i>	<b>293 876</b>	<b>230 021</b>	<b>51 797</b>	<b>10 382</b>	<b>1 609</b>	<b>35</b>	<b>26 <sup>(f)</sup></b>	<b>6 <sup>(f)</sup></b>	<b>56,83</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) Ces chiffres ne tiennent pas compte des résultats d'enquête envoyés directement à l'IRSN par les médecins du travail.

### 3.1.2.1.2. Contribution des neutrons

En 2008, la dosimétrie des neutrons a concerné 28 987 travailleurs (pour 25 280<sup>12</sup> travailleurs en 2007). La dose collective « neutrons » est de 1,23 homme.Sv (pour 1,15 homme.Sv en 2007), les activités réalisées dans l'établissement de Melox contribuant pour 61 % à cette dose.

La dose collective due aux neutrons représente seulement 2,3 % de la dose collective totale (toutes composantes de rayonnements confondues).

La dose individuelle maximale enregistrée pour cette composante de rayonnement est égale à 9 mSv.

### 3.1.2.2. Analyses par domaine d'activité

#### 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. A partir de ces regroupements (Cf. tableau 2), il est possible de considérer quatre grands domaines regroupant respectivement les activités médicales et vétérinaires, les activités réalisées dans le cadre de l'industrie nucléaire, les activités réalisées dans le cadre de l'industrie non nucléaire, et celles de recherche et d'expertise.

**Tableau 2 - Bilan synthétique des doses externes passives - 2008**

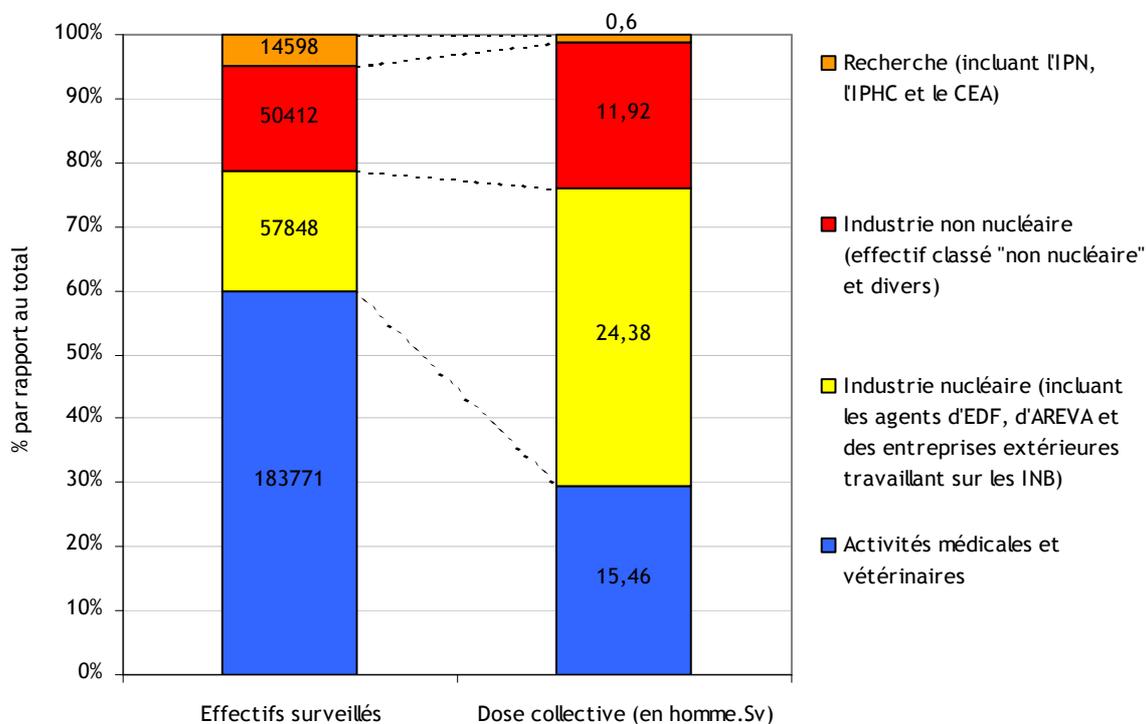
Rubriques <sup>a</sup>	Secteur d'activité ou établissement	Travailleurs surveillés	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne <sup>(b)</sup> (mSv)	Effectifs dont la dose individuelle annuelle est supérieure à 20 mSv	Répartition des effectifs par Intervalles de dose <sup>(b)</sup>					
						< 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	183 771	15,46	0,08	8	180 950	2 619	175	19	6	2
11,12,13,14 17,18,20,21 22,23	Industrie nucléaire	57 848	24,38	0,42	1	51 681	5 458	688	20	1	0
8,10	Industrie (effectif classé "non nucléaire"), divers	50 412	11,92	0,24	7	46 474	3 079	837	15	5	2
9,15,16,19	Recherche, IPN, IPHC, CEA	14 598	0,60	0,04	0	14 483	114	1	0	0	0
	<b>Total</b>	<b>306 629</b>	<b>52,36</b>	<b>0,17</b>	<b>16</b>	<b>293 588</b>	<b>11 270</b>	<b>1 701</b>	<b>54</b>	<b>12</b>	<b>4</b>

<sup>a</sup> Cf. rubriques du tableau 1

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

<sup>12</sup> Cette valeur tient compte de la correction du chiffre publié dans le rapport DRPH/DIR/2008-11 à la suite d'une valeur erronée transmise par un laboratoire de dosimétrie lors de l'établissement du bilan 2007.

La figure 8 (issue du tableau 2) illustre les inégalités importantes dans la distribution des doses pour ces 4 grands domaines d'activité. Par exemple, bien que 60 % des effectifs surveillés soient employés dans le domaine des activités médicales et vétérinaires, ce domaine ne représente que le quart de la dose collective totale.



**Figure 8 - Bilan synthétique des doses externes passives par domaines d'activité en 2008 (effectifs surveillés et doses collectives)**

En 2008, le domaine d'activité qui emploie le plus grand nombre de travailleurs surveillés au plan dosimétrique est, comme en 2007, celui des activités médicales et vétérinaires, avec 183 771 travailleurs (soit 60 % des effectifs surveillés).

L'industrie nucléaire représente le cinquième de l'effectif total et près de la moitié de la dose collective totale. L'industrie non nucléaire représente 23 % 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 à 0,1 mSv). A l'opposé, les travailleurs de l'industrie nucléaire ont les doses les plus élevées en moyenne (de l'ordre de 0,4 mSv par an), suivis des travailleurs de l'industrie non nucléaire avec une dose individuelle moyenne de 0,24 mSv.

- *Activités médicales et vétérinaires*

- La majorité des travailleurs surveillés est employée dans le domaine médical et vétérinaire (183 771 travailleurs, soit 60 % de l'effectif total), avec en tête le secteur de la radiologie médicale<sup>13</sup>

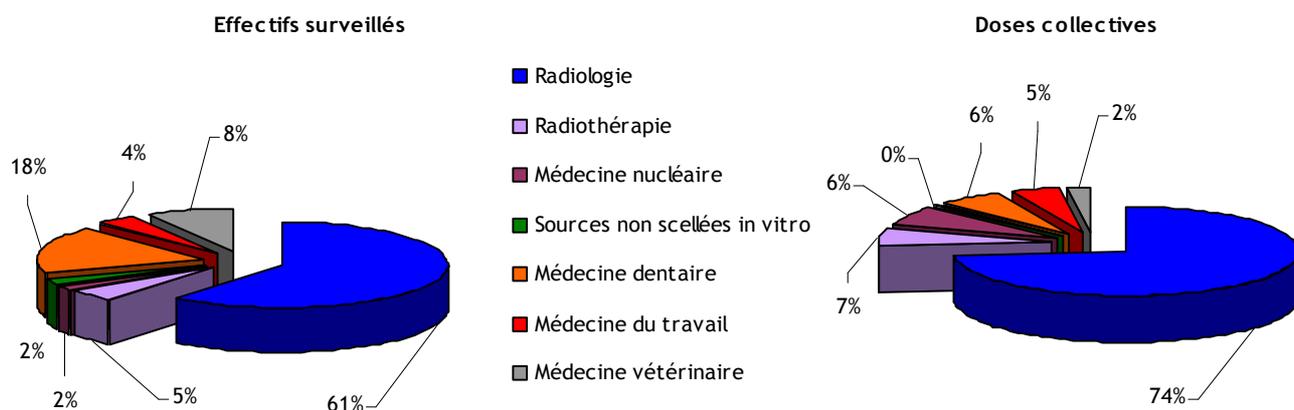
<sup>13</sup> La radiologie médicale regroupe les techniques de radiologie conventionnelle, de mammographie, de scanographie et de radiologie interventionnelle. Des installations de radiodiagnostic existent aussi dans le secteur vétérinaire.

(110 408 travailleurs, soit 36 % de l'effectif total). Ce secteur représente en effet 61 % des effectifs surveillés de ce domaine et contribue à hauteur de 74 % à sa dose collective.

- o 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 avec des neutrons, au centre de neutronthérapie d'Orléans, ou par protonthérapie, à Orsay et à Nice. Au total, le secteur de la radiothérapie représente 5 % des effectifs du domaine médical surveillés et apporte 7 % de la dose collective du domaine.

- o 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. 2 % des travailleurs du domaine médical appartiennent à ce secteur et leur contribution à la dose collective s'élève à 6 %.

La figure 9 présente la répartition des effectifs surveillés et des doses collectives par secteur d'activité dans le domaine médical et vétérinaire (hors travailleurs suivis par le SPRA pour lesquels le secteur précis d'activité n'est pas connu).



**Figure 9 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives dans le domaine médical et vétérinaire en 2008 (hors travailleurs suivis par le SPRA)**

- *Industrie nucléaire*

L'industrie nucléaire recouvre l'ensemble des étapes du cycle du combustible (principalement AREVA NC, agents et prestataires) et l'exploitation des réacteurs de production d'électricité (EDF, agents et prestataires). Ce domaine d'activité, dont le périmètre est défini d'après les libellés d'affectation fournis par les laboratoires de surveillance dosimétrique, regroupe 57 848 travailleurs enregistrant une dose collective de 24,38 homme.Sv. La figure 10 donne la répartition des effectifs surveillés et des doses collectives par secteur d'activité.

Pour les raisons précisées précédemment (Cf. § 3.1.1), les doses de certains personnels d'entreprises extérieures classées dans l'industrie non nucléaire ne sont pas comptabilisées dans le domaine du

nucléaire, ce qui contribue sans doute à sous-estimer la dose collective attribuable à des travaux effectués dans les installations nucléaires de base (INB).

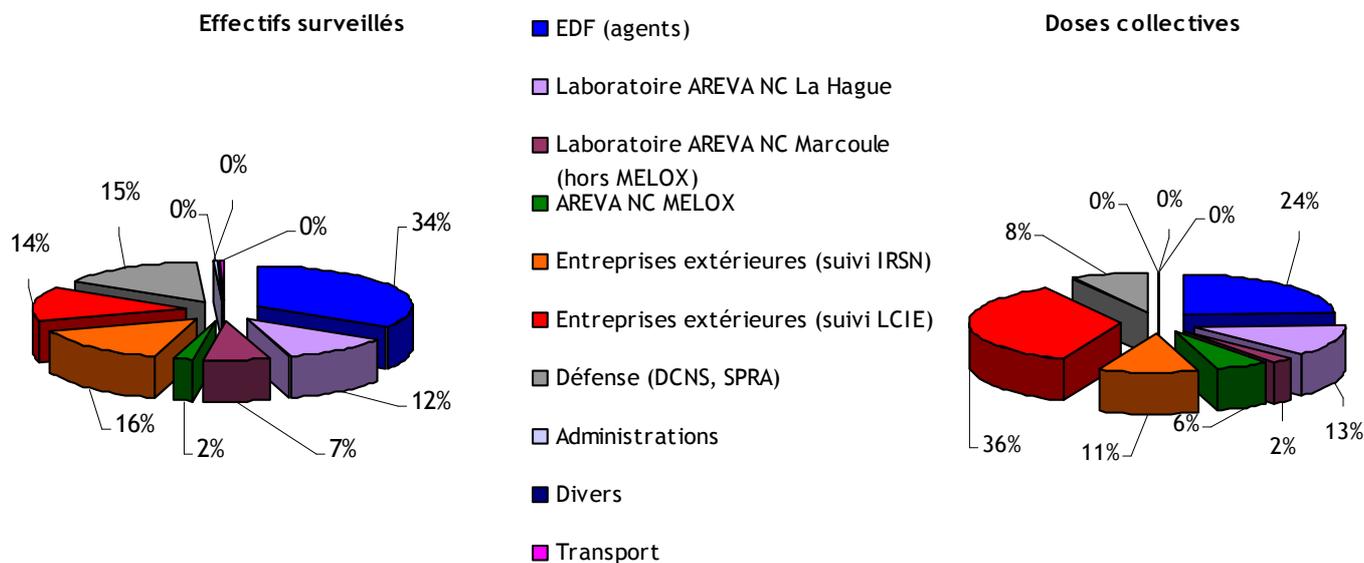


Figure 10 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives dans le domaine de l'industrie nucléaire en 2008

- Le laboratoire d'AREVA NC La Hague a la charge de la surveillance dosimétrique des personnels de l'usine de retraitement des combustibles irradiés mais aussi des unités AREVA NC Cadarache (CFCa), AREVA NP Romans (production d'assemblages de combustibles, FBFC Romans<sup>14</sup>), AREVA NC Rokkasho<sup>15</sup> et de plusieurs entreprises extérieures. L'établissement d'AREVA NC La Hague compte à lui seul 3 054 travailleurs surveillés et la dose maximale annuelle enregistrée est de 3,7 mSv en 2008. La dose collective de ces travailleurs est faible (0,11 homme.Sv). Les unités d'AREVA NC Cadarache comptent 150 travailleurs surveillés par le laboratoire de La Hague, pour une dose collective de 0,15 homme.Sv et une dose individuelle maximale égale à 9,1 mSv. Les entreprises extérieures dont les effectifs sont surveillés par le laboratoire de La Hague sont plus nombreuses en 2008, avec environ 2 500 travailleurs supplémentaires. Cette augmentation des effectifs est due à la « business unit » consacrée à l'assainissement, qui est impliquée dans les opérations de démantèlement et de maintenance. La dose collective correspondant à cet effectif supplémentaire s'élève à 3,25 homme.Sv, soit 87 % de la dose collective totale enregistrée par le laboratoire. La dose annuelle individuelle maximale enregistrée par le laboratoire pour l'ensemble des établissements surveillés est égale à 12,95 mSv et concerne un travailleur employé par une entreprise extérieure.
- Le laboratoire d'AREVA NC Marcoule assure la surveillance dosimétrique des personnels des établissements de Marcoule<sup>16</sup>, Miramas et Pierrelatte, des établissements Comurhex et SICN, ainsi que de l'usine Melox. Sur les 5 060 travailleurs surveillés, seuls des travailleurs de Melox (57 travailleurs) enregistrent des doses annuelles supérieures à 6 mSv, aucune dose ne dépassant 10

<sup>14</sup> Franco-Belge de Fabrication du Combustible, filiale d'AREVA NP

<sup>15</sup> 8 travailleurs de l'établissement Rokkasho au Japon sont suivis en 2008 par le laboratoire AREVA de la Hague.

<sup>16</sup> La surveillance des personnels des centres CEA Valrhô de Marcoule et de Pierrelatte est assurée par le laboratoire AREVA NC de Marcoule. Placé sous la responsabilité de la société COGEMA à partir de 1976, le site de Marcoule a, de nouveau depuis le 17 mars 2006, le CEA comme responsable et exploitant nucléaire. Dans ce cadre, le CEA a recruté plus de 250 salariés d'AREVA NC chargés de la protection du site, de la sûreté, de la radioprotection et du contrôle environnemental.

mSv. La dose collective est égale à 1,91 homme.Sv, l'établissement de Melox y contribuant à 70 %. L'usine Melox fabrique des assemblages combustibles MOX destinés à alimenter les réacteurs à eau légère de différents pays. La dosimétrie associée à l'établissement évolue en fonction de la variation de sa capacité de production.

- Le parc nucléaire d'EDF compte 34 tranches (ou réacteurs) de 900 MWe<sup>17</sup>, 20 tranches de 1 300 MWe<sup>18</sup> et 4 tranches N4 de 14 150 MWe. La plus ancienne de ces tranches a été couplée au réseau en avril 1977. Un réacteur est en phase de conception (EPR site de Flamanville) et neuf réacteurs s'inscrivent dans un programme de déconstruction (EL4D, Bugey 1, Chinon A1, Chinon A2D, Chinon A3D, Chooz A, Saint Laurent A1, Saint Laurent A2 et Superphénix). La dose collective à EDF s'établit à 5,76 homme.Sv pour 19 705 agents surveillés. La dose individuelle annuelle moyenne correspondante est égale à 0,29 mSv. Il convient de préciser que ces doses n'incluent pas la composante "neutron", le résultat de la dosimétrie neutron d'EDF n'étant pas précisé dans le bilan statistique fourni par le laboratoire de dosimétrie.

- Les entreprises extérieures intervenant pour le compte d'exploitants nucléaires, telles qu'identifiées par les laboratoires de LCIE-LANDAUER et de l'IRSN, totalisent 17 020 travailleurs, soit 8 % de plus qu'en 2007, avec une dose collective de 11,01 homme.Sv et une dose individuelle annuelle moyenne de 0,65 mSv. La dose individuelle annuelle maximale est égale à 25,4 mSv et constitue un dépassement de la limite annuelle réglementaire de 20 mSv (Cf. § 3.3). Près de 5 % des travailleurs des « Entreprises extérieures (suivi LCIE) » ont reçu des doses supérieures à 6 mSv au cours de l'année 2008 alors que, tous secteurs d'activité confondus, ils ne sont que 0,6 % à être dans ce cas. Les opérations réalisées par les travailleurs concernés (notamment les calorifugeurs, les monteurs d'échafaudages, ...) peuvent en effet s'accompagner d'expositions relativement importantes.

- Dans le domaine de l'industrie nucléaire, ont également été incluses les activités de transport (essentiellement le transport de matières dangereuses de classe 7, matières radioactives), la propulsion navale, les administrations et les entreprises de contrôles techniques, ainsi que des entreprises de gestion des déchets (ANDRA<sup>19</sup>), ... Ces différentes activités ont été distinguées de rubriques plus générales (« entreprises extérieures », « divers », « autres ») à partir de 2005 par le laboratoire de l'IRSN en charge de leur surveillance dosimétrique. Depuis 2007, le bilan inclut le personnel de la défense<sup>20</sup> suivi par le SPRA. Il convient de rappeler ici que dans le bilan 2008, on distingue parmi les effectifs suivis par le SPRA les personnels répartis entre les 9 Hôpitaux d'Instruction des Armées (HIA), qui sont comptabilisés dans les statistiques des activités médicales et vétérinaires, et les autres personnels, comptés dans le domaine de l'industrie nucléaire.

- *Industrie non nucléaire*

<sup>17</sup> 6 CP0, 18 CP1 et 10 CP2 (CP : Contrat de programme, il s'agit à chaque fois d'une série de tranches de 900 MW semblables, le palier CP0 correspondant à la présérie et donc aux plus anciens Réacteurs à Eau sous Pression encore en activité).

<sup>18</sup> 8 P4 et 12 P'4 (il s'agit à chaque fois d'une série de tranches de 1 300 MW semblables, le palier P'4 présentant une optimisation des bâtiments par rapport au palier P4).

<sup>19</sup> Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs

<sup>20</sup> Les données fournies englobent également le bilan du personnel hospitalier du Service de santé des armées répartis entre les 9 Hôpitaux d'Instruction des Armées (HIA), soit 974 travailleurs surveillés totalisant une dose collective de 0,22 homme.Sv en 2006 qui n'est pas distingué du reste du personnel de la défense en 2007.

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 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 2008, 50 412 travailleurs surveillés ont totalisé une dose collective de 11,92 homme.Sv. La dose individuelle annuelle moyenne pour ce domaine est de 0,24 mSv. Une baisse importante des effectifs est observée, qui n'est pas due à une baisse des activités dans ce domaine mais à la réaffectation dans un secteur d'activité plus précis d'un certain nombre de travailleurs précédemment classés dans la catégorie « Divers ». Sept travailleurs de l'industrie non nucléaire enregistrent une dose individuelle annuelle supérieure à 20 mSv. Une dose supérieure à 50 mSv a été enregistrée chez deux d'entre eux, la dose maximale étant égale à 231 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.

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 (Cf. § 3.1.1).

- *Activités de recherche*

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

Les 14 598 travailleurs surveillés dans le domaine de la recherche en 2008 totalisent une dose collective de 0,60 homme.Sv. Les doses individuelles annuelles sont très faibles dans ce domaine, avec une valeur moyenne de 0,04 mSv.

En 2008, l'effectif des agents du CEA surveillés par le laboratoire LSDOS de l'IRSN s'élève à 6 370 travailleurs. Sous cet intitulé « CEA » sont regroupés les personnels des centres CEA civils de Cadarache, Saclay, Fontenay-aux-Roses et Grenoble, des centres CEA DAM<sup>21</sup> d'Ile de France, du CESTA, de Valduc et du Ripault. La dose collective correspondante est de 0,27 homme.Sv et la dose individuelle annuelle moyenne de 0,04 mSv. La dose annuelle individuelle maximale est égale à 4,9 mSv.

---

<sup>21</sup> Direction des Applications Militaires

L'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay (2 751 travailleurs surveillés) et l'Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien<sup>22</sup> (611 travailleurs surveillés) assurent le suivi de la dosimétrie de leurs personnels respectifs. Leurs effectifs surveillés présentent des doses faibles ; seuls 26 travailleurs ont reçu des doses supérieures à 1 mSv à l'IPN et aucun à l'IPHC. La dose annuelle individuelle maximale est égale à 1,85 mSv.

### 3.1.2.2.2. Contribution des neutrons

La figure 11 présente la répartition, entre les quatre grands domaines d'activité, des effectifs surveillés et des doses collectives pour la dosimétrie des neutrons en 2008.

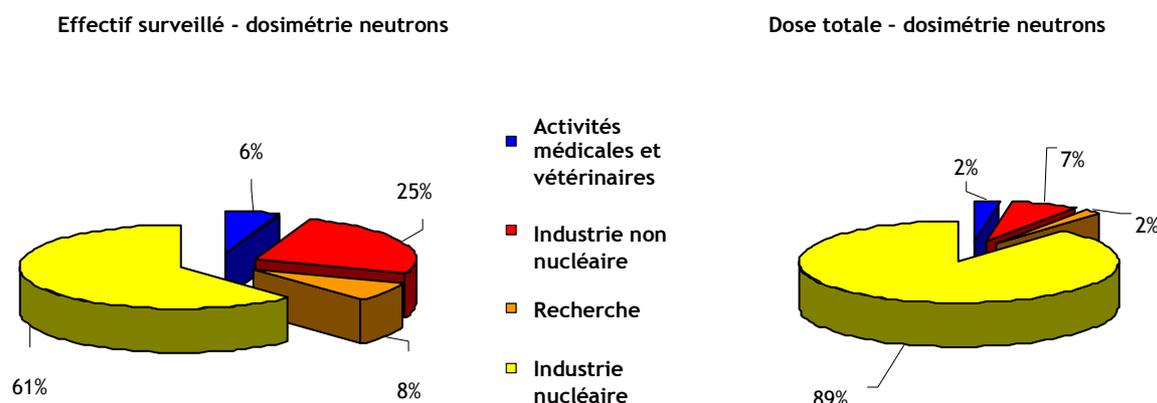


Figure 11 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives pour la dosimétrie des neutrons en 2008

Les informations transmises concernant la dosimétrie des neutrons en 2008 sont regroupées ci-après par laboratoire de dosimétrie.

- o Laboratoire de l'IPN d'Orsay

La plupart des laboratoires de recherche dont l'IPN assure la surveillance sont des unités propres ou associées au CNRS. Le risque d'exposition externe aux neutrons est essentiellement présent auprès des accélérateurs et dans les laboratoires du département PNC (Physique Nucléaire et Corpusculaire) et plus particulièrement ceux de l'IN2P3 (Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules), des Sciences Chimiques (en particulier, le Centre d'Etudes et de Recherche par Irradiation à Orléans) ou sur des sites à l'étranger, par exemple le CERN. Le Centre de

<sup>22</sup> Créé le 1er janvier 2006, l'Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien (IPHC) est une unité mixte de recherche (UMR 7178) du CNRS et de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg (ULP). Il regroupe trois laboratoires du campus de Strasbourg-Cronenbourg dont l'Institut de Recherches Subatomiques (IREs), laboratoire de l'IN2P3 (Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules) dont les domaines de recherche sont la physique fondamentale de l'infiniment petit (noyau et particules), ainsi que des recherches connexes ou dérivées (chimie nucléaire, aval du cycle électronucléaire, mesures environnementales, recherche et développement en microélectronique).

Protonthérapie d'Orsay (secteur médical hors du CNRS) est également concerné par la dosimétrie des neutrons.

Parmi les 2 751 travailleurs surveillés par l'IPN d'Orsay, 678 disposent d'une dosimétrie spécifique aux neutrons.

En 2008, aucun des travailleurs surveillés n'a enregistré une dose annuelle neutrons supérieure à 1 mSv, la dose individuelle maximale due à cette composante étant égale à 0,65 mSv.

La dose collective correspondante s'élève à 3,0 homme.mSv pour 2008, soit 3 fois moins qu'en 2007 pour un nombre de travailleurs sensiblement équivalent (la surveillance de l'exposition aux neutrons concernait 730 travailleurs en 2007).

- Laboratoire AREVA NC La Hague

Les 6 704 travailleurs surveillés par le laboratoire AREVA NC La Hague ont tous une dosimétrie neutrons au niveau de la poitrine. En 2008, 2 157 d'entre eux ont reçu une dose totale (neutrons + photons) supérieure au seuil d'enregistrement (dont 276 travailleurs de l'établissement AREVA NC La Hague, 72 travailleurs de l'établissement d'AREVA NC Cadarache et 1 512 travailleurs des entreprises extérieures) ; 220 travailleurs ont reçu une dose neutrons supérieure au seuil d'enregistrement (dont 55 travailleurs de l'établissement AREVA NC La Hague, 61 travailleurs de l'établissement d'AREVA NC Cadarache et 103 travailleurs des entreprises extérieures).

La dose collective totale (neutrons + photons) est de 3 730,5 homme.mSv en 2008. La contribution de la composante neutronique est de 241,5 homme.mSv, soit environ 6,5 % de la dose collective totale.

La dose individuelle maximale due à aux neutrons enregistrée est de 8 mSv en 2008.

- Laboratoire AREVA NC Marcoule

Les 5 060 travailleurs dont la surveillance est assurée par le laboratoire AREVA NC Marcoule font également tous l'objet d'une dosimétrie neutrons au niveau de la poitrine. Les établissements de Marcoule, de Pierrelatte, de Comurhex et de Melox enregistrent des doses neutrons supérieures au seuil d'enregistrement, respectivement pour 4, 9, 22 et 155 travailleurs.

La composante neutronique représente respectivement 0,4 et 1,4 % de la dose collective des établissements de Marcoule et de Pierrelatte et 1 % de celle des établissements Comurhex, mais 56 % de celle de l'établissement de Melox ; ceci s'explique notamment par le fort taux d'émission neutronique du combustible MOX (oxyde mixte de plutonium et d'uranium) fabriqué à Melox. La dose individuelle maximale due aux neutrons est de 5,15 mSv en 2008 (valeur relevée sur l'établissement de Melox).

- Laboratoire LCIE-LANDAUER

7 271 travailleurs ont fait l'objet d'une dosimétrie neutrons au niveau de la poitrine en 2008 (ils étaient 7 228 en 2007). La dose collective correspondante s'élève à 127,9 homme.mSv (pour 85 homme.mSv en 2007). La dose individuelle maximale enregistrée est égale à 5,5 mSv, dans l'industrie non nucléaire.

Les statistiques concernant la dosimétrie des neutrons pour les effectifs d'EDF n'ont pas été transmises par le laboratoire.

- Laboratoire de l'IRSN

7 255 travailleurs ont fait l'objet d'une dosimétrie neutrons en 2008. La dose collective correspondante est égale à 43,7 homme.mSv. La dose annuelle individuelle maximale due à une exposition aux neutrons est égale à 1,1 mSv.

Il convient de signaler une erreur dans les chiffres transmis pour l'établissement du bilan 2007 présenté dans le rapport DRPH/DIR/2008-11 [14]. Les valeurs corrigées pour 2007 sont les suivantes : 6 620 travailleurs avaient fait l'objet d'une surveillance de l'exposition aux neutrons et la dose collective correspondante s'élevait à 84,5 homme.mSv, avec une dose individuelle maximale égale à 17 mSv.

- Laboratoire du SPRA

Parmi le personnel surveillé du ministère de la défense, soit 8 747 travailleurs, 2 018 travailleurs ont fait l'objet d'une dosimétrie neutrons, soit 23 % (ils étaient 19 % en 2007). Cette surveillance est très dépendante du secteur d'activité : 1,5 % des effectifs seulement en bénéficient dans le secteur médical et 29 % dans les autres secteurs.

La dose collective correspondant à la dosimétrie neutrons est de 0,5 homme.mSv dans le secteur médical et de 77,1 homme.mSv dans le secteur de la défense proprement dit (soit respectivement 0,1 % et 5 % de la dose collective totale prenant en considération toutes les composantes de rayonnements).

La dose individuelle maximale enregistrée est de 0,9 mSv.

### **3.1.2.3. Evolutions par rapport aux années précédentes**

Les résultats du bilan de l'année 2008 sont analysés ci-après par 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]).

#### **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 2008.

Sur cette période, l'effectif total surveillé a augmenté de 230 385 à 306 629 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. Entre 2007 et 2008, les effectifs augmentent de 4,3 % tandis que la dose collective diminue de 7,9 %, ce qui confirme la tendance globale à la baisse observée depuis 1996 pour la dose collective. Rappelons qu'en 2007 la dose collective avait augmenté de 9 %, en grande partie du fait de la diminution des seuils d'enregistrement des doses.

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, en 2008 ceci n'est plus vrai et l'augmentation observée indique une réelle progression du nombre de travailleurs suivis. A noter qu'en 2008, les données concernant les travailleurs suivis par le SPRA et intervenant dans le milieu médical ont été dissociées des autres données du secteur de la défense, ce qui a permis un transfert de cet effectif vers le secteur médical (il était précédemment inclus dans le secteur de l'industrie nucléaire car agrégé aux données concernant les travailleurs du secteur de la défense). Il en est de même pour les doses associées.

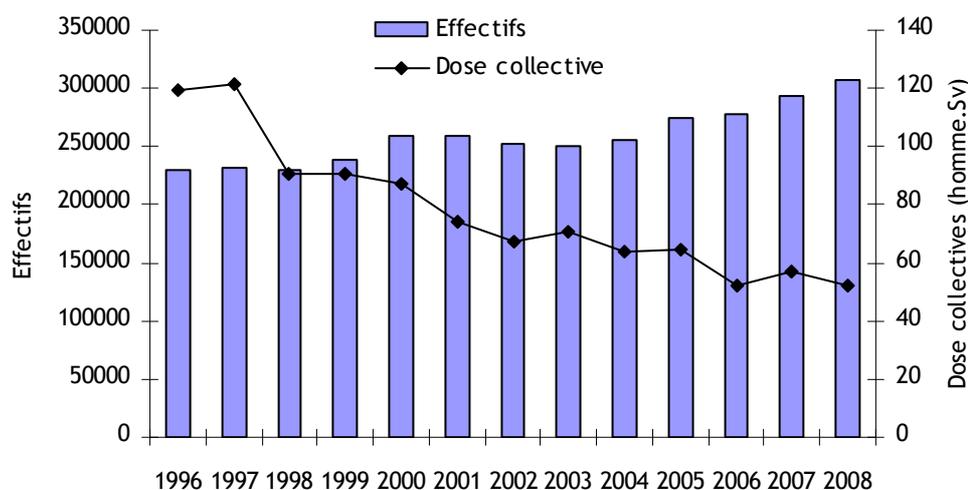


Figure 12 - Evolution des effectifs surveillés et de la dose collective, de 1996 à 2008

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 légère augmentation. 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>23</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).

L'année 2008 marque une 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

<sup>23</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).

appartenance à un secteur d'activité précisée en 2008, en étant pour une grande part reclassée dans les secteurs du domaine médical.

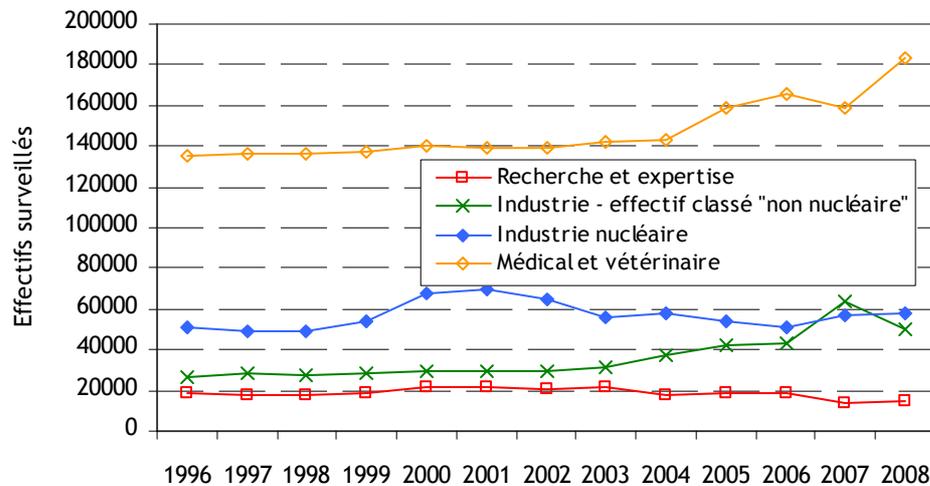


Figure 13 - Evolution des effectifs surveillés, par domaine d'activité, de 1996 à 2008

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

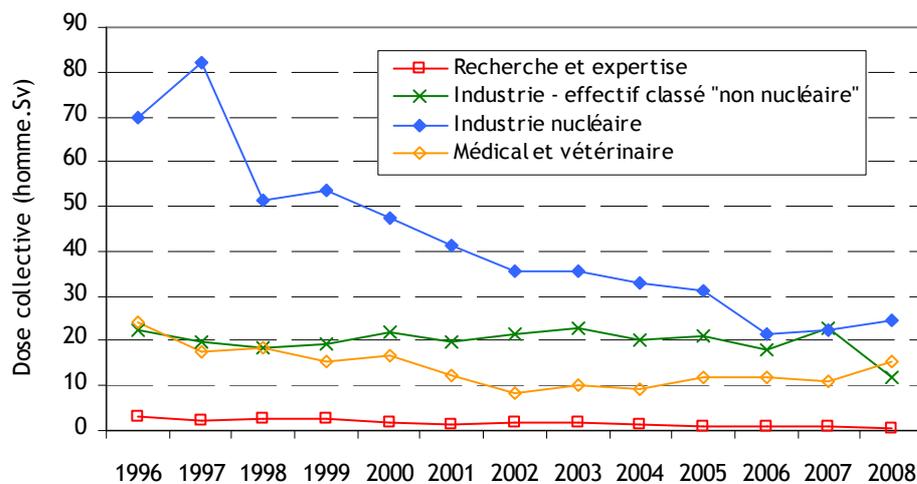


Figure 14 - Evolution des doses collectives, par domaine d'activité, de 1996 à 2008

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 semble se confirmer en 2008. Après une baisse régulière, la dose collective dans le domaine des activités médicales et vétérinaires augmente nettement en 2008. Cette augmentation est en partie due au report d'une grande partie des effectifs classés dans la rubrique « Divers » dans ce domaine. Ces travailleurs étaient alors comptabilisés dans le secteur de l'industrie non nucléaire, pour lequel on observe en 2008 la diminution 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. Les effectifs surveillés sont en augmentation de 15 % entre 2007 et 2008 (figure 15). Rappelons que le nombre de travailleurs surveillés indiqué pour 2007 tient compte de la correction faite par rapport au chiffre figurant dans le rapport 2007 (Cf. § 3.1.2.1.2).

Il convient également de rappeler que ces effectifs n'incluent pas les personnels d'EDF (Cf. § 3.1.2.2.2).

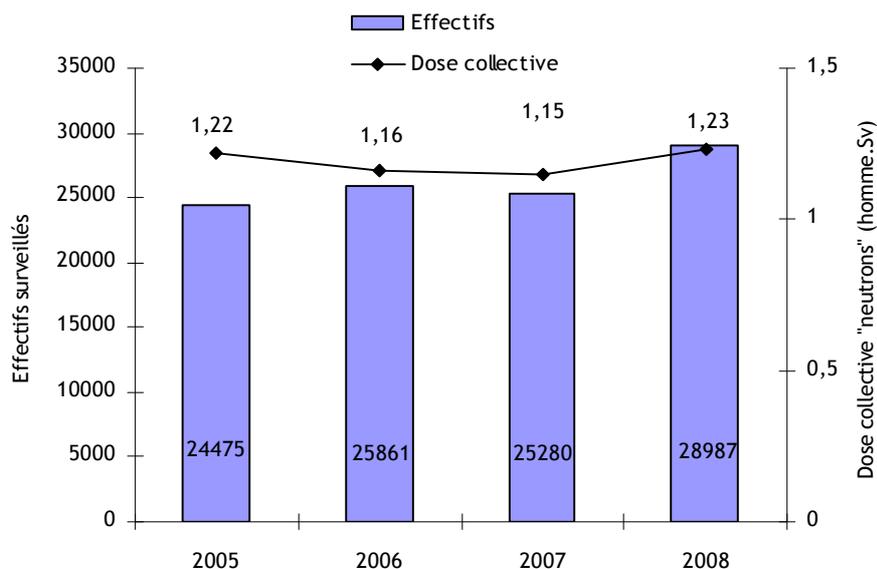


Figure 15 - Evolution des effectifs surveillés et des doses collectives pour l'exposition spécifique aux neutrons de 2005 à 2008

### 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 maximale reçue aux extrémités doit permettre de vérifier le respect de la limite réglementaire.

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

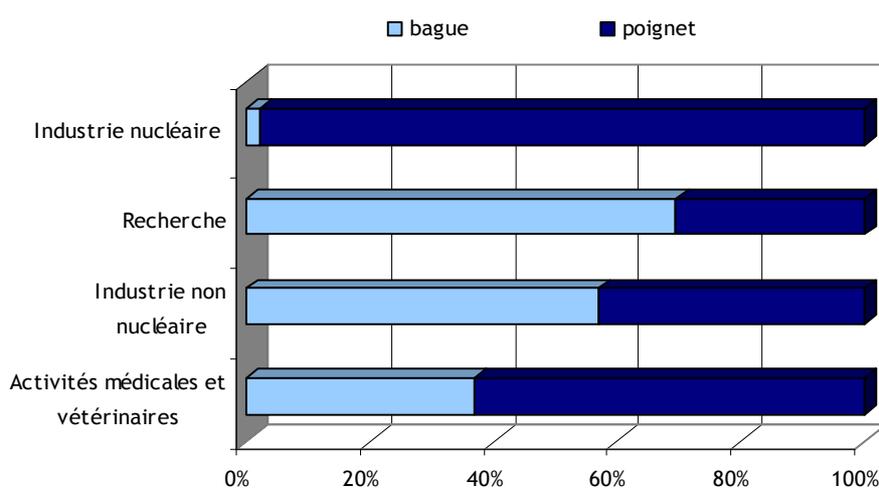


Figure 16 - Importance relative de la surveillance de l'exposition aux extrémités par dosimétrie « bague » ou « poignet » en 2008, suivant les domaines d'activité

### 3.1.3.1. Dosimétrie poignet

En 2008, la dosimétrie au poignet montre une dose totale de 27,8 Sv pour 13 136 travailleurs surveillés (ils étaient 14 528 travailleurs surveillés en 2007 et leur dose totale s'élevait à 30,8 Sv).

La figure 17 illustre la répartition du nombre de travailleurs surveillés et des doses reçues en 2008.

Si près de la moitié des travailleurs surveillés par une dosimétrie au poignet appartient au domaine des activités médicales et vétérinaires, le domaine industriel contribue aux deux tiers de la dose totale en 2008.

Aucune dose enregistrée sur un dosimètre au poignet n'est supérieure à la limite réglementaire. La dose individuelle maximale est de 238 mSv et concerne un travailleur de la radiologie médicale.

Les informations transmises en 2008 pour ce qui concerne la dosimétrie au poignet sont regroupées ci-après par laboratoire.

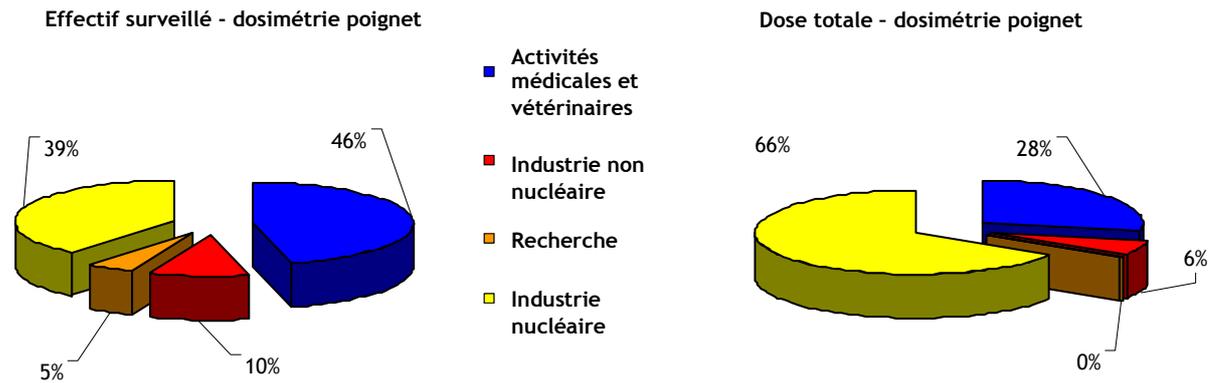


Figure 17 - Répartition des effectifs surveillés et des doses enregistrées pour la dosimétrie au poignet en 2008

o Laboratoire de l'IPN d'Orsay

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

La dosimétrie d'extrémités au poignet a concerné 123 travailleurs en 2008. 28 d'entre eux présentent une dose individuelle annuelle supérieure au seuil d'enregistrement et au maximum égale à 5 mSv, soit une dose très inférieure à la limite réglementaire de 500 mSv. La dose totale pour l'effectif surveillé s'établit à 25,3 mSv.

Les informations communiquées par le laboratoire de l'IPN permettent de noter que parmi les 74 agents dont les dosimètres (poignet et bague confondus) ont enregistré une dose aux extrémités, un tiers, soit 26 travailleurs, ont subi à la fois une exposition au niveau de l'organisme entier et des extrémités.

o Laboratoire de l'IPHC

L'effectif total surveillé pour la dosimétrie des extrémités au poignet est de 34 travailleurs ; parmi ceux-ci, un seul présente une dose annuelle supérieure au seuil d'enregistrement, égale à 0,4 mSv.

o Laboratoire DOSILAB

La dosimétrie d'extrémités au poignet a concerné 297 travailleurs en 2008. La dose totale correspondante s'élève à 376,4 mSv. La dose individuelle annuelle maximale est de 64,2 mSv (relevée en radiologie médicale).

o Laboratoire AREVA NC La Hague

La dosimétrie au poignet a concerné 2 586 travailleurs en 2008, soit près de 40 % de l'ensemble des travailleurs surveillés. 713 d'entre eux ont reçu une dose individuelle annuelle supérieure au seuil d'enregistrement et la dose totale aux extrémités est de 1,87 Sv. La dose individuelle maximale est de 56,1 mSv. Ces chiffres sont en augmentation par rapport à l'année précédente : en 2007,

467 travailleurs sur les 2 271 bénéficiant d'une dosimétrie poignet avaient reçu une dose individuelle annuelle supérieure au seuil d'enregistrement et la dose totale aux extrémités était de 1,29 Sv, avec une dose individuelle maximale égale à 39 mSv.

- Laboratoire AREVA NC Marcoule

La dosimétrie d'extrémités au poignet a été mise en œuvre pour 1 899 agents dont 844 ont reçu des doses supérieures au seuil d'enregistrement. La dose totale aux extrémités pour ces 844 travailleurs est de 15,8 Sv (l'établissement de Melox contribuant pour près de 99 % à la dose totale). La dose individuelle annuelle maximale enregistrée au poignet est de 111,9 mSv pour un agent de l'établissement de Melox. L'IRSN souligne toutefois que les doses mesurées au niveau du poignet sont sensiblement inférieures à celles qui sont reçues au niveau des doigts, lesquelles ne sont pas mesurées en routine en raison de la contrainte que constitue le port d'une bague pour l'opérateur. Des études ont été initiées par l'exploitant afin de déterminer les facteurs correctifs à appliquer aux mesures au niveau du poignet pour s'assurer que les doses plus importantes reçues aux doigts des travailleurs respectent bien les limites réglementaires.

- Laboratoire LCIE-LANDAUER

La dosimétrie d'extrémités au poignet a concerné 2 681 travailleurs en 2008. La dose totale pour l'effectif s'élève à 3,9 Sv. La dose individuelle annuelle maximale est égale à 238 mSv (secteur de la radiologie médicale).

- Laboratoire de l'IRSN

En 2008, 5 036 travailleurs ont fait l'objet d'une dosimétrie au poignet. La dose totale de l'effectif s'élève à 5,3 Sv et la dose individuelle annuelle maximale enregistrée s'élève à 87,6 mSv (en radiologie médicale).

- Laboratoire du SPRA

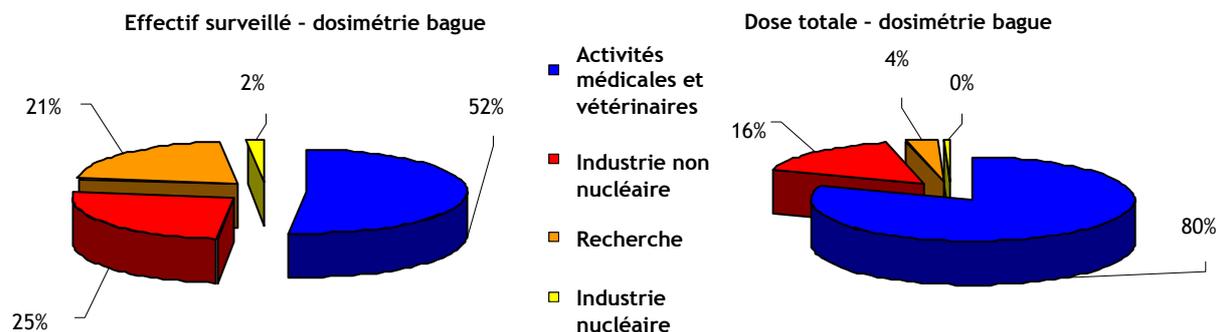
Parmi le personnel de la défense surveillé en 2008 par le Service de Protection Radiologique des Armées, 480 personnes ont fait l'objet d'une dosimétrie poignet, dont 186 dans le secteur médical. La dose totale de ces effectifs s'établit à 343,8 mSv pour le secteur médical et à 181,2 mSv pour le secteur de la défense. La dose individuelle annuelle maximale enregistrée s'élève à 43,5 mSv dans le secteur médical et à 19,6 mSv dans le secteur de la défense.

### **3.1.3.2. Dosimétrie bague**

La dose totale pour la dosimétrie bague (ou des doigts) est de 53,6 Sv pour 6 900 travailleurs surveillés en 2008 (ils étaient 6 771 travailleurs surveillés en 2007 et leur dose totale s'élevait à 46 Sv).

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

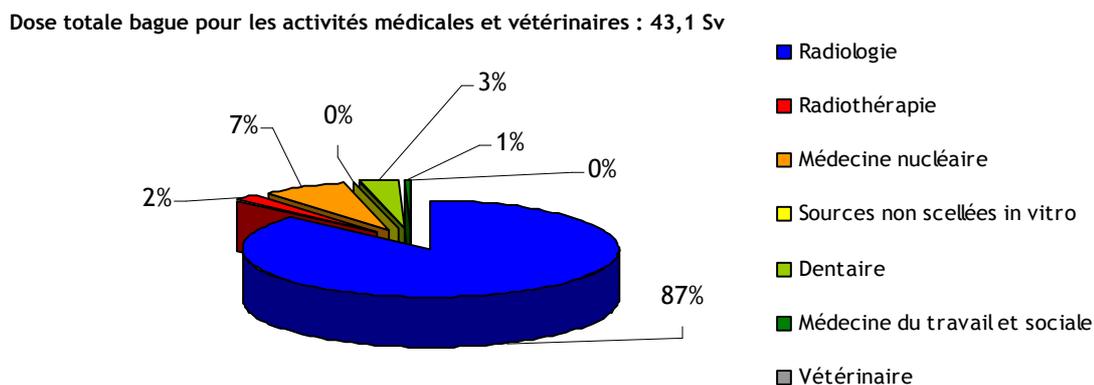
La figure 18 illustre la répartition du nombre de travailleurs surveillés et des doses reçues en 2008 pour la dosimétrie badge.



**Figure 18 - Répartition des effectifs surveillés et des doses enregistrées pour la dosimétrie badge en 2008**

Le domaine des activités médicales et vétérinaires contribue pour 80 % à la dose totale.

La figure 19 illustre la répartition des doses reçues en 2008 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 2008, un dépassement de la limite de 500 mSv sur la dosimétrie badge a été recensé dans ce secteur avec une valeur de 507 mSv enregistrée par cumul sur 12 mois, le travailleur concerné exerçant dans deux établissements différents. A noter que le graphe de la figure 19 n'inclut pas de données concernant les travailleurs du secteur médical suivi par le SPRA car le port de dosimètres badges n'a été introduit qu'en 2009 dans les hôpitaux d'instruction des armées (HIA).



**Figure 19 - Répartition des doses enregistrées pour la dosimétrie badge en 2008 pour les activités médicales et vétérinaires**

Les informations transmises en 2008 pour ce qui concerne la dosimétrie badge sont regroupées ci-après par laboratoire.

- Laboratoire de l'IPN d'Orsay

La dosimétrie des doigts a concerné 265 travailleurs en 2008, 46 d'entre eux présentant une dose individuelle annuelle supérieure au seuil d'enregistrement, avec une valeur maximale de 3,3 mSv. La dose totale de l'effectif surveillé s'établit à 26,3 mSv.

- Laboratoire DOSILAB

La dosimétrie des doigts a concerné 437 travailleurs en 2008. La dose totale correspondante s'élève à près de 3 Sv. 314 travailleurs présentent une dose individuelle annuelle comprise entre le seuil d'enregistrement et 150 mSv. Deux travailleurs ont enregistré une dose supérieure à 150 mSv, la dose maximale égale à 427,1 mSv ayant été reçue dans le secteur de la radiologie médicale.

- Laboratoire LCIE-LANDAUER

La dosimétrie d'extrémités doigt a concerné 1 214 travailleurs en 2008. 1 618 d'entre eux présentent une dose individuelle annuelle comprise entre le seuil d'enregistrement et 150 mSv. Dix-huit travailleurs présentent une dose annuelle comprise entre 150 mSv et 500 mSv (16 en radiologie médicale et 2 dans l'industrie non nucléaire). Enfin, un dépassement de la limite réglementaire a été enregistré dans le secteur de la radiologie médicale, avec une dose égale à 507 mSv. La dose totale de l'effectif surveillé s'établit à 29,9 Sv.

- Laboratoire de l'IRSN

Les travailleurs ayant fait l'objet d'une surveillance à l'aide d'une bague en 2008 sont au nombre de 3 367. Parmi eux, 1 406 présentent une dose individuelle annuelle comprise entre le seuil d'enregistrement et 150 mSv. Dix travailleurs présentent une dose annuelle comprise entre 150 mSv et 500 mSv (5 en radiologie médicale, 3 dans le secteur dentaire et 2 dans la rubrique « Divers »). La dose totale pour l'effectif s'élève à 20,7 Sv. La dose individuelle annuelle maximale enregistrée est égale à 338 mSv.

### **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 2008 est de 306 629 travailleurs, en hausse de +4,3 % par rapport à 2007. Cette progression régulière du nombre de travailleurs surveillés en France s'inscrit dans la continuité depuis l'année 2003, en rappelant qu'une partie de cette augmentation est due à la prise en compte de données issues de laboratoires (Dosilab, SPRA) non inclus dans les bilans les plus anciens.

La dose collective correspondante est égale à 52,36 Sv, ce qui représente une baisse de 7,8 % par rapport à 2007. La diminution des doses collectives amorcée depuis la fin des années 90 est notamment due à la mise en application de la directive européenne 96/29/Euratom (1996) transposée en mars 2003 dans la réglementation française.

La dose individuelle annuelle moyenne est égale à 0,17 mSv sur l'ensemble des 306 629 travailleurs surveillés. Elle a diminué par rapport à l'année précédente dans le secteur de l'industrie non nucléaire, mais a légèrement augmenté dans celui du nucléaire, deux secteurs où les doses individuelles moyennes sont les plus élevées. Rappelons que les effectifs de l'industrie non nucléaire ont été modifiés entre 2007 et 2008 du fait du reclassement d'une part importante des travailleurs de la rubrique « Divers » vers les secteurs du domaine médical et vétérinaire.

En ne considérant que les 66 111 travailleurs surveillés ayant reçu au moins une fois une dose supérieure au seuil d'enregistrement, la dose individuelle annuelle moyenne s'élève à 0,79 mSv, ce qui marque une baisse par rapport à l'année 2007 où elle était égale à 0,89 mSv.

En 2008, l'effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle supérieure à 1 mSv est de 13 041 travailleurs, soit 4,3 % de l'effectif total, ce qui est comparable au chiffre de 2007 (4,1 %).

La baisse du nombre de dépassements de la limite annuelle de dose efficace de 20 mSv observée au cours des dernières années s'est poursuivie (16 cas en 2008, contre 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 2008 dans un établissement intervenant dans une INB.

Une dose individuelle annuelle aux extrémités supérieure à la limite réglementaire de 500 mSv a été enregistrée pour un travailleur du secteur médical.

## 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 visés les installations nucléaires des domaines civil et militaire, les services de médecine nucléaire et les laboratoires de recherche utilisant des traceurs radioactifs (recherche médicale, radiopharmaceutique et biologique essentiellement). En France, la surveillance des personnels travaillant dans des installations nucléaires est assurée par les services de santé au travail (SST). 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 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 [23] définit quatre programmes de surveillance individuelle : surveillance de routine, surveillance spéciale, surveillance de contrôle et surveillance de chantier. Contrairement à la dosimétrie externe qui repose sur des mesures relativement standardisées et simples de mise en œuvre, les protocoles de surveillance interne sont plus contraignants et doivent être adaptés aux pratiques professionnelles considérées, aux niveaux d'activité et aux radionucléides à mesurer. Des considérations pratiques doivent également être prises en compte : par exemple, le fait que l'examen anthroporadiométrique nécessite de faire déplacer le travailleur vers l'installation 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 correspond 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'est que très rarement utilisée dans le cadre d'une estimation dosimétrique ; il s'agit essentiellement d'une méthode de dépistage de routine.

### **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.

Le bilan général détaille les données concernant la surveillance de routine et les données concernant les mesures réalisées à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination dans le cadre des surveillances spéciale ou de contrôle. Le recensement des travailleurs contaminés est établi en considérant un niveau d'enregistrement égal à 1 mSv, conformément aux recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR)<sup>24</sup> et à la norme ISO 20553 [23] qui fixe une valeur maximale pour ce niveau égale à 5% des limites annuelles de dose. Une analyse de ces données par secteur d'activité est ensuite présentée. Enfin, une comparaison avec les résultats du bilan 2007 est réalisée.

## **3.2.2. BILAN GENERAL**

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

Les tableaux 3, 4, 5, et 6 rassemblent les données relatives respectivement aux analyses radiotoxicologiques urinaires, fécales et nasales et aux examens anthroporadiométriques réalisés dans le cadre de la surveillance de routine, fournies par les différents laboratoires d'analyses de biologie médicale (LABM) ou les services de santé au travail (SST). Ces tableaux présentent pour chaque type d'examen : le nombre de travailleurs suivis quand il est connu, le nombre total d'examens réalisés et, parmi ceux-ci, le nombre d'examens considérés comme positifs suivant les seuils considérés par chaque laboratoire. La présentation de ces résultats appelle quelques précisions :

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

---

<sup>24</sup> Publication 78, Individual monitoring for internal exposure of workers - Replacement of ICRP Publication 54. vol. 27, n° ¾, 1997.

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

Les résultats de plusieurs établissements ont parfois été communiqués de façon groupée. Ainsi, les effectifs de la SOCODEI sont inclus dans les effectifs de CENTRACO. Les statistiques d'AREVA NP Jeumont SA regroupent celles de JSPM et de SOMANU. Alors qu'ils étaient détaillés en 2006, les effectifs des établissements suivants (suivis par le CEA Cadarache) ont été regroupés : AREVA NC Cadarache, AREVA TA Aix, AREVA TA Cadarache, Intercontrole (IC), STMI. Par ailleurs, les effectifs de l'ANDRA sont respectivement inclus dans les effectifs des établissements suivants : AREVA La Hague pour le site de la Manche, le CEA de Valduc pour le site de l'Aube et le CEA de Fontenay-aux-Roses pour le siège. Les analyses réalisées par le CEA DAM Ile-de-France à la demande des SST du CEA DAM Le Ripault et du CEA DAM CESTA pour les agents de ces centres sont incluses dans les statistiques du CEA DAM Ile-de-France. Les effectifs de FBFC Pierrelatte n'étant plus concernés par une surveillance de l'exposition interne, seuls apparaissent les travailleurs du CERCA-LEA dans les tableaux pour 2008, alors que ces deux établissements étaient regroupés dans le bilan 2007. Les statistiques indiquées pour AREVA NP Chalon/Saint-Marcel concernent uniquement les examens réalisés sur le site du CEMO<sup>25</sup>, les examens anthroporadiométriques réalisés dans les centrales nucléaires sur les travailleurs de cet établissement étant inclus dans les statistiques d'EDF.

En fonction de leurs activités professionnelles, tous les travailleurs surveillés n'ont pas systématiquement eu d'examen au cours de l'année 2008. C'est pourquoi le nombre d'examens réalisés dans un établissement donné peut être inférieur au nombre de travailleurs considérés comme surveillés dans cet établissement.

Dans ce bilan général concernant la surveillance de routine, il apparaît que les examens anthroporadiométriques sont les plus nombreux, avec 179 975 examens réalisés en 2008, suivis par les analyses radiotoxicologiques des prélèvements nasaux et des urines, avec respectivement 53 283 et 52 527 examens. Si les nombres d'examens sont relativement proches pour ces deux derniers types d'analyses, les effectifs correspondants diffèrent nettement : 14 231 travailleurs ont été suivis en 2008 pour des analyses urinaires, contre 3 049 pour des analyses de prélèvements nasaux. Enfin 6 634 analyses radiotoxicologiques fécales ont été réalisées. Le nombre total d'examens réalisés en 2008, toutes analyses confondues, s'élève à 292 419.

Les évolutions de ce bilan depuis l'année 2006 sont présentées au paragraphe 4.4.

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

Le tableau 7 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

---

<sup>25</sup> Centre de Maintenance des Outillages : site d'entretien et de stockage des outillages chauds.

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 nombre d'examens réalisés dans le cadre des surveillances spéciale ou de contrôle s'élève à 9 571 (donnée non disponible en 2007). Pour 159 examens, soit moins de 2 %, le résultat était supérieur au seuil d'enregistrement. Ce bilan inclut les 5 463 examens anthroporadiométriques réalisés dans les centrales nucléaires d'EDF dans le cadre des surveillances spéciale ou de contrôle, lesquels n'ont conduit à aucune estimation dosimétrique supérieure à 1 mSv. Le nombre des travailleurs concernés par ces 5 463 examens n'est pas connu. Il est important de préciser que ces examens ne sont pas majoritairement réalisés à la suite d'un événement significatif de radioprotection.

Parmi les événements significatifs de radioprotection déclarés en 2008 dans les centrales nucléaires, 8 événements avec une contamination interne suspectée ou avérée ont été recensés. Le premier événement concerne une centaine de travailleurs intervenant dans un bâtiment réacteur au moment où deux balises de surveillance ont détecté une contamination de l'air dans ce bâtiment. Le deuxième événement concerne 15 travailleurs d'entreprises extérieures intervenant sur la fermeture d'un générateur de vapeur. Le troisième événement concerne 5 travailleurs d'entreprises extérieures. Le quatrième événement, qui concerne 2 travailleurs, est survenu lors d'activités de reconditionnement des déchets radioactifs. Enfin, les 4 autres événements concernent chacun 1 travailleur : lors de la dépose d'un échafaudage dans le compartiment transfert d'un bâtiment réacteur, lors du remplacement d'un filtre d'eau, lors d'une opération de repli de joint sur un chantier cuve, et enfin dans une situation dont les circonstances ne sont pas connues de façon précise. Aucune des estimations dosimétriques réalisées à la suite de ces incidents n'a conduit à une dose efficace engagée supérieure à 1 mSv.

### **3.2.2.3. Estimations dosimétriques**

Le tableau 8 présente le nombre de travailleurs pour lesquels un calcul de dose interne a été effectué au cours de l'année 2008 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. En 2008, sur 210 travailleurs pour lesquels un calcul de dose a été réalisé, 20 cas de contamination interne ont été rapportés. La dose individuelle maximale estimée est égale à 5,7 mSv.

Tableau 3 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires

Etablissements	Nombre de travailleurs suivis (*)	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs
AREVA NC siège	18	10	0
AREVA NC Pierrelatte	358	947	0
AREVA NC Marcoule	177	4 221	0
MELOX	0	0	0
AREVA NP Jeumont SA	0	0	0
AREVA NP Chalon	0	0	0
AREVA NC Cadarache, TA Aix, TA Cadarache, IC, STMI (suivis par CEA)	160	167	0
SGN St-Quentin	129	41	0
SGN Marcoule	0	0	0
TN International	59	22	0
COMURHEX Pierrelatte	290	269	3
COMURHEX Malvesi	260	1 127	22
AREVA NC La Hague	3 123	4 997	nc
CENTRACO (suivis par CEA)	10	11	0
EURODIF	351	845	0
SOCATRI	80	105	0
Laboratoire CERCA	5	44	0
FBFC Romans	417	221	6
EDF	88	502	0
<b>Sous-total industrie nucléaire hors CEA</b>	<b>5 525</b>	<b>13 529</b>	<b>31</b>
CEA Cadarache	344	384	0
Entreprises extérieures du CEA Cadarache	595	595	0
CEA DAM IDF (BIII)	72	403	0
CEA DAM Valduc	1 933	11 333	41
CEA Fontenay-aux-Roses	541	868	0
CEA Grenoble	355	774	0
CEA Pierrelatte (suivi par AREVA)	80	67	0
CEA Marcoule	10	49	0
Entreprises extérieures du CEA Marcoule	163	1 072	0
CEA Saclay	1 068	3 515	0
<b>Sous-total CEA</b>	<b>5 161</b>	<b>19 060</b>	<b>41</b>
CIS-BIO International Marcoule (suivi par CEA)	0	0	0
IRSN Cadarache (suivi par CEA)	20	41	0
Etablissements suivis par IRSN	3 235	19 030	nd
<b>Sous-total médecine et recherche hors CEA</b>	<b>3 255</b>	<b>19 071</b>	<b>0</b>
<b>Sous-total défense (SPRA)</b>	<b>290</b>	<b>867</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>14 231</b>	<b>52 527</b>	<b>72</b>

nc : donnée non communiquée

nd : donnée non disponible

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

Tableau 4 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques fécales

Etablissements	Nombre de travailleurs suivis (*)	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs
AREVA NC siège	0	0	0
AREVA NC Pierrelatte	249	195	0
AREVA NC Marcoule	350	365	19
MELOX	441	481	15
AREVA NP Jeumont SA	0	0	0
AREVA NP Chalon	0	0	0
AREVA NC Cadarache, TA Aix, TA Cadarache, IC, STMI (suivis par CEA)	155	259	12
SGN St-Quentin	0	0	0
SGN Marcoule	4	4	0
TN International	0	0	0
COMURHEX Pierrelatte	9	9	0
COMURHEX Malvesi	62	69	7
AREVA NC La Hague	501	492	nc
CENTRACO (suivis par CEA)	1	1	0
EURODIF	351	0	0
SOCATRI	0	0	0
Laboratoire CERCA	0	0	0
FBFC Romans	417	358	3
EDF	145	539	0
<b>Sous-total industrie nucléaire hors CEA</b>	<b>2 685</b>	<b>2 772</b>	<b>56</b>
CEA Cadarache	100	115	0
Entreprises extérieures du CEA Cadarache	350	608	6
CEA DAM IDF (BIII)	63	21	0
CEA DAM Valduc	1 933	938	3
CEA Fontenay-aux-Roses	163	279	0
CEA Grenoble	168	413	0
CEA Pierrelatte (suivi par AREVA)	0	0	0
CEA Marcoule	297	290	5
Entreprises extérieures du CEA Marcoule	956	995	3
CEA Saclay	126	192	0
<b>Sous-total CEA</b>	<b>4 156</b>	<b>3 851</b>	<b>17</b>
CIS-BIO International Marcoule (suivi par CEA)	0	0	0
IRSN Cadarache (suivi par CEA)	10	10	0
Etablissements suivis par IRSN	1	1	0
<b>Sous-total médecine et recherche hors CEA</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>0</b>
<b>Sous-total défense (SPRA)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>6 852</b>	<b>6 634</b>	<b>73</b>

nc : donnée non communiquée

nd : donnée non disponible

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

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

<b>Etablissements</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	0	0	0
AREVA NP Chalon	0	0	0
AREVA NC Cadarache, TA Aix, TA Cadarache, IC, STMI (suivis par CEA)	nd	1 182	0
SGN St-Quentin	0	0	0
SGN Marcoule	0	0	0
TN International	0	0	0
COMURHEX Pierrelatte	0	0	0
COMURHEX Malvesi	0	0	0
AREVA NC La Hague	0	0	nc
CENTRACO (suivis par CEA)	0	0	0
EURODIF	351	0	0
SOCATRI	0	0	0
Laboratoire CERCA	0	0	0
FBFC Romans	0	0	0
EDF	518	3 099	0
<b>Sous-total industrie nucléaire hors CEA</b>	<b>869</b>	<b>4 281</b>	<b>0</b>
CEA Cadarache	nd	67	0
Entreprises extérieures du CEA Cadarache	nd	516	0
CEA DAM IDF (BIII)	100	3 379	0
CEA DAM Valduc	1 933	41 872	1
CEA Fontenay-aux-Roses	141	3 116	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	6	52	0
<b>Sous-total CEA</b>	<b>2 180</b>	<b>49 002</b>	<b>1</b>
CIS-BIO International Marcoule (suivi par CEA)	0	0	0
IRSN Cadarache (suivi par CEA)	0	0	0
Etablissements suivis par IRSN	0	0	0
<b>Sous-total médecine et recherche hors CEA</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Sous-total défense (SPRA)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>3 049</b>	<b>53 283</b>	<b>1</b>

nc : donnée non communiquée

nd : donnée non disponible

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

Tableau 6 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques

Etablissements	Nombre de travailleurs suivis (*)	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs
AREVA NC siège	33	22	0
AREVA NC Pierrelatte	0	0	0
AREVA NC Marcoule	744	843	6
MELOX	91	93	0
AREVA NP Jeumont SA	148	57 (hors JSPM)	0
AREVA NP Chalon	378	1 503	0
AREVA NC Cadarache, TA Aix, TA Cadarache, IC, STMI (suivis par CEA)	454	510	0
SGN St-Quentin	129	88	1
SGN Marcoule	292	404	8
TN International	59	50	0
COMURHEX Pierrelatte	0	0	0
COMURHEX Malvesi	0	0	0
AREVA NC La Hague	3 123	6 286	nc
CENTRACO (suivis par CEA)	165	142	0
EURODIF	351	0	0
SOCATRI	12	24	0
Laboratoire CERCA	10	12	0
FBFC Romans	417	228	0
EDF (LABM + CNPE)	31 616	152 406	4 (**)
<b>Sous-total industrie nucléaire hors CEA</b>	<b>38 022</b>	<b>162 611</b>	<b>15</b>
CEA Cadarache	916	916	0
Entreprises extérieures du CEA Cadarache	1 544	1 544	0
CEA DAM IDF (BIII)	365	417	0
CEA DAM Valduc	1 933	1 510	0
CEA Fontenay-aux-Roses	1 078	1 297	0
CEA Grenoble	602	972	0
CEA Pierrelatte (suivi par AREVA)	0	0	0
CEA Marcoule	1 105	843	0
Entreprises extérieures du CEA Marcoule	1 618	1 754	0
CEA Saclay	1 601	2 068	0
<b>Sous-total CEA</b>	<b>10 762</b>	<b>11 321</b>	<b>0</b>
CIS-BIO International Marcoule (suivi par CEA)	37	48	0
IRSN Cadarache (suivi par CEA)	60	60	0
Etablissements suivis par IRSN	247	260	21
<b>Sous-total médecine et recherche hors CEA</b>	<b>344</b>	<b>368</b>	<b>21</b>
<b>Sous-total défense (SPRA)</b>	<b>4 718</b>	<b>5 675</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>53 846</b>	<b>179 975</b>	<b>40</b>

nc : donnée non communiquée

nd : donnée non disponible

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

(\*\*) Au sein des centrales EDF, on compte 4 examens considérés positifs, tous types de surveillance confondus.

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

<b>Etablissements</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	25	133	0
AREVA NC Marcoule	15	104	7
MELOX	16	54	2
AREVA NP Jeumont SA	6	16	0
AREVA NP Chalon	0	0	0
AREVA NC Cadarache, TA Aix, TA Cadarache, IC, STMI (suivis par CEA)	67	38	nc
SGN St-Quentin	0	0	0
SGN Marcoule	0	0	0
TN International	0	0	0
COMURHEX Pierrelatte	12	16	0
COMURHEX Malvesi	50	61	14
AREVA NC La Hague	91	598	85
CENTRACO (suivis par CEA)	3	3	0
EURODIF	52	52	0
SOCATRI	12	18	0
Laboratoire CERCA	1	1	0
FBFC Romans	121	541	3
EDF (LABM + CNPE)	69 (hors CNPE)	5 631	0 (**)
<b>Sous-total industrie nucléaire hors CEA</b>	<b>540</b>	<b>7 266</b>	<b>111</b>
CEA Cadarache	3	4	0
Entreprises extérieures du CEA Cadarache	42	47	nc
CEA DAM IDF (BIII)	14	52	0
CEA DAM Valduc	154	215	21
CEA Fontenay-aux-Roses	25	67	0
CEA Grenoble	9	15	0
CEA Pierrelatte (suivi par AREVA)	0	0	0
CEA Marcoule	15	54	0
Entreprises extérieures du CEA Marcoule	54	201	12
CEA Saclay	99	562	0
<b>Sous-total CEA</b>	<b>415</b>	<b>1 217</b>	<b>33</b>
CIS-BIO International Marcoule (suivi par CEA)	0	0	0
IRSN Cadarache (suivi par CEA)	2	3	nc
Etablissements suivis par IRSN :			
* analyses radiotoxicologiques urinaires	350	962	nd
* mesures anthroporadiométriques	1	1	1
<b>Sous-total médecine et recherche hors CEA</b>	<b>353</b>	<b>966</b>	<b>1</b>
<b>Sous-total défense (SPRA)</b>	<b>113</b>	<b>122</b>	<b>14</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>1 421</b>	<b>9 571</b>	<b>159</b>

nc : donnée non communiquée, nd : donnée non disponible

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

(\*\*) Au sein des CNPE d'EDF, 4 examens sont considérés positifs, tous types de surveillance confondus (Cf. tableau 7).

Tableau 8 - Estimations dosimétriques de la dose interne

Etablissements	Nombre total de travailleurs concernés par un calcul de dose	Nombre de travailleurs contaminés (*)
AREVA NC siège	0	0
AREVA NC Pierrelatte	1	0
AREVA NC Marcoule	0	0
MELOX	2	0
AREVA NP Jeumont SA	0	0
AREVA NP Chalon	nc	0
AREVA NC Cadarache, TA Aix, TA Cadarache, IC, STMI (suivis par CEA)	24	1
SGN St-Quentin	0	0
SGN Marcoule	0	0
TN International	0	0
COMURHEX Pierrelatte	0	0
COMURHEX Malvesi	2	0
AREVA NC La Hague	90	0
CENTRACO (suivis par CEA)	0	0
EURODIF	4	0
SOCATRI	0	0
Laboratoire CERCA	0	0
FBFC Romans	12	12
EDF (LABM + CNPE)	7	1
<b>Sous-total industrie nucléaire hors CEA</b>	<b>142</b>	<b>14</b>
CEA Cadarache	2	0
Entreprises extérieures du CEA Cadarache	18	0
CEA DAM IDF (BIII)	0	0
CEA DAM Valduc	2	1
CEA Fontenay-aux-Roses	0	0
CEA Grenoble	0	0
CEA Pierrelatte (suivi par AREVA)	0	0
CEA Marcoule	0	0
Entreprises extérieures du CEA Marcoule	12	2
CEA Saclay	22	0
<b>Sous-total CEA</b>	<b>56</b>	<b>3</b>
CIS-BIO International Marcoule (suivi par CEA)	0	0
IRSN Cadarache (suivi par CEA)	1	0
Etablissements suivis par IRSN	11	3
<b>Sous-total médecine et recherche hors CEA</b>	<b>12</b>	<b>3</b>
<b>Sous-total défense (SPRA)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>210</b>	<b>20</b>

nc : donnée non communiquée

nd : donnée non disponible

(\*) Travailleurs pour lesquels la dose efficace annuelle engagée est estimée supérieure ou égale 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.

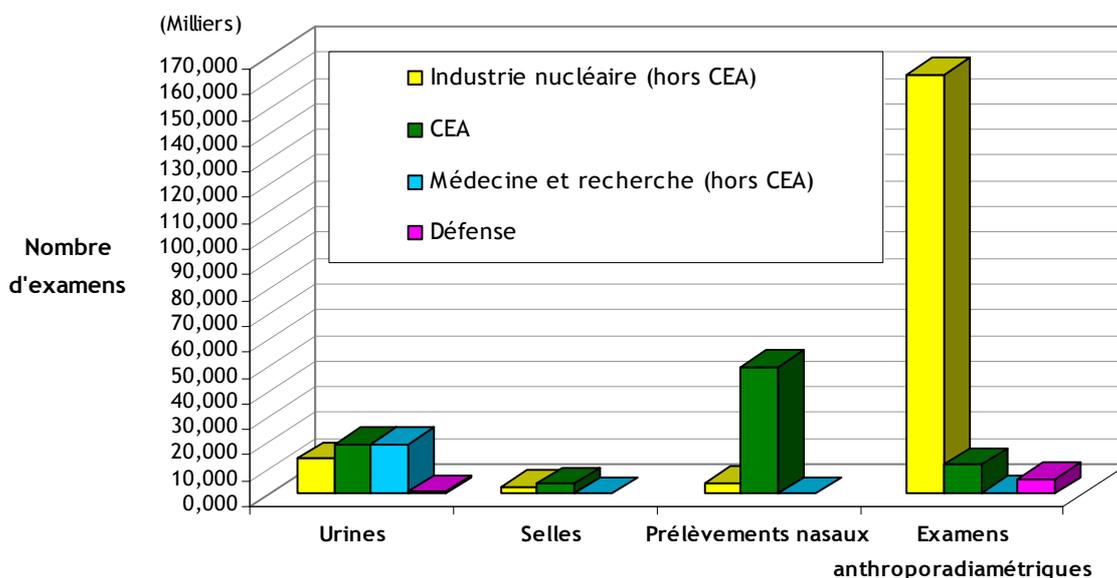


Figure 20 - Nombre d'examens suivant le type d'analyses mises en œuvre pour assurer la surveillance de l'exposition interne dans les grands secteurs d'activité en 2008 (surveillance de routine)

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 radiotoxicologiques. Le suivi des personnels dans les établissements du secteur médical et de la recherche repose essentiellement sur des analyses radiotoxicologiques urinaires. Les personnels du secteur de la défense bénéficient majoritairement d'une surveillance par anthroporadiométrie et dans une moindre mesure par des analyses radiotoxicologiques urinaires. Ceci s'explique à la fois par la nature différente des radionucléides à mesurer dans les différents secteurs, mais aussi par des considérations logistiques. Alors qu'il est relativement simple d'organiser un contrôle anthroporadiométrique au CEA, à AREVA et à EDF, dont les différents sites disposent des installations nécessaires, un tel contrôle des personnels du secteur médical ou de celui de la recherche qui n'ont pas leurs propres LABM est beaucoup plus difficile à mettre en œuvre, les individus ayant en pratique à se déplacer dans les laboratoires de l'IRSN situés en région parisienne. Afin de pouvoir assurer la surveillance d'un plus grand nombre de travailleurs de ces secteurs, l'IRSN s'est doté 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>26</sup> et produits de fission<sup>27</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.

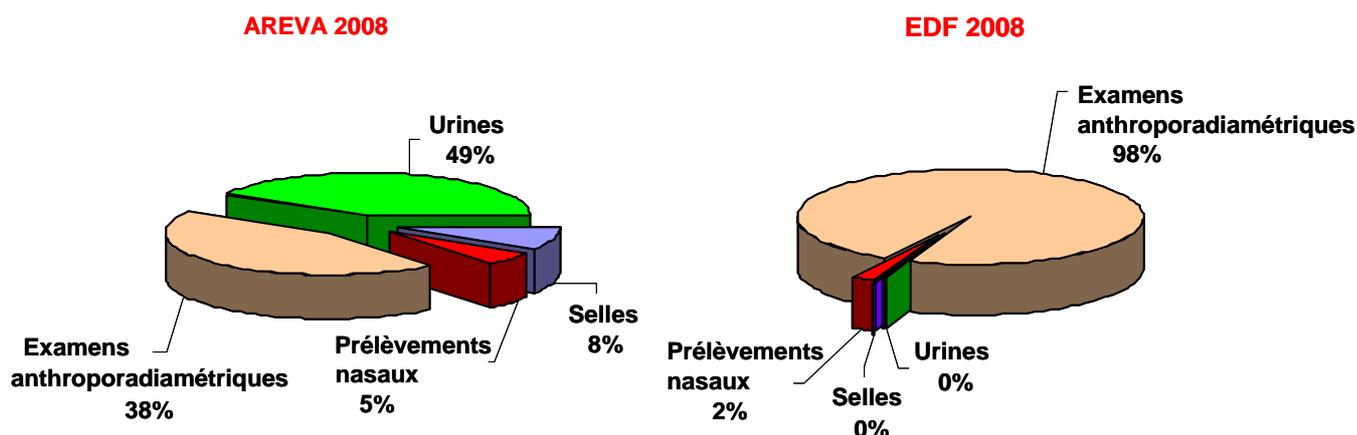


Figure 21 - Répartition des analyses réalisées dans les différentes entreprises du secteur nucléaire (surveillance de routine)

Dans le cadre des programmes de surveillance spéciale ou de contrôle, 1 635 examens ont été réalisés en 2008 au sein du groupe AREVA, dont 111 pour lesquels le résultat était supérieur au niveau d'enregistrement. Les évaluations dosimétriques réalisées auprès de 135 travailleurs ont révélé que 13 d'entre eux avaient reçu une dose engagée supérieure à 1 mSv, la dose individuelle maximale étant estimée à 3,3 mSv.

Au sein du LABM d'EDF, une évaluation dosimétrique a été réalisée pour 1 travailleur : la dose engagée estimée était inférieure à 1 mSv.

<sup>26</sup> Matériaux de la structure d'un réacteur nucléaire devenus radioactifs après avoir été soumis à de forts flux de neutrons.

<sup>27</sup> Restes d'un noyau fissile après fission dans un réacteur ; ils contribuent à l'essentiel de la radioactivité présente dans le combustible irradié.

Sur l'ensemble des examens anthroporadiométriques réalisés au sein des CNPE, 4 examens ont eu un résultat positif (toutes surveillances confondues). Parmi les 6 estimations dosimétriques effectuées, aucune ne dépassait 1 mSv. Par ailleurs, les examens anthroporadiométriques réalisés au sein des SST des CNPE ont permis de détecter une contamination cutanée au cobalt 60 auprès de 4 travailleurs du même CNPE (dont 3 agents EDF et 1 salarié d'une entreprise extérieure), avec des doses à la peau comprises entre 100 mSv et 193 mSv (la surface de contamination n'ayant pas été communiquée).

Le tableau 9 présente le bilan détaillé des mesures anthroporadiométriques réalisées par EDF sur les sites des centrales nucléaires en 2008.

Tableau 9 - Bilan détaillé des mesures anthroporadiométriques réalisées par EDF pour les travailleurs exposés des centrales nucléaires en 2008

<b>ANTHROPORADIOMETRIE EDF - année 2008</b>	
Nombre de travailleurs EDF	15 742
Nombre de travailleurs d'entreprises extérieures	15 790
<b><u>Nombre total d'examens effectués</u></b>	<b>160 648</b>
pour surveillance de routine :	152 322
pour surveillance spéciale ou de contrôle :	5 463
pour surveillance de chantier :	354
examens réalisés à la demande :	2 509
<b>Détail par centrale nucléaire (toutes surveillances)</b>	<b>Nombre d'examens (*)</b>
BELLEVILLE	5 893 (+ 4 %)
BLAYAIS	9 132 (+ 2 %)
BUGEY	10 028 (- 14 %)
CATTENOM	7 999 (+ 20 %)
CHINON	9 987 (- 8 %)
CHOOZ	4 900 (+ 2 %)
CIVAUX	4 698 (- 31 %)
CRUAS	8 618 (- 10 %)
DAMPIERRE	11 346 (+ 9 %)
FESSENHEIM	5 494 (+ 3 %)
FLAMANVILLE	11 493 (+ 100 %)
GOLFECH	7 177 (+ 84 %)
GRAVELINES	12 913 (- 10 %)
NOGENT	6 632 (+ 82 %)
PALUEL	9 199 (- 22 %)
PENLY	4 319 (- 53 %)
SAINT ALBAN	7 538 (- 1 %)
SAINT LAURENT	5 609 (- 22 %)
TRICASTIN	10 802 (+ 26 %)
CREYS MALVILLE	1 829 (+ 2 %)
BRENNILIS	398 (- 50 %)

(\*) Evolution par rapport à 2007.

### 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 près de 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, 1 217 examens ont été réalisés en 2008 sur l'ensemble des sites du CEA ; pour 33 examens le résultat était supérieur au niveau d'enregistrement. Parmi les 56 travailleurs pour lesquels un calcul de dose a été réalisé, 3 travailleurs ont reçu une dose engagée supérieure à 1 mSv, la dose individuelle maximale étant estimée inférieure à 6 mSv.

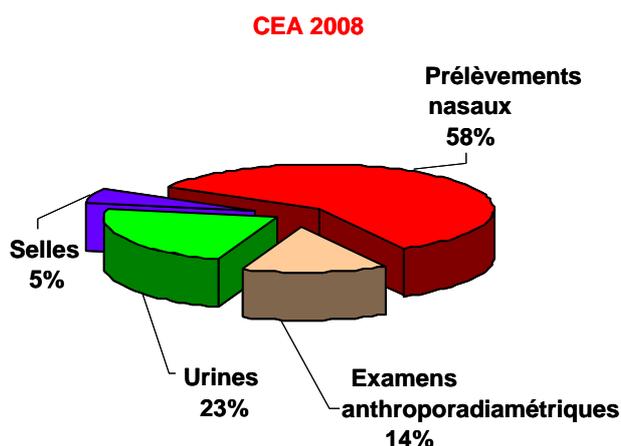


Figure 22 - Répartition des analyses réalisées dans les établissements du CEA (surveillance de routine)

### 3.2.3.3. Médecine et recherche

Le personnel médical des services de médecine nucléaire (exploration *in vivo*, radiothérapie) 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 2008 pour ce secteur, sont précisés dans le tableau 10.

Tableau 10 - Principaux radionucléides émetteurs  $\alpha$ ,  $\gamma$  et  $\beta$  analysés par l'IRSN en 2008

Radionucléides émetteurs $\alpha$ (744 analyses)	Radionucléides émetteurs $\gamma$ (14 939 analyses)	Radionucléides émetteurs $\beta$ (4 310 analyses)
dont 169 analyses de l'américium 241	dont 1 480 analyses de l'iode 131	dont 2 419 analyses du tritium

Les mesures réalisées par le laboratoire de l'IRSN montrent que 99,5 % des résultats d'analyses radiotoxicologiques sont inférieurs à la limite de détection. Dans le cas contraire (0,5 % des résultats), les trois contaminants les plus fréquemment détectés sont dans l'ordre l'iode 131 (42 cas sur un total de 92), l'iode 125 (13 cas sur 92) et le tritium (8 cas sur 92).

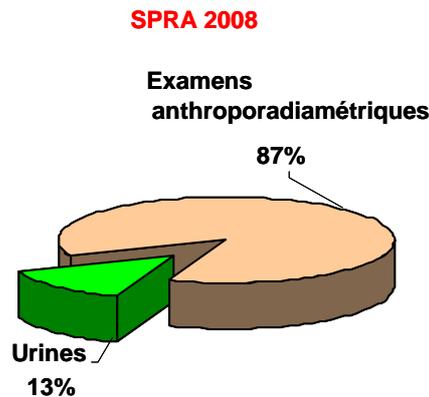
Au total 247 travailleurs ont fait l'objet d'au moins un examen anthroporadiométrique à l'IRSN en 2008 dans le cadre de la surveillance de routine : 89 travailleurs du secteur de la médecine nucléaire, 89 travailleurs ayant séjourné dans les pays de l'Est et 69 travailleurs de l'IRSN. Les résultats étaient positifs pour 13 examens dans le secteur de la médecine nucléaire et 8 examens chez les travailleurs ayant séjourné dans les pays de l'Est.

En 2008, l'IRSN a réalisé une estimation dosimétrique pour 11 travailleurs : 2 travailleurs du secteur de l'industrie et 9 travailleurs de médecine nucléaire. Parmi eux, 8 travailleurs ont reçu une dose engagée inférieure à 1 mSv et 3 travailleurs (de médecine nucléaire) ont reçu une dose engagée supérieure à 1 mSv, la dose maximale calculée étant égale à 5,7 mSv.

Pour les autres travailleurs de ce domaine d'activité suivis par le CEA, aucune dose engagée supérieure à 1 mSv n'a été enregistrée.

#### 3.2.3.4. Défense

Les données relatives au Service de Protection Radiologique des Armées (SPRA) regroupent les statistiques de la surveillance exercée par le SPRA à Clamart, le service médical d'unité de la base opérationnelle de l'île Longue à Brest, le service médical d'unité de l'escadrille des sous-marins nucléaires lanceurs d'engins de la base navale de Brest, le service médical d'unité de l'escadrille des sous-marins nucléaires d'attaque de la base navale de Toulon, et depuis l'année 2008, le service médical du porte-avion « Charles-de-Gaulle ». 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 13 % des examens) et des examens anthroporadiométriques du corps entier, des poumons et de la thyroïde (pour 87% des examens). En 2008, 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. EVOLUTIONS PAR RAPPORT AUX DEUX ANNEES PRECEDENTES**

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.

Il faut noter que les nombres d'examens totaux ne sont pas directement comparables d'une année sur l'autre du fait de la prise en compte d'un plus grand nombre d'établissements dans les bilans 2007 et 2008. Par conséquent, seules les données concernant les établissements déjà comptabilisés en 2006 sont considérées dans les paragraphes suivants. Les établissements non comptabilisés sont les suivants : AREVA NC siège, TN international, EURODIF, SOCATRI, FBFC Pierrelatte et FBFC Romans. Enfin, les effectifs du domaine médical n'étaient pas dissociés du reste des effectifs surveillés par le SPRA en 2007, ils ne sont par conséquent pas inclus dans le secteur médical et de la recherche pour la comparaison avec l'année précédente.

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

Globalement, le nombre total d'examens réalisés a augmenté de 8%, passant de 264 258 examens en 2007 à 286 410 examens en 2008 (pour les établissements déjà comptabilisés en 2006) alors qu'il avait baissé dans la même proportion (-8%) de 2006 à 2007.

Le tableau 11 détaille ces évolutions en fonction du type d'examen : seules les analyses de selles ont diminué en 2008 (-26%). Les variations observées entre 2007 et 2008 pour chaque type d'analyse sont inversées par rapport aux variations observées entre 2006 et 2007.

**Tableau 11 - Evolution du nombre d'examens réalisés dans le cadre de la surveillance de routine entre 2006 et 2008**

Nombre d'examens	Analyses d'urines	Analyses de selles	Analyses de prélèvements nasaux	Examens anthroporadiométriques
2006	46 401	5 915	54 984	181 035
2007 (*)	41 311	7 105	43 626	172 216
2008 (*)	49 961	5 281	53 283	177 885
Variation 2006/2007	-11 %	+20%	-21 %	-5 %
Variation 2007/2008	+21 %	-26 %	+22 %	+3 %

(\*) Dans les établissements déjà comptabilisés en 2006.

Les tableaux 12, 13 et 14 précisent les tendances observées dans chaque secteur d'activité.

Dans l'industrie nucléaire (cf. tableau 12), il apparaît que le nombre d'analyses d'urines et de prélèvements nasaux a augmenté (+20 % et +34 % respectivement). Le nombre d'examens anthroporadiométriques et d'analyses de selles est resté stable (+0,5 % et -1 % respectivement). 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 2007 et 2008 (indiquée sous forme de pourcentage dans le tableau 9) varie d'un centre à l'autre, et dépend principalement de la variation du nombre d'heures d'arrêt de tranche dans chaque centrale.

**Tableau 12 - Evolution du nombre d'examens de routine réalisés dans l'industrie nucléaire (AREVA et EDF) entre 2006 et 2008**

Nombre d'examens	Analyses d'urines	Analyses de selles	Analyses de prélèvements nasaux	Examens anthroporadiométriques
2006	13 516	2 241	4 203	169 404
2007 (*)	10 052	2 447	3 204	161 504
2008 (*)	12 035	2 414	4 281	162 275
Variation 2006/2007	-26 %	+9 %	-24 %	-5 %
Variation 2007/2008	+20 %	-1 %	+34 %	+0,5 %

(\*) Dans les établissements déjà comptabilisés en 2006.

Le tableau 13 présente les évolutions observées pour l'ensemble des sites du CEA entre 2006 et 2008. La variation du nombre d'examens est liée à l'évolution des activités dans les différents sites du CEA.

**Tableau 13 - Evolution du nombre d'examens de routine réalisés au CEA entre 2006 et 2008**

Nombre d'examens	Analyses d'urines	Analyses de selles	Analyses de prélèvements nasaux	Examens anthroporadiométriques
2006	13 909	3 561	50 777	11 311
2007 (*)	12 152	4 655	40 418	10 364
2008 (*)	17 988	2 856	49 002	9 567
Variation 2006/2007	-13 %	+31 %	-20 %	-8 %
Variation 2007/2008	+48 %	-39 %	+21 %	-8 %

(\*) Dans les établissements déjà comptabilisés en 2006.

Dans le secteur médical et de la recherche, le nombre d'examens réalisés en routine reste relativement stable pour les analyses d'urines et les examens anthroporadiométriques, avec des variations inférieures à 10 %. Les autres types d'examens étant réalisés en très faible nombre, les évolutions ne sont pas jugées significatives (Cf. tableau 14).

**Tableau 14 - Evolution du nombre d'examens de routine réalisés dans le médical et la recherche entre 2006 et 2007**

Nombre d'examens	Analyses d'urines	Analyses de selles	Analyses de prélèvements nasaux	Examens anthroporadiométriques
2006	18 976	113	4	320
2007 (*)	19 107	3	4	348
2008 (*)	19 071	11	0	368
Variation 2006/2007	+1 %	-97 %	0 %	+9 %
Variation 2007/2008	-0,2 %	+266 %	-100 %	+6 %

(\*) Pour les établissements déjà comptabilisés en 2006.

Concernant les effectifs suivis par le SPRA (secteur médical et secteur de la défense confondus), les variations présentées dans le tableau 15 traduisent là encore les variations d'activité dans le secteur de la défense.

**Tableau 15 - Evolution du nombre d'examens de routine réalisés dans le secteur de la défense entre 2007 et 2008**

Nombre d'examens	Analyses d'urines	Analyses de selles	Analyses de prélèvements nasaux	Examens anthroporadiométriques
2007	1 020	0	0	5 935
2008 (*)	867	0	0	5 675
Variation 2007/2008	-15 %	0 %	0 %	-4 %

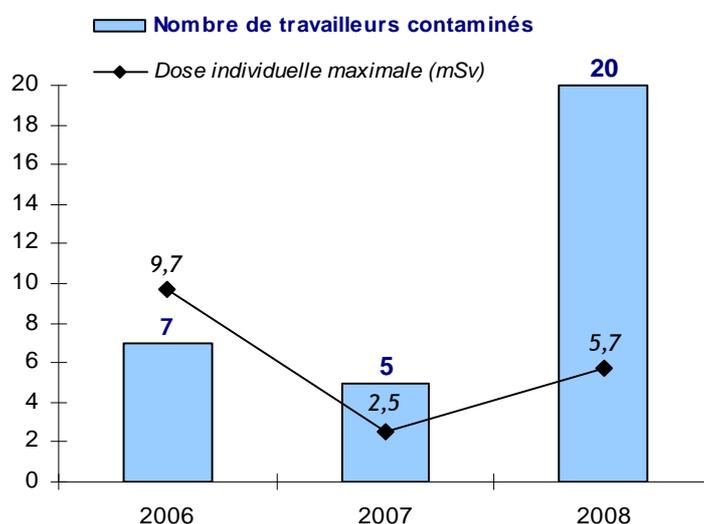
(\*) Pour les établissements déjà comptabilisés en 2007.

#### 3.2.4.2. Evolution dans le cadre des surveillances spéciale ou de contrôle

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

#### 3.2.4.3. Evolution des estimations dosimétriques

La figure 24 présente pour les années 2006 à 2008 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.



**Figure 24 - Evolution du nombre de travailleurs contaminés entre 2006 et 2008**

### 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 2008 à 292 419. En ne considérant que les établissements déjà comptabilisés en 2007, ce chiffre a progressé de 8 % par rapport au nombre d'examens réalisés l'an passé. Ce pourcentage de variation doit être considéré avec précaution du fait de certaines données non disponibles.

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

- l'évolution du nombre d'examens est différente suivant les types d'examen : si le nombre d'examens anthroporadiométriques augmente légèrement (+3 %), on observe une augmentation plus importante du nombre d'analyses radiotoxicologiques de prélèvements nasaux (+22 %) et du nombre d'analyses radiotoxicologiques urinaires (+21 %). Seul le nombre d'analyses radiotoxicologiques fécales a diminué entre 2007 et 2008 (-26 %). Ces évolutions sont à l'opposé de celles observées entre 2006 et 2007;
- 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,...) ;
- 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 ;
- 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 2008, cette répartition est sensiblement la même que celle observée en 2007. Chez AREVA, les analyses radiotoxicologiques urinaires sont majoritaires (49 %), suivis par les examens anthroporadiométriques (38 %). 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 (58 %), suivis par les analyses urinaires (23 %) et les examens anthroporadiométriques (14 %).

Le nombre d'examens réalisés dans le cadre de la surveillance spéciale ou de contrôle s'élève à 9 571 (donnée non disponible en 2007). Pour 159 de ces examens, soit moins de 2 %, le résultat était supérieur au niveau d'enregistrement. Cette surveillance a concerné 1 421 travailleurs en 2008,

contre 1 344 travailleurs en 2007, ces chiffres n'incluant pas les travailleurs des centrales nucléaires pour lesquels la donnée n'est pas disponible.

Enfin, en 2008, une estimation dosimétrique a été réalisée pour 210 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 vingt d'entre eux, avec une dose maximale estimée à 5,7 mSv. Bien que les doses engagées restent relativement faibles, il est noté une augmentation significative du nombre de travailleurs concernés par rapport à l'année passée, puisqu'en 2007 on comptait 5 cas de contamination interne, avec une dose maximale enregistrée de 2,5 mSv.

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

Des valeurs limites d'exposition sont réglementairement fixées par le code du travail. Ainsi, la somme des doses efficaces reçues par exposition externe et interne ne doit pas dépasser 20 mSv sur douze mois consécutifs. Sur ce même laps de temps, des limites de doses équivalentes sont également fixées pour différentes parties du corps : l'exposition des extrémités (mains, avant-bras, pieds et chevilles) ne doit pas dépasser 500 mSv, celle de la peau 500 mSv également, pour toute surface de 1 cm<sup>2</sup>, et celle du cristallin 150 mSv.

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

Afin que ces modifications puissent être prises en compte dans la base SISERI, une procédure permettant le retour 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 sa réalisation. 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, une alerte de dépassement de limite réglementaire de dose est considérée comme un dépassement avéré.

#### 3.3.1. BILAN DE L'ANNEE 2008

En 2008, seules les données de la dosimétrie externe passive ont conduit au signalement de tels dépassements. Quand elle sera effective, l'intégration des données nominatives de dosimétrie interne dans SISERI permettra d'établir un bilan plus complet des dépassements de la limite réglementaire de 20 mSv pour la dose efficace puisque le système réalisera pour chaque travailleur le cumul des doses externes et internes.

Pour l'année 2008, l'IRSN a recensé 57 alertes de dépassement de limite réglementaire de dose. La plupart ont été transmises directement par les laboratoires, les autres ayant été détectées par interrogation de la base de données SISERI. Ces dernières concernent des dépassements obtenus par

le cumul des doses de plusieurs périodes de port, ceux-ci n'étant pas systématiquement détectés par les laboratoires.

Au bilan établi mi-juillet 2009, le nombre des dépassements de limite réglementaire sur l'année 2008 est finalement de 18 dont 16 concernant la dose corps entier, 1 la dose équivalente aux extrémités et 1 la dose à la peau dans le cadre d'un incident (Cf. § 6.2.1).

Le dépassement de la limite de dose équivalente aux extrémités concerne un travailleur du secteur médical. Il a été obtenu par un cumul de doses sur les douze mois et non pas par un dépassement ponctuel sur une période de port.

Les 16 dépassements de limite réglementaire de la dose efficace concernent 8 travailleurs du secteur médical et 8 du secteur industriel. Ils se répartissent en 8 dépassements « ponctuels », *i.e.* observés sur une seule période de port au cours de l'année, et 8 dépassements obtenus par le cumul de doses de plusieurs périodes de port de l'année 2008. Ce bilan appelle les autres commentaires suivants :

- seuls 5 dépassements sur les 16 cas ont été confirmés par le médecin du travail. Les autres cas de dépassement sont les cas pour lesquels 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) ;
- un des travailleurs en dépassement en 2008 (24 mSv) avait déjà reçu une dose supérieure à la limite réglementaire en 2007 (35 mSv) ;
- les travailleurs ayant reçu plus de 20 mSv en 2007, par cumul des valeurs sur 12 mois et pour lesquels des problèmes de conformité de port de dosimètre ou des défauts d'équipements de protection avaient été mis en évidence, ne sont plus en dépassement en 2008, ce qui témoigne de l'évolution favorable des pratiques.

### **3.3.2. EVOLUTION PAR RAPPORT AUX ANNEES PRECEDENTES (PERIODE 1996 - 2008)**

#### **3.3.2.1. Evolution du nombre de travailleurs ayant reçu une dose efficace annuelle supérieure à 20 mSv**

La figure 25 présente l'évolution de 1996 à 2008 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 de 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.

Trois domaines d'activité présentent de façon récurrente des doses supérieures à 20 mSv par an (Cf. figure 26) : 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...).

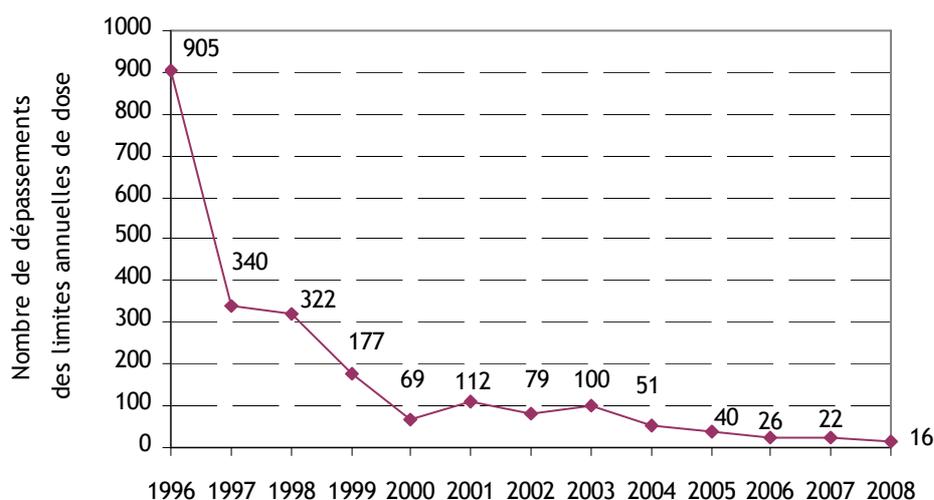


Figure 25 - Evolution de 1996 à 2008, du nombre de travailleurs surveillés dont la dose efficace annuelle est supérieure à 20 mSv

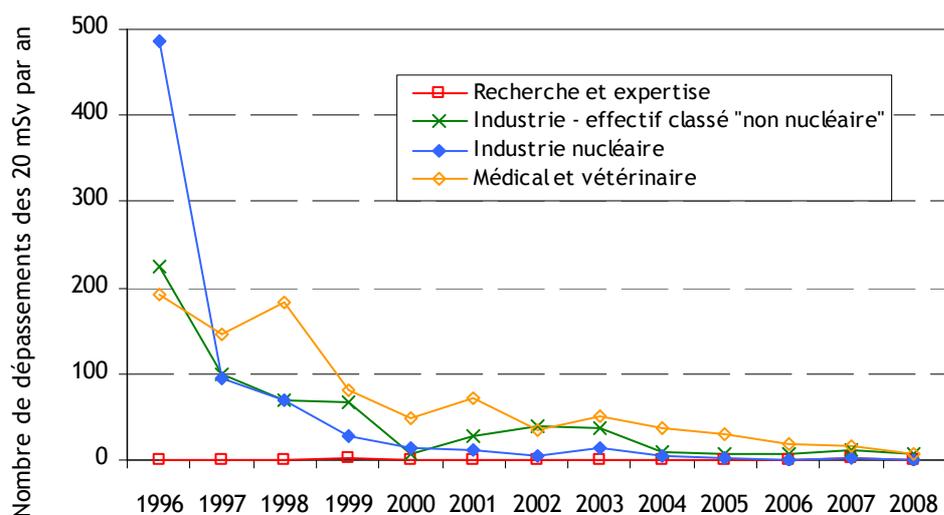


Figure 26 - Evolution de 1996 à 2008, du nombre de travailleurs surveillés dont la dose efficace annuelle est supérieure à 20 mSv, par domaines d'activité

Le nombre de cas de dépassement des 20 mSv a fortement diminué dans l'industrie nucléaire<sup>28</sup> (487 en 1996, 1 en 2008, dans une entreprise extérieure intervenant sur les INB) mais aussi dans l'industrie non nucléaire (222 en 1996, 7 en 2008).

Une baisse régulière est également observée dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (193 en 1996, 8 en 2008) ; ce domaine est depuis 1997 celui qui concentre les effectifs pour lesquels sont enregistrées les doses les plus élevées. Ce domaine est aussi celui où les travailleurs suivis sont

<sup>28</sup> Industrie nucléaire : centrales nucléaires - agents EDF, cycle du combustible - agents AREVA et entreprises extérieures.

les plus nombreux et où les écarts par rapport aux bonnes pratiques de port des dosimètres sont les plus importants.

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

La figure 27 illustre l'évolution du nombre de travailleurs ayant reçu une dose externe annuelle supérieure à 50 mSv au cours de la période 1996-2008. En 1996, 63 travailleurs surveillés avaient reçu une dose par exposition externe supérieure à 50 mSv. Ce nombre a été divisé par 15 entre 1996 et 2008. Les 4 cas enregistrés en 2008 concernent 2 travailleurs du secteur médical (en radiologie) et 2 travailleurs de l'industrie non nucléaire. Pour deux de ces cas, l'enquête est en cours, et pour les deux autres on ne dispose d'aucun retour de la part du médecin du travail.

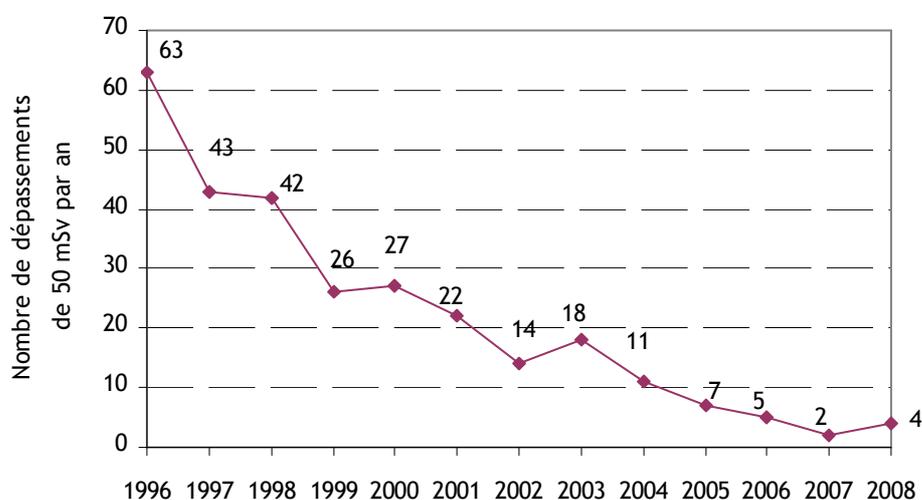


Figure 27 - Evolution de 1996 à 2008, du nombre de travailleurs ayant reçu une dose efficace annuelle supérieure à 50 mSv

## 4. EXPOSITIONS DES TRAVAILLEURS A LA RADIOACTIVITE NATURELLE

La surveillance des travailleurs sujets aux expositions dites « naturelles renforcées » (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>29</sup> » ou « TENORM<sup>30</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 concernées et impose notamment aux chefs d'établissements concernés de réaliser une évaluation des doses reçues par les travailleurs.

#### 4.1.1. BILANS DES ETUDES REÇUES

Fin 2008, le nombre de dossiers reçus dans le cadre de l'application de l'arrêté du 25 mai 2005 s'élevait à 79. La figure 28 en présente la répartition selon les catégories d'activités professionnelles visées par les dispositions de l'arrêté.

La figure 29 présente la distribution des doses efficaces individuelles rapportées dans ces dossiers<sup>31</sup>.

Environ 17 % 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

---

<sup>29</sup> NORM = Naturally Occurring Radioactive Materials

<sup>30</sup> TENORM = Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material

<sup>31</sup> Contrairement aux autres travailleurs considérés dans les chapitres précédents, les doses individuelles dont il est question ne sont le plus souvent pas issues d'une surveillance individuelle mais d'estimations théoriques fondées sur des études de poste de travail

professionnelles visées par l'arrêté du 25 mai 2005 présentent des doses efficaces individuelles pouvant même être supérieures à 20 mSv/an. Ces postes de travail font actuellement l'objet d'une analyse plus approfondie de la part de l'IRSN.

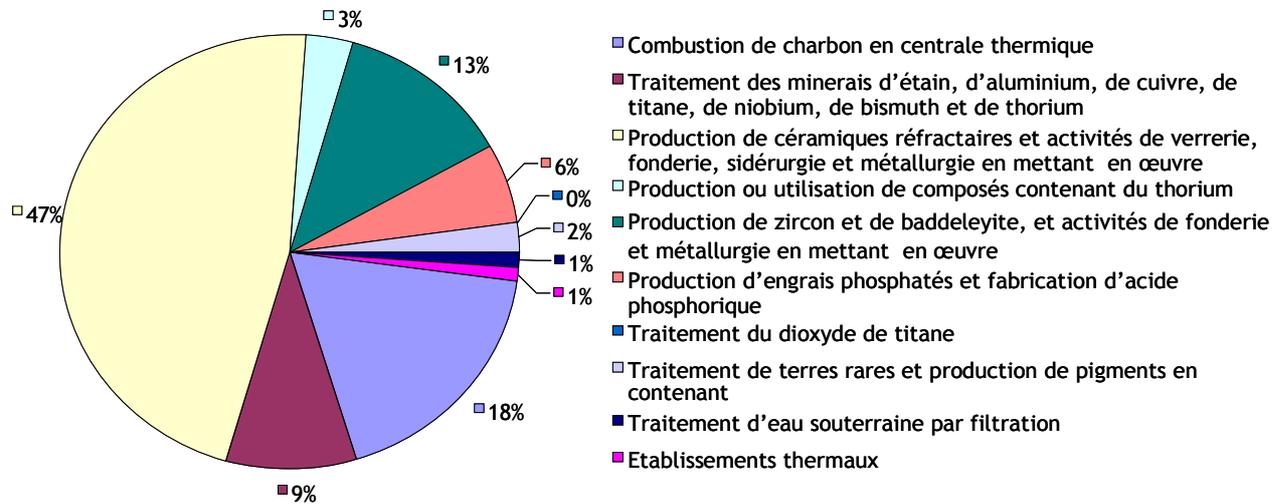


Figure 28 : Répartition des dossiers reçus selon les catégories d'activités professionnelles visées par les dispositions de l'arrêté du 25 mai 2005

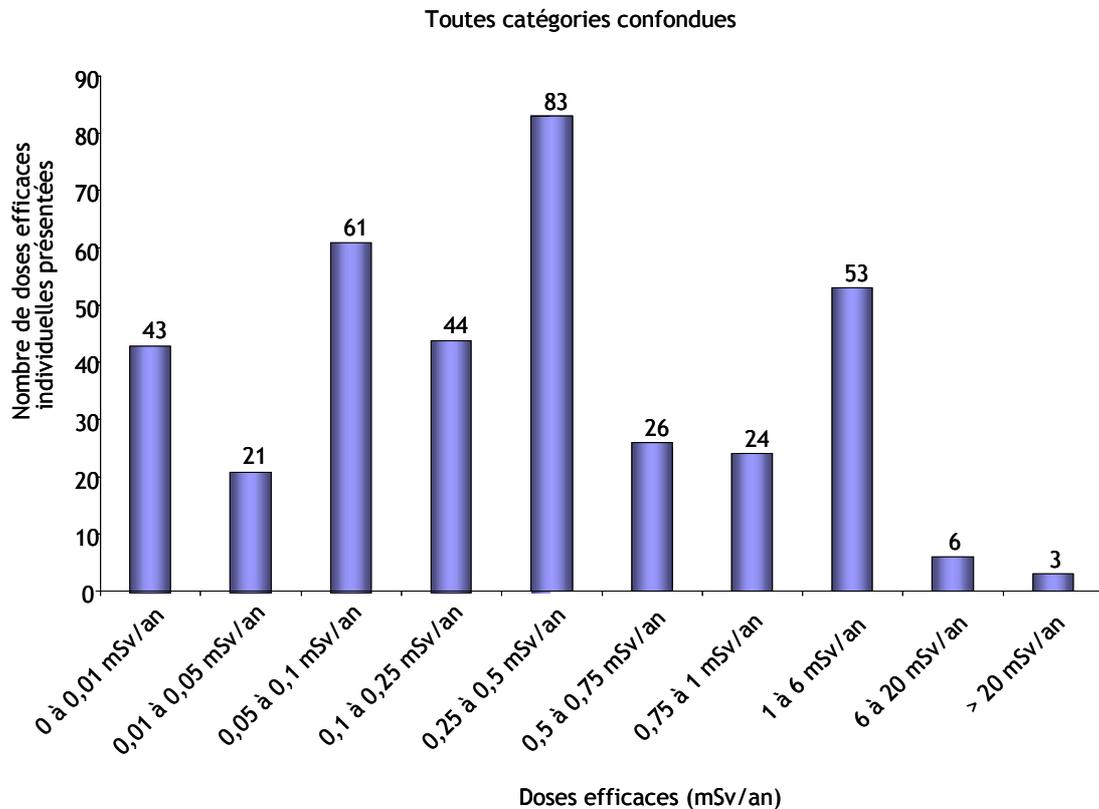


Figure 29 : Distribution des doses efficaces calculées pour les travailleurs

#### 4.1.2. ETUDE ANALYSEE EN 2008

En 2008, l'IRSN a analysé l'étude générique menée par la Fédération des Chambres Syndicales de l'Industrie du Verre (FCSIV) pour évaluer l'exposition de l'ensemble des travailleurs des verreries. Cette étude a été choisie en raison du nombre important de travailleurs concernés.

Les céramiques réfractaires constituant les fours verriers sont fabriquées à partir de zircon ( $ZrSiO_4$ ) ou de zircone ( $ZrO_2$ ) comprenant de faibles quantités de radionucléides (potassium 40, radionucléides des familles de l'uranium et du thorium). Par ailleurs, le zircon peut être utilisé comme matière première pour la fabrication de verres spéciaux (verres optiques ou vitrocéramiques) et les procédés verriers génèrent des poussières où des radionucléides se concentrent. Les travailleurs des verreries peuvent donc être soumis à la fois à une exposition externe et une exposition interne par inhalation. Les doses maximales ajoutées (i.e. bruit de fond déduit), estimées par la FCSIV pour les différents postes de travail retenus, sont de l'ordre de 0,6 mSv/an. L'IRSN souligne la grande variabilité, en fonction des sites pilotes, des doses estimées pour un poste de travail donné. Cette variabilité est liée principalement à celle de la contribution de la dose due à l'inhalation des poussières, l'exposition externe étant généralement relativement stable pour un poste de travail donné.

Cependant, l'étude de la FCSIV porte uniquement sur les expositions pendant le fonctionnement normal des fours. Les opérations liées au montage et à la déconstruction des fours ainsi que les opérations de maintenance telles que le nettoyage des dépoussiéreurs n'ont pas été prises en compte à ce jour et pourraient conduire à estimer des doses supérieures à celles calculées pour le fonctionnement normal. En effet, sur la base des données portées à la connaissance de l'IRSN, notamment celles recueillies dans la littérature, des doses de l'ordre de 0,5 mSv par opération supplémentaire sont attendues.

#### 4.2. RADON

L'article R. 4457-6 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. 4457-6 en fonction des niveaux d'activité volumique du radon fixés par décision de l'ASN.

En 2008, l'IRSN a publié un guide méthodologique de mesure de l'activité volumique du radon dans les cavités<sup>32</sup>, élaboré à partir des études dans les grottes karstiques et les cavités souterraines agricoles françaises réalisées par l'institut à la demande du Ministère de la Culture et de la Communication et du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche. Ce guide s'ajoute à une précédente publication concernant la méthodologie de mesure de l'activité volumique du radon dans les

<sup>32</sup> Rapport IRSN/DEI/SARG/2008-029

bâtiments souterrains<sup>33</sup>, publié en 2006. La mise en œuvre des méthodologies présentées dans ces guides requiert des connaissances relatives au radon et, respectivement, aux cavités et aux bâtiments. Elle est de ce fait du ressort d'organismes compétents au sens de la réglementation. L'organisation de l'agrément de ces organismes et de la formation des personnels impliqués est actuellement en cours à la suite de la publication des trois arrêtés du 5 juin 2009, respectivement relatifs aux conditions dans lesquelles il est procédé à la mesure de l'activité du radon, aux critères d'agrément des organismes habilités à procéder aux mesures de l'activité du radon, et aux objectifs, à la durée et au contenu des programmes de formation des personnes qui réalisent ces mesures.

### 4.3. EXPOSITIONS 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 celle-ci est susceptible de dépasser 1 mSv/an et si tel est le cas, de surveiller ces personnels. La Direction générale de l'aviation civile (DGAC) s'est associée à l'IRSN, à l'Observatoire de Paris et à l'Institut Polaire français - Paul Emile Victor (IPEV), afin de développer un outil d'évaluation des doses efficaces susceptibles d'être reçues par les travailleurs lors des vols : le système SIEVERT (Cf. ANNEXE 1, § 1.2).

En 2008, 12 compagnies françaises, dont Air France, avaient un abonnement à SIEVERT. Cela représente deux fois plus de compagnies qu'en 2007. Ainsi environ 24 000 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 2008, conformément à l'arrêté du 8 décembre 2003 qui fixe 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.

Le tableau 16 présente le bilan réalisé pour l'année 2008. Selon ce bilan, 17,5 % des doses individuelles annuelles sont inférieures à 1 mSv, et 82,5 % 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. La dose individuelle annuelle moyenne est de 2,2 mSv et la dose individuelle annuelle maximale atteint 5,1 mSv.

**Tableau 16 - Bilan 2008 des doses individuelles annuelles reçues par les personnels navigants (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		
20 275	3 553 (17,5 %)	5 891 (29 %)	5 287 (26 %)	4 616 (23 %)	925 (4,5 %)	3 -	2,2	5,1

<sup>33</sup> Rapport IRSN/DEI/SARG/2006-023

## 5. PERSPECTIVES D'EVOLUTION DU BILAN ANNUEL DES EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES

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

Dans ce contexte, la connaissance des doses reçues par les travailleurs s'améliore un peu plus chaque année.

Pour obtenir le panorama complet des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants, il faudrait que les données individuelles concernant les expositions naturelles renforcées (industries « NORM ») et les expositions professionnelles au radon, ainsi que les doses reçues par des travailleurs hors du territoire, soient mieux connues pour être également incluses dans le bilan. De récentes évolutions réglementaires sont intervenues pour permettre l'organisation de la surveillance de ces personnels. L'analyse des évaluations de doses réalisées par les exploitants des industries « NORM » a montré que les travailleurs concernés par certaines de ces activités sont potentiellement exposés à des doses non négligeables.

Une amélioration plus significative des bilans dosimétriques est par ailleurs attendue avec l'utilisation des données centralisées dans le système SISERI, lorsqu'un certain nombre de difficultés techniques seront levées concernant :

- la transmission des données de dosimétrie passive à SISERI par les laboratoires agréés aussi régulièrement que le prévoit la réglementation et dans le respect de la qualité des données exigée ;
- la transmission des données de la surveillance des expositions internes. Les actions menées par l'IRSN avec les laboratoires concernés ont conduit à une transmission effective des données par plusieurs laboratoires en 2009 ;
- la transmission des données concernant les personnels navigants. En 2008, seules deux compagnies transmettent les données. Cette transmission doit donc être généralisée à l'avenir ;
- l'utilisation d'une nomenclature unique des activités/métiers par tous les acteurs de la chaîne du suivi des expositions des travailleurs : employeurs, laboratoires et l'IRSN.

A ce jour, l'analyse par secteur d'activité des données dosimétriques des travailleurs exposés se heurte à plusieurs difficultés liées à la classification des travailleurs :

- chaque laboratoire de dosimétrie possède sa nomenclature propre, ce qui est incompatible avec l'agrégation des données nécessaire à la réalisation du bilan annuel des expositions,

données issues des différents laboratoires, qu'elles soient directement collectées auprès des laboratoires comme c'est le cas actuellement, ou extraites de SISERI ;

- la connaissance par le laboratoire du secteur d'activité d'un travailleur, ou au moins de l'entreprise qui l'emploie, dépend des informations fournies par cet employeur dans le cadre de son abonnement au laboratoire.

Afin de résoudre ces difficultés, l'IRSN a travaillé sur un projet de nomenclature unique des activités courant 2008. Ce projet a été présenté en 2009 et a reçu un accueil favorable du Comité d'orientation des conditions de travail (COCT). Cette nomenclature comporte quatre niveaux : le premier niveau concerne les grands domaines d'activité, les deuxièmes et troisièmes niveaux affinent successivement ces domaines en secteurs et sous-secteurs d'activités, et le quatrième niveau permet pour certains secteurs de distinguer les activités civiles et militaires.

La nouvelle nomenclature devra être partagée par tous les acteurs de la chaîne du suivi des expositions des travailleurs, employeurs, laboratoires et *in fine* l'IRSN, et être mise en œuvre à brève échéance. Pour anticiper cette mise en œuvre, il a été proposé aux laboratoires de préciser l'activité principale des établissements dont ils assurent le suivi en utilisant les deux premiers niveaux de la nomenclature. Le tableau 17 présente le bilan pour 2008 établi à partir des réponses des laboratoires. Cette information n'ayant pas été rendue disponible pour les sites du CEA, ceux-ci ne sont pas inclus dans le bilan suivant la nomenclature des secteurs d'activité. Les travailleurs du secteur de la défense (suivi par le SPRA ou appartenant à DCNS) ne sont pas non plus classés selon la nomenclature, à l'exception des personnels des hôpitaux d'instruction des armées qui sont inclus dans le secteur 1.12.

L'analyse de ce tableau montre que 9 % des travailleurs n'ont pas pu être classés suivant cette nouvelle nomenclature (pour ces travailleurs, même le domaine d'activité, correspondant au premier niveau de la nomenclature n'est pas connu). Parmi les travailleurs classés, 12 % sont affectés à une rubrique du premier niveau, à défaut d'une connaissance plus précise de leur activité. Ceci concerne en particulier les secteurs de l'industrie non nucléaire, lesquels sont soit non précisés, soit classés selon une nomenclature différente par les laboratoires : l'ensemble des travailleurs classés dans ce domaine est par conséquent affecté à la rubrique 3.9 (« Usages industriels - Autres »). Le domaine des transports est également concerné. Au total, ce sont les trois quarts de l'effectif total qui ont pu être classés selon les deux premiers niveaux de la nomenclature.

Cet exercice a permis d'une part de confirmer le besoin de mettre en place une nomenclature commune à l'ensemble des acteurs, d'autre part de vérifier la faisabilité de cette approche moyennant des ajustements pour certains secteurs.

L'exploitation des données de SISERI améliorera la robustesse des bilans dosimétriques annuels futurs. En particulier, le nombre de travailleurs surveillés devrait par ce moyen être plus précisément connu puisque SISERI permet d'identifier les travailleurs dont la dosimétrie a été assurée dans les différents laboratoires au cours de l'année, ce qui évite ainsi de compter un même travailleur plusieurs fois. Cela concerne essentiellement les travailleurs des entreprises extérieures intervenant dans les INB, ceux du domaine médical exerçant dans plusieurs établissements, et tout

travailleur ayant changé d'employeur au cours de l'année si ce changement implique également un changement de laboratoire de dosimétrie.

**Tableau 17 - Bilan des doses externes en 2008 suivant la nouvelle nomenclature**

Nomenclature	Effectif surveillé	< seuil	seuil à 1	1 à 6	6 à 15	15 à 20	20 à 50	> 50	Dose collective (homme.Sv)
<b>Nomenclature</b>	<b>299 768</b>	<b>220 170</b>	<b>50 320</b>	<b>27 516</b>	<b>1 694</b>	<b>52</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>93,98</b>
<b>1. Utilisations médicales</b>	<b>188 052</b>	<b>157 268</b>	<b>27 886</b>	<b>2 694</b>	<b>177</b>	<b>19</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>15,82</b>
1.1 Radiodiagnostic + Radiologie interventionnelle	110408	89183	19294	1761	145	17	6	2	11,014
1.2 Soins dentaires	32073	29881	2098	90	4	0	0	0	0,93
1.3 Médecine du travail et dispensaires	7774	6290	1358	119	7	0	0	0	0,675
1.5 Radiothérapie	8964	7183	1554	213	13	1	0	0	1,024
1.6 Médecine nucléaire	3346	2307	701	335	3	0	0	0	0,968
1.7 Laboratoires d'analyses	4170	4064	100	5	0	1	0	0	0,068
1.8 Irradiation de produits sanguins	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.9 Recherche médicale	81	77	3	1	0	0	0	0	0,003
1.10 Médecine vétérinaire	15137	14214	876	45	2	0	0	0	0,339
1.11 Logistique et maintenance (prestataires)	173	138	32	3	0	0	0	0	0,013
1.12 Autres	5926	3931	1870	122	3	0	0	0	0,785
<b>2. Transport de matières radioactives</b>	<b>260</b>	<b>179</b>	<b>77</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,03</b>
2.1 Nucléaire	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.2 Médical	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3 Autres	260	179	77	4	0	0	0	0	0,03
<b>3. Usages industriels</b>	<b>34 374</b>	<b>23 173</b>	<b>7 494</b>	<b>2 857</b>	<b>830</b>	<b>13</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>10,79</b>
3.1 Contrôles utilisant des sources de rayonnements	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.2 Soudage par faisceau d'électrons	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.3 Production conditionnement de radio-isotopes	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.4 Radiopolymérisation et traitement de surface	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.5 Stérilisations	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.6 Contrôle sécurité des personnes et des biens	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.7 Détection géologique (Well logging)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.8 Logistique et maintenance (prestataires)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.9 Autres	34374	23173	7494	2857	830	13	5	2	10,79
<b>4. Sources naturelles</b>	<b>20275</b>	<b>-</b>	<b>3553</b>	<b>16722</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>44,60</b>
4.1 Aviation	20275	-	3553	16722	0	0	0	0	44,60
4.2 Mines et traitement des minerais	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.3 Manipulation et stockage de NORM (U et Th)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.4 Activités entraînant une exposition au radon	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.5 Industries du gaz, du pétrole et du charbon	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.6 Autres	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>5. Nucléaire</b>	<b>48 554</b>	<b>32 039</b>	<b>10 617</b>	<b>5 191</b>	<b>686</b>	<b>20</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>22,41</b>
5.1 Propulsion nucléaire	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.2 Armement	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.3 Extraction et traitement de l' uranium	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.4 Enrichissement et conversion	600	257	224	119	0	0	0	0	0,304
5.5 Fabrication du combustible	1842	1003	483	299	57	0	0	0	1,512
5.6 Réacteurs et production d' énergie	19758	12968	4824	1949	17	0	0	0	5,763
5.7 Retraitement	2900	2635	244	21	0	0	0	0	0,106
5.8 Démantèlement	23	22	1	0	0	0	0	0	0,0004
5.9 Effluents, déchets	2268	1814	343	98	13	0	0	0	0,454
5.10 Logistique et maintenance (prestataires)	19626	11874	4429	2703	599	20	1	0	14,251
5.11 Recherche en nucléaire	1322	1252	69	1	0	0	0	0	0,016
5.12 Autres	215	214	0	1	0	0	0	0	0,003
<b>6. Autres</b>	<b>8 253</b>	<b>7 511</b>	<b>693</b>	<b>48</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,33</b>
6.1 Recherche et enseignement	8074	7333	692	48	1	0	0	0	0,327
6.2 Situations de crises	14	14	0	0	0	0	0	0	0
6.3 Organismes inspection, ctr	165	164	1	0	0	0	0	0	0,001
6.4 Activités à l'étranger	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Hors nomenclature</b>	<b>27 136</b>	<b>20 348</b>	<b>6 303</b>	<b>476</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2,98</b>
Défense	8884	3653	4966	263	2	0	0	0	1,938
CEA	6370	5957	348	65	0	0	0	0	0,268
Divers (non classés)	11882	10738	989	148	7	0	0	0	0,772
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>326 904</b>	<b>240 518</b>	<b>56 623</b>	<b>27 992</b>	<b>1 703</b>	<b>52</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>96,96</b>

## 6. SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

### 6.1. EVENEMENTS DE RADIOPROTECTION RECENSES 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 événements et incidents de radioprotection. Leur survenue témoigne en effet du niveau de qualité de la radioprotection dans les différents secteurs utilisant les rayonnements ionisants, en complément d'autres indicateurs tels que les doses individuelles moyennes reçues par les travailleurs, les doses collectives, etc. La connaissance des incidents et l'analyse des circonstances les ayant engendrés sont indispensables pour constituer un retour d'expérience et élaborer des recommandations visant à améliorer la protection des travailleurs.

Les événements de radioprotection recensés par l'IRSN recouvrent :

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

Parmi les 527 événements concernant la radioprotection que l'IRSN a recensés en 2008, 242 concernent directement les travailleurs. La répartition de ces événements par secteur d'activité est donnée dans le tableau 18, les chiffres des quatre années précédentes étant indiqués à titre de comparaison.

Les alertes des laboratoires de dosimétrie pour dépassement de limites réglementaires de dose, au nombre de 57 (Cf. chapitre 5), représentent 21 % des événements. Parmi ceux-ci, 63 % proviennent du secteur médical et 30 % du secteur de l'industrie non nucléaire. Il est à noter que plusieurs alertes peuvent concerner un même travailleur au cours de l'année. A la date de rédaction de ce rapport, 12 alertes sur les 57 sont restées sans aucun retour du médecin du travail et 4, dont les conclusions ne sont pas encore connues, sont toujours en cours de traitement par le médecin du travail. Avec les retours d'enquête qui ont été obtenus, le nombre de dépassements de limite réglementaire de dose pour l'année 2008 s'élève à 17 cas dont un cas de dépassement de la limite de dose équivalente aux extrémités (Cf. chapitre 5).

Les autres événements, au nombre de 190, concernent essentiellement le secteur de l'industrie (nucléaire et non nucléaire) et celui de la recherche (93 %). Il convient de souligner que cette répartition reflète l'existence d'une culture « déclarative » très forte dans le secteur des installations nucléaires de base (INB), basée sur des critères de déclaration précis. De tels critères

n'ont été définis qu'en 2007 dans le domaine industriel hors INB et dans le secteur médical, par un guide de l'ASN<sup>34</sup>.

La ventilation des événements selon les critères de déclaration définis par l'ASN pour les INB donne les résultats suivants :

- 58 événements ont été déclarés au titre du critère 7 « défaut de signalisation ou non respect des conditions techniques d'accès en zone réglementée ou interdite » ;
- 14 événements au titre du critère 3 « écart concernant la propreté radiologique » ;
- 12 événements au titre du critère 6 « situation anormale affectant une source scellée ou non scellée » ;
- 9 événements au titre du critère 4 « activité comportant un risque radiologique important réalisée sans une analyse de radioprotection formalisée » ;
- 1 événement au titre du critère 8 « défaillance non compensée des systèmes de surveillance radiologique qui permettent d'assurer la protection des personnels présents, lors d'activités comportant un risque radiologique important ».

Le critère 10 qui regroupe les événements qui ne peuvent être déclarés au titre des autres critères a fait l'objet de 38 déclarations.

**Tableau 18 - Evénements de radioprotection concernant les travailleurs en 2008**

	2004	2005	2006	2007	2008
Alertes de dépassements de limite réglementaire de dose					
- industrie	11	17	13	18	17+4*
- recherche	2	2	1	0	0
- transport	0	0	5	0	0
- secteur médical	42	63	48	54	36
- origine inconnue	0	0	1	0	0
<b>Total alertes de dépassements</b>	<b>55</b>	<b>82</b>	<b>68</b>	<b>72</b>	<b>57</b>
Autres événements					
- industrie et recherche	193	182	170	169	183
- secteur médical	2	8	9	10	/
<b>Total autres événements</b>	<b>195</b>	<b>190</b>	<b>179</b>	<b>179</b>	<b>190</b>
<b>TOTAL</b>	<b>250</b>	<b>272</b>	<b>247</b>	<b>251</b>	<b>247</b>

\* Industrie non nucléaire + industrie nucléaire

<sup>34</sup> Ce guide est disponible sur le site de l'ASN ( <http://www.asn.fr/> )

## **6.2. EXEMPLES D'INCIDENTS SURVENUS EN 2008 ET AYANT DONNE LIEU A UNE EXPERTISE DE L'IRSN**

### **6.2.1. INCIDENTS DANS DES ETABLISSEMENTS HOSPITALIERS**

Une manipulatrice d'un service de médecine nucléaire s'est accidentellement contaminée en manipulant une seringue contenant du fluor 18 au niveau de la blouse et du visage. L'estimation dosimétrique a conduit à établir une dose efficace de 33  $\mu$ Sv, une dose équivalente au cristallin de 5,7 mSv et une dose équivalente à la peau de 690 mSv. Cette dernière valeur est supérieure à la limite annuelle fixée par la réglementation (500 mSv sur 1 cm<sup>2</sup>). Ce dépassement s'ajoute à ceux mis en évidence dans le cadre de la surveillance dosimétrique des travailleurs.

Dans un autre hôpital, un incident de contamination par inhalation d'iode 131 a été révélé par la surveillance médicale périodique (analyse radiotoxicologie urinaire) et confirmé par un examen anthroporadiométrique auprès de deux manipulateurs et d'un médecin d'un service de médecine nucléaire. Les doses efficaces estimées sont de 1,1 mSv, 3,2 mSv et 5,7 mSv. L'origine de cet incident, classé au niveau 1 de l'échelle INES, serait liée aux opérations de décontamination de la hotte utilisée pour la manipulation de l'iode 131 en solution liquide, le protocole établi par le service n'ayant pas été correctement appliqué.

### **6.2.2. INCIDENT DANS UNE ENTREPRISE COMMERCIALISANT DES BOUTONS D'ASCENSEURS**

Suite à la détection de radioactivité lors du passage aux douanes de colis contenant des boutons d'ascenseur, l'IRSN a été mandaté pour effectuer des mesures pour évaluer l'exposition des travailleurs dans l'entreprise ayant commercialisé ces objets (MAFELEC). Les boutons d'ascenseurs, en provenance d'Inde, ont probablement été fabriqués à partir de métal recyclé contenant une source de Cobalt 60.

Les reconstitutions dosimétriques effectuées par l'IRSN ont montré qu'aucun des salariés de l'entreprise n'avait reçu une dose supérieure à 1 mSv<sup>35</sup>.

Cet événement a été classé au niveau 2 de l'échelle INES.

### **6.2.3. INCIDENT DANS UN ETABLISSEMENT DE RECHERCHE**

Suite à une surexposition accidentelle d'un expérimentateur dans un établissement de recherche (ONERA), l'IRSN a été mandaté par l'Autorité de Sûreté Nucléaire pour une analyse approfondie de l'accident et une reconstitution dosimétrique. L'opérateur est intervenu pendant plusieurs minutes dans un bunker servant à l'irradiation de composants électroniques, alors que la source radioactive utilisée pour cette opération n'était pas dans sa position normale, c'est-à-dire dans son enceinte de

---

<sup>35</sup> Informations disponibles sur le site de l'IRSN (<http://www.irsn.org/>)

sécurité. L'analyse a mis en évidence des dysfonctionnements matériels et organisationnels à l'origine de l'incident. L'opérateur a été exposé pendant plusieurs minutes aux rayonnements émis par une source radioactive de haute activité de cobalt 60. Le gestionnaire d'accès, intervenu au moment de la détection de l'incident, a également été exposé. Les reconstitutions ont mis en évidence une dose efficace comprise entre 120 et 130 mSv pour l'opérateur et une dose efficace comprise entre 2 et 8 mSv pour le gestionnaire d'accès. Il convient de souligner que l'opérateur n'était pas classé comme travailleur exposé au sens du code du travail. De ce fait, il ne bénéficiait pas d'un suivi dosimétrique de routine et il n'apparaît donc pas dans le bilan des dépassements de la limite réglementaire annuelle de dose enregistrés en 2008, présenté au chapitre 3, paragraphe 3.4.

Cet événement a été classé au niveau 3 de l'échelle INES.

## 7. 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 2008 permet de retenir les données marquantes suivantes :

### **Bilan de la surveillance de l'exposition externe par dosimétrie passive en 2008**

- *Effectif total surveillé : 306 629 travailleurs*
- *Dose collective de l'effectif total surveillé : 52,36 homme.Sv*
- *Dose individuelle annuelle moyenne sur l'ensemble des travailleurs surveillés : 0,17 mSv*
- *Dose individuelle annuelle moyenne sur l'ensemble des travailleurs surveillés ayant enregistré une dose supérieure au seuil d'enregistrement: 0,79 mSv*
- *Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 1 mSv : 13 041 travailleurs (soit 4,3 % de l'effectif total surveillé par dosimétrie passive)*
- *Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 20 mSv : 16 travailleurs*
- *Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle aux extrémités ou à la peau > 500 mSv : 2 travailleurs*

### **Bilan de la surveillance de l'exposition interne en 2008**

- *Nombre d'examens de routine réalisés : 292 419 examens (dont moins de 1 % considérés positifs)*
- *Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 210 travailleurs*
- *Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée > 1 mSv : 20 travailleurs*
- *Dose efficace engagée individuelle maximale enregistrée : 5,7 mSv*

### **Bilan de la surveillance de l'exposition aux rayonnements cosmiques en 2008**

- *Dose collective pour 20 275 personnels navigants : 44,6 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 4,3 % en 2008, ce qui confirme la tendance observée les années précédentes (+7,3 % en 2005 et +1,5 % en 2006 et +5,7 % en 2007) ;

- une diminution de 7,8 % de la dose collective totale associée aux expositions externes mesurées par dosimétrie passive est observée par rapport à 2007;
- les doses individuelles moyennes ont baissé par rapport à l'année précédente dans les domaines de l'industrie non nucléaire et de la recherche, et ont augmenté dans l'industrie nucléaire et dans le domaine médical. Il convient de souligner que ces variations résultent entre autres de la manière dont les travailleurs sont réaffectés entre les différents secteurs d'activité, qui évolue suivant les informations transmises par les laboratoires ;
- le nombre de travailleurs ayant reçu au cours de l'année une dose externe cumulée supérieure à 20 mSv est plus faible en 2008 (16 cas) qu'en 2007 (22 cas), confirmant la baisse régulière observée depuis 2003. En 2008, 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 9 % de l'effectif surveillé total, alors que la dose collective neutrons représente seulement 2 % de la dose collective totale (toutes composantes de rayonnements confondues). Les travailleurs concernés par cette surveillance supplémentaire sont employés essentiellement dans des installations nucléaires de base ; les doses individuelles correspondantes sont faibles en moyenne par rapport à celles dues aux rayonnements gamma, en dehors de certains établissements de l'industrie nucléaire où elles représentent 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 2008, les doses individuelles moyennes mesurées au niveau des poignets et des doigts sont de 2,1 mSv et 7,8 mSv respectivement. Un cas de dépassement de la limite annuelle de dose aux extrémités a été recensé dans le 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 2008, 20 cas de contamination interne ont été recensés, avec des valeurs de doses estimées ne dépassant pas 5,7 mSv ;
- le bilan de l'exposition externe des personnels navigants aux rayonnements cosmiques, établi à partir des données transmises par deux compagnies en 2008, témoigne d'une exposition externe non négligeable : 20 275 personnels navigants totalisent une dose collective de 44,6 homme.Sv, avec une dose individuelle annuelle moyenne de 2,2 mSv et maximale de 5,1 mSv ;
- le nombre « d'évènements de radioprotection » impliquant des travailleurs, recensés par l'IRSN, tous types et secteurs d'activité confondus, est stable par rapport à l'année 2007. Deux événements ont conduit à un dépassement de la limite réglementaire annuelle, dont un concernant un travailleur non classé comme exposé aux rayonnements ionisants.

## 8. 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] 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

[16] Rapport d'activité OPRI - 1996 - OPRI - Protection des travailleurs

[17] Rapport d'activité OPRI - 1997 - OPRI - Protection des travailleurs

[18] Rapport d'activité OPRI - 1998 - OPRI - Mission Information et Communication - Bilan scientifique

[19] Rapport d'activité OPRI - 1999 - OPRI - Mission Information et Communication - Bilan scientifique

[20] Rapport d'activité OPRI - 2000 - OPRI - Mission Information et Communication - La radioprotection des travailleurs exposés

[21] Rapport d'activité OPRI - 2001 - OPRI - Mission Information et Communication - La radioprotection des travailleurs exposés

[22] La radioprotection des travailleurs exposés (Eléments de statistiques dosimétriques de l'année 2002 communiqués à la DRT) - IRSN - A. BIAU

[23] Norme ISO 20553 (juillet 2006). Surveillance professionnelle des travailleurs exposés à un risque de contamination interne par des matériaux radioactifs.

# **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. 4453-21 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 opère dans une zone surveillée ou contrôlée.

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

Selon les circonstances de l'exposition, et notamment lorsque que celle-ci n'est pas homogène, le port de dosimètres supplémentaires doit permettre d'évaluer les doses équivalentes à certains organes ou parties du corps (tête, poignet, main, pied, doigt, abdomen, etc.) et de contrôler ainsi le respect des valeurs limites de doses équivalentes fixées aux articles R. 4451-12 et R. 4451-13 du code du travail.

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

### 1.1.1. LES ORGANISMES IMPLIQUES

A la fin de l'année 2008, les organismes ayant un agrément pour la surveillance individuelle de l'exposition externe des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants sont au nombre de 7 : DOSILAB, AREVA NC La Hague, AREVA NC Marcoule, IPHC de Strasbourg, IPN d'Orsay, LCIE-LANDAUER et le SPRA (les laboratoires de l'IRSN n'étant pas soumis à agrément).

### 1.1.2. LES DIFFERENTES TECHNIQUES

Il existe plusieurs techniques de dosimétrie passive :

- Le film photographique

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

- Le dosimètre thermoluminescent (TLD)

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

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

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

- Le dosimètre utilisant la radio photo luminescence (RPL)

Dans le cas de la technologie RPL, les rayonnements ionisants incidents arrachent des électrons à la structure d'un détecteur en verre. Ces électrons sont ensuite piégés par des impuretés contenues dans le verre. Il suffit alors de placer le dosimètre sous un faisceau ultra-violet pour obtenir une

« désexcitation » et donc une émission de lumière proportionnelle à la dose. Ce dosimètre offre également des possibilités de relecture.

- Le détecteur solide de traces

Ce dosimètre est l'une des deux techniques de dosimétrie des neutrons les plus utilisées, l'autre étant la technique TLD. Le détecteur solide de traces (plastique dur, en général du CR39<sup>36</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>37</sup> fixe les règles de mise en œuvre de la dosimétrie externe passive. Elle impose notamment l'utilisation de grandeurs opérationnelles<sup>38</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).

Le seuil d'enregistrement (plus petite dose non nulle enregistrée) et le pas d'enregistrement sont respectivement fixés par la réglementation à 0,1 mSv et à 0,05 mSv. Avant le 1<sup>er</sup> janvier 2008, le seuil d'enregistrement était fixé à 0,2 mSv. Certains laboratoires ont anticipé cette évolution et ont en 2007 enregistré les doses à partir de 0,1 mSv. Rappelons que le seuil d'enregistrement est à distinguer de la notion de seuil de détection du dosimètre.

Conformément à la réglementation, le seuil d'enregistrement des doses externes passives est passé de 0,20 à 0,10 mSv le 1<sup>er</sup> janvier 2008.

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

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

Le tableau I-1 rassemble les données relatives aux différents dosimètres utilisés en France en 2008.

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

<sup>36</sup> Columbia Resin 39

<sup>37</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>38</sup> Selon les recommandations de l'ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements).

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 2008**

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>39</sup> ou équipé d'un radiateur en téflon <sup>40</sup>	0,20	Neutrons : détecteur solide de trace CR-39 (Neutrak en modèle poignet)	0,20	-	-
IRSN (LSDOS, laboratoires du Vésinet et de Fontenay-aux-Roses)	X, $\beta$ , $\gamma$ : film (PS1 ou DC001 poitrine), TLD (poitrine) ou RPL <sup>41</sup> (poitrine)	0,1 (0,2 pour PS1, 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>42</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 (poitrine)	0,2	X, $\beta$ , $\gamma$ : Dosimètre film (poignet)	0,2	-	-
IPN (Orsay)	X, $\beta$ , $\gamma$ : film (PS1 poitrine)	0,2	X, $\beta$ , $\gamma$ : Dosimètre film (poignet)	0,2	X, $\beta$ , $\gamma$ : Bague TLD	0,2
	Neutrons : Détecteur solide de traces (à convertisseur en polyéthylène)	0,2	-	-	-	-
AREVA NC - La Hague	X, $\beta$ , $\gamma$ et neutrons : Cogebadge <sup>43</sup> (TLD)	0,1	X, $\beta$ , $\gamma$ et neutrons : extREM (TLD)	0,15	-	-
AREVA NC Marcoule	X, $\beta$ , $\gamma$ et neutrons : TLD	0,1	X, $\beta$ , $\gamma$ et neutrons : TLD	0,15	-	-
SPRA (Division technique, Clamart) - Surveillance des HIA seulement <sup>44</sup>	X, $\beta$ , $\gamma$ : OSL	0,1	X, $\beta$ , $\gamma$ : OSL	n.c.**	-	-

\* Ce seuil correspond à la valeur minimale de dose enregistrée. Dans le tableau 1 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.

\*\* donnée non communiquée

## 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>45</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

<sup>39</sup> Mesure des neutrons intermédiaires et rapide.

<sup>40</sup> Permettant la mesure supplémentaire des neutrons thermiques.

<sup>41</sup> Depuis janvier 2008.

<sup>42</sup> PN3 : détecteur de traces créées par les protons de recul sur les noyaux d'hydrogène.

<sup>43</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).

<sup>44</sup> Le SPRA utilise aussi des détecteurs solides de traces de type PN3 en dehors de la surveillance des HIA.

<sup>45</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

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 radionucléides en cause. La norme ISO 20553 [23] 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 anthroporadiométriques 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 organisme impliqués dans la surveillance de l'exposition interne**

A la fin de l'année 2008, 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 7 : AREVA NC La Hague, CEA Cadarache, CEA DAM Ile-de-France, CEA Grenoble, CEA Marcoule, EDF Saint-Denis et le SPRA. Le LABM du CEA Saclay a reçu un agrément en 2009, avant la publication du présent rapport. Les agréments sont délivrés sur décision de l'ASN pour une durée de 3 ans maximum (les laboratoires de l'IRSN n'étant pas soumis à agrément).

## **2.2. Les méthodes de mesure de contamination**

### **2.2.1. LES EXAMENS ANTHROPORADIAMETRIQUES**

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, équipées de système de mesure possédant un ou plusieurs détecteurs. Il s'agit soit de détecteurs semi-conducteurs de type Germanium Hyper Pur (Ge HP), soit de détecteurs à scintillation de type iodure de sodium dopé au thallium (NaI(Tl)).

L'identification des radionucléides présents est obtenue en comparant à des énergies caractéristiques, les pics d'absorption totale à celles des spectres des radionucléides enregistrés dans les bibliothèques de données nucléaires. L'activité est déterminée par comparaison entre l'aire des pics obtenus lors des mesures de personnes et les valeurs de référence obtenues lors de mesures de fantômes anthropomorphes utilisés pour l'étalonnage du système de détection. Cette technique est donc sensible à l'étalonnage : celui en énergie, réalisé à l'aide de sources étalons, et celui en efficacité, réalisé à l'aide de fantômes anthropomorphes dans lesquels on place des sources d'activité connue.

### **2.2.2. LES ANALYSES RADIOTOXICOLOGIQUES**

Les analyses radiotoxicologiques ont pour objet la mesure de la concentration d'activité présente dans un échantillon d'excréta. Les échantillons sont le plus souvent constitués de prélèvements

d'urines, de selles ou de mucus nasal. Des analyses radiotoxicologiques à partir d'échantillons sanguins ou de phanères peuvent également être réalisées.

Les émetteurs  $\alpha$  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>46</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 :

---

<sup>46</sup> Commission Internationale de Protection Radiologique

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

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

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

où  $I$  est l'activité incorporée (Bq) et  $\epsilon$  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 2007, pour un certain nombre de radionucléides caractéristiques. Ces données ont été obtenues dans le cadre d'une enquête réalisée auprès des différents laboratoires de dosimétrie interne. Il apparaît que pour un examen donné, les LD diffèrent parfois de plusieurs ordres de grandeurs d'un laboratoire à l'autre. Ceci s'explique par le fait que la LD dépend de nombreux paramètres, parmi lesquels la durée de la mesure (suivant le programme de surveillance, la durée de la mesure peut être augmentée pour atteindre une meilleure LD), le type et les performances intrinsèques du ou des détecteurs utilisés : efficacité, résolution, bruit de fond, ainsi que la géométrie servant à l'étalonnage de ces détecteurs. Les programmes de surveillance et les protocoles de mesures ne font pas à l'heure actuelle l'objet de procédures standardisées entre les laboratoires.

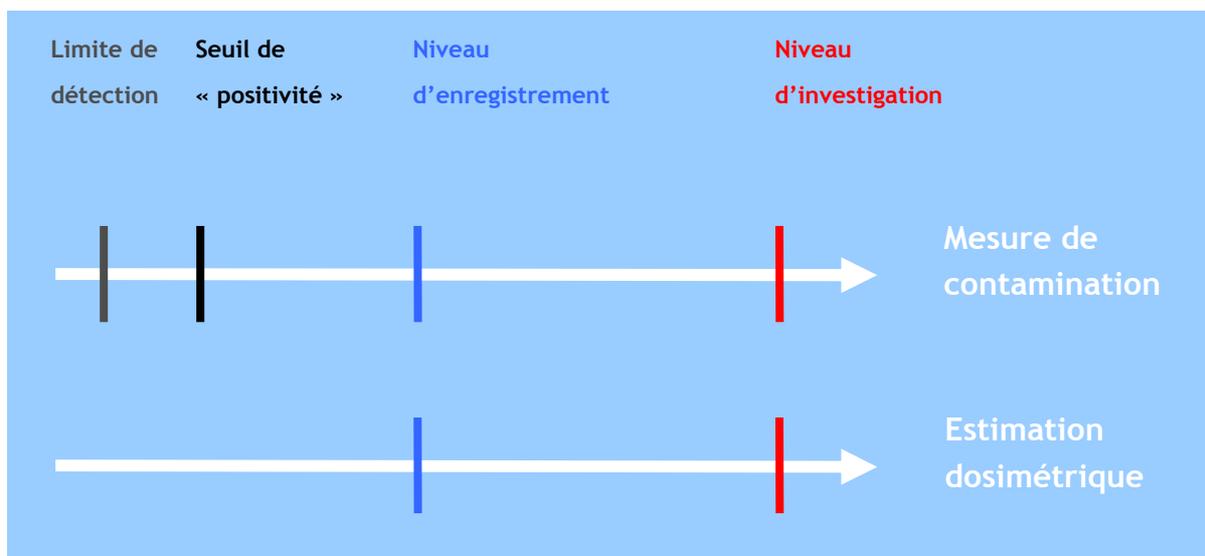


Figure I - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs

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

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

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

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 [23], 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'examen 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.

## **ANNEXE II : EXEMPLES D'ETUDES DE POSTE REALISEES PAR L'IRSN**

Dans le cadre de l'évaluation des risques liés aux rayonnements ionisants, l'employeur procède à une analyse des postes de travail qui est renouvelée périodiquement et à l'occasion de toute modification des conditions pouvant affecter la santé et la sécurité des travailleurs (article R. 4451-11 du code du travail). Cette analyse nécessite une évaluation des doses susceptibles d'être reçues par les travailleurs. Ceci implique la mise en œuvre d'outils et de méthodes de caractérisation du champ de rayonnement : type de particules, énergie, direction et intensité. Ces informations, auxquelles viennent s'ajouter la connaissance des activités des travailleurs, permettent de déterminer les doses reçues et de définir les dispositions adaptées : classification du personnel, zonage radiologique des locaux, moyens de surveillance dosimétrique, équipements de protection individuels et collectifs.

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

### **1. Etude dosimétrique dans l'environnement d'installations fixes de radiographie endo-buccale**

Dans le cadre d'une demande de l'Institut National de Recherche et de Sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles (INRS), l'IRSN a réalisé une étude ayant pour objet l'évaluation des niveaux d'exposition dans l'environnement de dispositifs médicaux de radiographie endo-buccale (« tubes rétroalvéolaires ») utilisés en art dentaire. Cette étude a porté sur deux appareils utilisés couramment dans les salles de soins, dont l'un équipé de capteurs numériques. Les résultats obtenus montrent que globalement l'exposition des opérateurs situés à proximité du patient est 3 fois plus élevée lorsque les clichés sont réalisés avec des films de vitesse E/F qu'avec des capteurs numériques. Les cartographies dosimétriques établies mettent en évidence des distributions anisotropes autour de la tête d'un patient installé dans le fauteuil de soins, comme le montre la figure II.

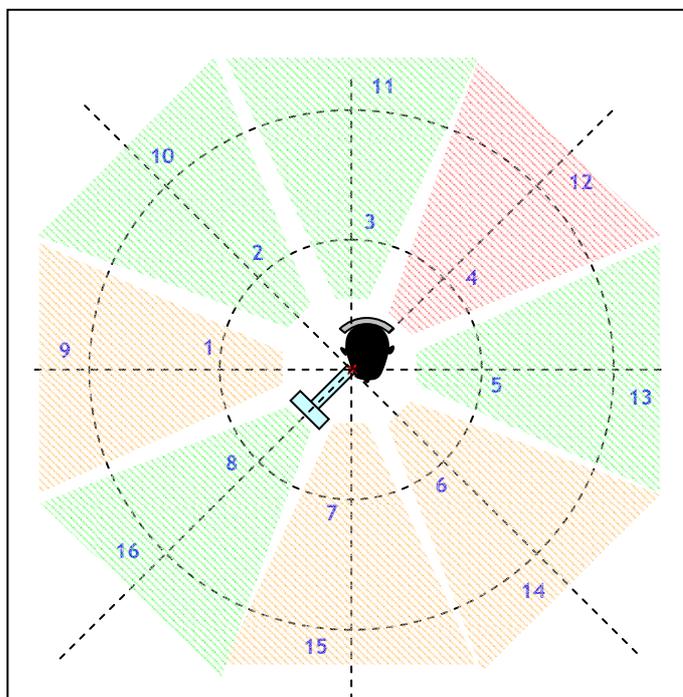


Figure II - Représentation des positions à 50 cm (1 à 8) et à 100 cm (9 à 16) autour du patient. Les zones hachurées vertes indiquent les positions favorables (risque d'exposition minimal), les zones oranges les positions à éviter et la zone rouge les positions fortement déconseillées (attention : ce code couleur ne correspond aucunement aux zones réglementaires de l'arrêté du 15 mai 2006)

## 2. Evaluation de deux dispositifs médicaux de tomographie volumique utilisés pour le diagnostic dentaire

En 2008, l'IRSN a mené, à la demande des constructeurs, deux études sur de nouveaux dispositifs de radiologie. La première étude concerne l'appareil GALILEOS (SIRONA), la seconde l'appareil KODAK 9500. Les résultats obtenus permettent de compléter les données connues pour ces dispositifs médicaux récemment apparus dans le domaine du diagnostic dentaire. En termes de kerma dans l'air à 1 mètre, la valeur maximale atteinte est du même ordre de grandeur pour les deux appareils. Ces études ont permis de caractériser de façon précise l'environnement radiologique de chaque installation, notamment en termes d'isotropie de la distribution des doses efficaces autour de l'appareil.

## 3. Evaluation de la contamination atmosphérique des services de médecine nucléaire

L'IRSN a réalisé, auprès de cinq établissements hospitaliers de la région parisienne, une étude visant à mieux connaître les problèmes de contamination atmosphérique pouvant se poser dans les services de médecine nucléaire, au sein desquels le personnel manipule des radioéléments sous forme non scellée. Cette démarche répond à la volonté des pouvoirs publics de faire évoluer la réglementation en matière d'aménagement des services de médecine nucléaire, tout particulièrement en ce qui concerne la ventilation de ces locaux (taux de renouvellement d'air et maintien en dépression).

Les résultats de cette campagne de mesures montrent une grande différence dans les taux de contamination entre les services de diagnostic et les services de radiothérapie métabolique. Dans les services de diagnostic, l'activité la plus potentiellement contaminante est la réalisation d'exams de ventilation pulmonaire : des contaminations au technétium 99m pouvant atteindre  $1\,410\text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  ont été observées, induisant au maximum des doses de l'ordre de  $20\ \mu\text{Sv}$  par an. Dans les autres locaux de ces services, seules de très faibles contaminations ont été relevées (de  $10^{-7}$  à  $10^{-3}$  LPCA<sup>47</sup>). Dans les services de radiothérapie métabolique, des contaminations à l'iode 131 de l'ordre de 1 LPCA ont été observées au niveau des chambres des patients. Des dispositions doivent donc être prises pour limiter la contamination des personnels ou celle injustifiée des patients non concernés par les traitements dans ces locaux.

Une grande disparité est également observée entre des services ayant des activités comparables : la configuration des locaux (volume) et leur aménagement influent énormément sur les résultats, ce qui semble justifier une étude au cas par cas.

---

<sup>47</sup> La LPCA est l'activité volumique de l'air qui le conduirait à atteindre par expositions externe (immersion) et interne (inhalation) une dose efficace de  $20\ \text{mSv}$  pour une année de travail (2000 heures) dans cette atmosphère contaminée.