

**IRSN**INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE*Faire avancer la sûreté nucléaire*

# La radioprotection des travailleurs

Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants  
en France : bilan 2014

PRP-HOM/2015-0004

Pôle radioprotection, environnement, déchets  
et crise



---

**RESUME**

Le bilan de la surveillance des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants concerne l'ensemble des secteurs d'activité soumis à un régime d'autorisation ou de déclaration, y compris ceux de la défense, dans les domaines des activités médicales et vétérinaires, de l'industrie nucléaire ou non nucléaire, de la recherche et de l'enseignement, ainsi que les secteurs concernés par une exposition à la radioactivité naturelle.

L'effectif suivi en 2014 dans le cadre des activités soumises à autorisation ou à déclaration est en augmentation de 2% par rapport à 2013, avec 359 646 travailleurs. Parallèlement, la dose collective<sup>1</sup> mesurée par dosimétrie externe passive s'établit à 56,28 h.Sv pour 2014, contre 68,47 h.Sv en 2013. Il faut toutefois noter que la dose collective de 2013 comprenait une composante de plus de 7 Sv se rapportant à l'enregistrement d'un dosimètre unique, dose qui ne correspondait pas pour sa plus grande partie à une irradiation vraisemblable du porteur de ce dosimètre. La dose individuelle moyenne sur l'ensemble de l'effectif suivi est donc à considérer comme plutôt stable par rapport à l'année précédente. Parmi les 13 072 travailleurs ayant reçu plus de 1 mSv (limite annuelle réglementaire fixée pour la population générale), 2 291 travailleurs ont reçu une dose supérieure à 5 mSv<sup>2</sup>. Une dose externe annuelle supérieure à 20 mSv (limite réglementaire de la dose efficace fixée pour les travailleurs) a été enregistrée pour 9 travailleurs. Un cas de dépassement de la limite de dose équivalente aux extrémités (500 mSv) a également été enregistré.

Ces tendances générales masquent cependant des disparités importantes dans la répartition des effectifs et des doses selon les domaines d'activité. Ainsi, le domaine médical et vétérinaire, qui regroupe la majorité des effectifs suivis (63%), et le domaine de la recherche (4% des effectifs) présentent les doses individuelles moyennes<sup>3</sup> les plus faibles, inférieures à 0,4 mSv. Les travailleurs du nucléaire et de l'industrie non nucléaire, représentant ensemble 30% des effectifs suivis, reçoivent les doses individuelles moyennes les plus élevées (respectivement 1,16 et 1,45 mSv).

Pour ce qui concerne le suivi de l'exposition interne, 306 220 examens ont été réalisés en routine en 2014. Ce nombre d'examens est en diminution par rapport à 2013. La répartition entre les différents types d'examen est de 48% d'analyses radiotoxicologiques des excréta vs 52% d'examens anthroporadiométriques. Le nombre de cas avérés de contamination interne reste faible : en 2014, 5 travailleurs ont eu une dose efficace engagée<sup>4</sup> supérieure à 1 mSv, la dose engagée maximale étant de 13,3 mSv pour l'un d'eux.

Concernant l'exposition à la radioactivité naturelle, ce rapport présente un bilan dosimétrique des personnels navigants de l'aviation civile, soumis au rayonnement cosmique, qui inclut les données des 18 110 travailleurs d'Air France. La dose individuelle moyenne de cette population est stable (1,8 mSv vs 1,9 en 2013) et la dose individuelle maximale s'élève à 4,2 mSv.

---

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

<sup>2</sup> La valeur de 5 mSv correspond au quart de la limite réglementaire annuelle pour la dose efficace.

<sup>3</sup> Les valeurs indiquées dans ce paragraphe correspondent à la dose moyenne calculée sur l'effectif ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement des dosimètres.

<sup>4</sup> En cas de contamination interne par un radionucléide, la dose dite engagée est celle délivrée sur toute la durée pendant laquelle le radionucléide est présent dans l'organisme. Par défaut, la période d'engagement considérée est de 50 ans.

---

---

**ABSTRACT**

National results of the individual monitoring of occupational exposure to ionizing radiation are reported for all civilian and military activities subject to authorization or declaration (i.e. medical and veterinary activities, nuclear industry, defence, non-nuclear industry and research), as well as for activities concerned by the enhanced exposure to natural radiation.

359 646 workers within activities subject to authorization or declaration were monitored by passive dosimetry in 2014, which represents an increase by 2% compared to 2013. Conversely the collective dose decreased from 68,47 to 56,28 man.Sv. However it must be noted that the collective dose for 2013 included a value exceeding 7 Sv registered on a unique dosimeter, which unlikely corresponds to a real irradiation of the worker wearing this dosimeter. Taking into account this particular event, the average individual dose in 2014 is very close to that in 2013. Furthermore, 13 072 workers received more than 1 mSv (i.e. the legal dose limit for the public), and 2 291 workers received more than 5 mSv. Nine workers received more than 20 mSv (i.e. the dose limit for the workers in the French regulation). Important differences are noticed according to the occupational activities: the average dose<sup>5</sup> in the medical and veterinary field (which represents 63% of the monitored workers) and that in the research field (4% of the monitored workers) are less than 0.4 mSv; the average doses are higher in the nuclear field and in the non-nuclear industry (representing together 30% of the monitored workers), respectively 1.16 and 1.45 mSv.

Concerning internal dosimetry, 306 220 individual examinations have been performed in 2014, 48% of which are radiotoxicological analysis of excreta and 52% are direct body countings. In 2014, 5 workers had a committed effective dose greater than or equal to 1 mSv and the maximum dose was 13.3 mSv.

Results of aircrew dosimetry are also reported: in 2014, the average individual dose of 18 110 aircrew members monitored within AIRFRANCE was found to be 1.8 mSv and the maximum individual dose was found to be 4.2 mSv.

---

**MOTS-CLES**

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

---

<sup>5</sup> Calculated over the number of workers having a dose above the minimum reporting level

# SOMMAIRE

<p><b>INTRODUCTION</b> p 11</p> <p><b>LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS</b> p 12</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• RAPPELS REGLEMENTAIRES p 12</li> <li>• MODALITES DE SURVEILLANCE p 14</li> <li>- Surveillance de l'exposition externe p 15</li> <li>- Surveillance de l'exposition interne p 17</li> <li>- Surveillance de l'exposition au rayonnement cosmique p 23</li> <li>- Surveillance de l'exposition aux matériaux NORM ou au radon d'origine géologique p 23</li> <li>- Centralisation des résultats de la surveillance individuelle dans SISERI p 25</li> <li>• MOYENS ET ACTIONS DE L'IRSN p 29</li> <li>• METHODOLOGIE p 35</li> </ul>	<p><b>DOMAINE INDUSTRIEL NON NUCLEAIRE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES p 82</li> <li>• BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES p 85</li> <li>• DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE p 87</li> <li>• SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION p 87</li> <li>• ZOOM SUR LA GAMMAGRAPHIE p 88</li> </ul>
<p><b>RESULTATS GENERAUX (hors radioactivité naturelle)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES p 40</li> <li>• BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES p 47</li> <li>• DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE p 50</li> <li>• SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION p 53</li> </ul>	<p><b>DOMAINE DE LA RECHERCHE ET DE L'ENSEIGNEMENT</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES p 94</li> <li>• BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES p 97</li> <li>• DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE p 98</li> <li>• SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION p 98</li> </ul>
<p><b>DOMAINE DES ACTIVITES MEDICALES ET VETERINAIRES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES p 56</li> <li>• BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES p 61</li> <li>• DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE p 63</li> <li>• SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION p 63</li> <li>• OPTIMISATION DE LA RADIOPROTECTION EN RADIOTHERAPIE p 64</li> </ul>	<p><b>EXPOSITION A LA RADIOACTIVITE NATURELLE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE p 102</li> <li>• EXPOSITION AUX MATERIAUX NORM OU AU RADON D'ORIGINE GEOLOGIQUE p 103</li> </ul>
<p><b>DOMAINE NUCLEAIRE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES p 68</li> <li>• BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES p 73</li> <li>• DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE p 78</li> <li>• SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION p 78</li> </ul>	<p><b>ENJEUX ACTUELS EN RADIOPROTECTION</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• RECENTS TRAVAUX CONCERNANT L'EXPOSITION DU CRISTALLIN p 107</li> <li>• TRANSPOSITION DES BSS P 108</li> <li>• PLATEFORME EUROPEENNE D'INFORMATION ET D'ECHANGES SUR LES EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES AUX RAYONNEMENTS IONISANTS (ESOREX) p 109</li> </ul> <p><b>CHIFFRES CLEFS</b> p 112</p> <p><b>CONCLUSIONS</b> p 113</p> <p><b>REFERENCES</b> p 114</p> <p><b>ANNEXE</b> p 116</p>

# TABLE DES ILLUSTRATIONS

## TABLEAUX

Tableau 1 - Valeurs limites d'exposition	p 12
Tableau 2 - Panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2014	p 16
Tableau 3 - Limites de détection des principales techniques de dosimétrie interne mises en œuvre en France en 2014	p 22
Tableau 4 - Surveillance de l'exposition externe dans les activités soumises à un régime d'autorisation ou de déclaration	p 41
Tableau 5 - Exposition interne : surveillance de routine dans les différents domaines d'activité en 2014	p 48
Tableau 6 - Exposition interne : surveillance spéciale dans les différents domaines d'activité en 2014	p 49
Tableau 7 - Dépassements des limites annuelles réglementaires de doses : bilan 2014	p 51
Tableau 8 - Evolution des événements concernant des travailleurs sur la période 2004 - 2014	p 54
Tableau 9 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine des activités médicales et vétérinaires	p 57
Tableau 10 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine des activités médicales et vétérinaires	p 62
Tableau 11 - Examens réalisées à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale) dans le domaine des activités médical et vétérinaire	p 62
Tableau 12 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine des activités médicales et vétérinaires	p 64
Tableau 13 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine nucléaire	p 69
Tableau 14 - Secteur d'activité de rattachement des établissements intervenant dans le domaine nucléaire (exposition interne)	p 73
Tableau 15 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine nucléaire	p 74
Tableau 16 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de selles dans le domaine nucléaire	p 75
Tableau 17 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de prélèvements nasaux dans le domaine nucléaire	p 76
Tableau 18 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques dans le domaine nucléaire	p 77
Tableau 19 - Examens réalisés à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale ou de contrôle) dans le domaine nucléaire	p 78
Tableau 20 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine nucléaire	p 79
Tableau 21 - Répartition des événements recensés dans le domaine nucléaire en fonction des critères de déclaration ASN	p 79
Tableau 22 - Surveillance de l'exposition externe dans l'industrie non nucléaire	p 83
Tableau 23 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans l'industrie non nucléaire	p 86
Tableau 24 - Examens réalisés à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale) dans l'industrie non nucléaire	p 86
Tableau 25 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans l'industrie non nucléaire	p 87
Tableau 26 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine de la recherche et de l'enseignement	p 95
Tableau 27 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine de la recherche et de l'enseignement	p 97

Tableau 28 - Examens réalisées à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale) dans le domaine de la recherche et de l'enseignement	p 98
Tableau 29- Répartition des événements recensés dans le domaine de la recherche en fonction des critères de déclaration ASN	p 99
Tableau 30 - Bilan 2014 des doses individuelles annuelles des personnels navigants de l'aviation civile (compagnie Air France)	p 102
Tableau 31 - Bilan 2014 des doses individuelles annuelles des personnels navigants de l'aviation militaire	p 102
Tableau 32 - Données relatives à l'exposition externe aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium	p 106
Tableau 33 - Données relatives à l'exposition interne aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium	p 106

## FIGURES

Figure 1 - Mesure anthroporadiométrique à l'aide de détecteurs GeHP	p 19
Figure 2 - Mesure de la radioactivité au sein d'échantillons urinaires par spectrométrie $\gamma$ dans le cadre d'analyses radiotoxicologiques	p 20
Figure 3 - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs	p 21
Figure 4 - Description du fonctionnement du système SISERI	p 28
Figure 5 - Fantôme anthropomorphe LIVERMORE	p 31
Figure 6 - Fantôme anthropomorphe COU (RDS)	p 31
Figure 7 - Traitement des alertes de dépassement d'une limite annuelle réglementaire	p 33
Figure 8 - Vues du laboratoire mobile d'anthroporadiométrie LMA	p 35
Figure 9 - Répartition (en pourcentage) des effectifs suivis par rapport au seuil d'enregistrement de la dose	p 42
Figure 10 - Répartition (en pourcentage) de l'effectif exposé en fonction de différentes classes de dose externe corps entier	p 42
Figure 11 - Répartition des effectifs suivis et des doses collectives pour la dosimétrie des neutrons en 2014	p 44
Figure 12 - Evolution des effectifs suivis et de la dose collective (photons + neutrons), de 1996 à 2014	p 45
Figure 13 - Evolution des effectifs suivis et des doses collectives « neutrons » de 2005 à 2014	p 45
Figure 14 - Répartition des effectifs suivis et des doses enregistrées aux extrémités en 2014	p 46
Figure 15 - Importance relative de la surveillance de l'exposition aux extrémités par dosimétrie par bague ou au poignet en 2014, suivant les domaines d'activité	p 47
Figure 16 - Nombre d'examens suivant les types d'analyses mises en œuvre pour assurer la surveillance de l'exposition interne dans les grands domaines d'activité en 2014 (surveillance de routine)	p 49
Figure 17 - Evolution, de 2006 à 2014, du nombre de travailleurs ayant une dose engagée supérieure à 1 mSv	p 50
Figure 18 - Evolution, de 1996 à 2014, du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv	p 52
Figure 19 - Répartition par domaine d'activité du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (période 2004-2014)	p 52
Figure 20 - Répartition des événements concernant des travailleurs selon leur domaine d'activité	p 53

Figure 21 - Répartition (en pourcentage) des effectifs suivis des principaux secteurs médicaux et vétérinaires, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose	p 58
Figure 22 - Répartition (en pourcentage) de l'effectif exposé des principaux secteurs médicaux et vétérinaires, en fonction de différentes classes de dose externe corps entier	p 58
Figure 23 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (période 1996-2014)	p 60
Figure 24 - Répartition des doses enregistrées pour la dosimétrie par bague en 2014 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires	p 61
Figure 25 - Appareil de tomothérapie (gauche) et représentation schématique de l'accélérateur en rotation, du faisceau en éventail et du bouclier primaire (droite)	p 65
Figure 26 - Répartition (en pourcentage) des effectifs suivis des principaux secteurs de l'industrie nucléaire, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose	p 70
Figure 27 - Répartition (en pourcentage) de l'effectif exposé des principaux secteurs de l'industrie nucléaire, en fonction de différentes classes de dose externe corps entier	p 71
Figure 28 - Répartition des effectifs suivis et des doses enregistrées en 2014 pour la dosimétrie neutron dans le nucléaire civil et militaire	p 72
Figure 29 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le nucléaire civil et militaire (période 1996-2014)	p 72
Figure 30 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans l'industrie non nucléaire (période 1996-2014)	p 84
Figure 31 - Proportion de travailleurs ayant une dose supérieure au seuil d'enregistrement dans les entreprises du secteur du contrôle non destructif, en fonction du type de source utilisé	p 89
Figure 32 - Proportion de travailleurs ayant une dose supérieure au seuil d'enregistrement parmi les titulaires du CAMARI, en fonction de l'option validée	p 90
Figure 33 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le domaine de la recherche et de l'enseignement (période 1996-2014)	p 96
Figure 34 - Distribution des doses efficaces calculées par les industriels pour les travailleurs, toutes catégories d'activités professionnelles confondues (période 2005-2014)	p 104
Figure 35 - Exemple de graphe présenté sur le site internet de la plateforme ESOREX	p 111

## TABLE DES FOCUS

Surveillance de l'exposition aux neutrons	p 17
Recommandations de bonne pratique pour la surveillance médico-professionnelle de l'exposition interne aux radionucléides en INB	p 18
Exposition des personnels navigants aux rayonnements ionisants	p 23
Des fiches radionucléides à destination des acteurs de la radioprotection	p 33
Exploitation de SISERI à des fins statistiques	p 45
Incident survenu en fond de piscine d'un CNPE	p 82
Fuite du conduit de rejet d'un cyclotron de production de radio-pharmaceutiques	p 90
Organisation de la première intercomparaison européenne de dosimètres passifs pour le cristallin	p 110

## PRINCIPALES ABREVIATIONS

AFNOR : Association française de normalisation  
 AP-HP : Assistance Publique - Hôpitaux de Paris  
 ASN : Autorité de Sûreté Nucléaire  
 CEA : Commissariat à l'Énergie Atomique et aux énergies alternatives  
 CEI : Commission Electrotechnique Internationale  
 CIPR : Commission Internationale de Protection Radiologique  
 CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique  
 CNPE : centre nucléaire de production d'électricité  
 COCT : Conseil d'Orientation sur les Conditions de Travail (Direction générale du travail, Ministère du travail, de l'emploi, de la formation professionnelle et du dialogue social)  
 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  
 EDF : Electricité de France  
 ERIA : base de données IRSN des Evènements de Radioprotection, Incidents, Accidents  
 ESNA : Escadrille des Sous-marins Nucléaires d'Attaque  
 HERCA : Heads of the European Radiological protection Competent Authorities  
 INES : International Nuclear Event Scale  
 INB : Installation Nucléaire de Base  
 INBS : Installation Nucléaire de Base Secrète  
 INRA : Institut National de la Recherche Agronomique  
 INRS : Institut National de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles  
 INSERM : Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale  
 IPHC : Institut Pluridisciplinaire Hubert CURIE  
 IPN : Institut de Physique Nucléaire d'Orsay  
 IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire  
 ISO : International Standard Organization  
 LBM : Laboratoire de Biologie Médicale  
 LAMR : Laboratoire d'Analyses Médicales Radiotoxicologiques de l'IRSN  
 LDI : Laboratoire de Dosimétrie de l'IRSN  
 MDT : Médecin du Travail  
 NORM : Naturally Occuring Radioactive Materials  
 OSL : Optically Stimulated Luminescence  
 PCR : Personne Compétente en Radioprotection  
 RNIPP : Répertoire National d'Identité des Personnes Physiques  
 RPL : RadioPhotoLuminescent dosimeter  
 SIEVERT : Système Informatisé d'Évaluation par Vol de l'Exposition au Rayonnement cosmique dans les Transports aériens  
 SIGIS : Système d'Information et de Gestion de l'Inventaire des Sources  
 SISERI : Système d'Information de la Surveillance de l'Exposition aux Rayonnements Ionisants  
 SPRA : Service de Protection Radiologique des Armées  
 SST : Service de Santé au Travail  
 TLD : ThermoLuminescent Dosemeter  
 UNSCEAR : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

# 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, modifié le 7 avril 2007 pour tenir compte de la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006, relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire. Comme les agences de sécurité sanitaire, 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 plus de 1 700 salariés, parmi lesquels de nombreux experts, ingénieurs 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 d'origine naturelle. 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 2014, compte tenu notamment de la nature des activités professionnelles, conformément aux dispositions de l'article R. 4451-128 du Code du travail.

# LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

## RAPPELS REGLEMENTAIRES

Conformément aux dispositions du code du travail (articles R.4451-1 et suivants), une surveillance de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants est mise en œuvre dès lors que ceux-ci sont susceptibles d'être exposés à un risque dû aux rayonnements ionisants résultant :

- d'activités nucléaires soumises à un régime d'autorisation ou de déclaration ;
- de la présence sur le lieu de travail de radionucléides naturels non utilisés pour leurs propriétés radioactives ;
- de la présence de rayonnement cosmique.

Cette surveillance s'applique à tous les travailleurs, salariés ou non-salariés (article R.4451-9 du code du travail).

A des fins de mise en place de la surveillance de l'exposition du travailleur, l'employeur procède à une analyse des postes de travail qui est renouvelée périodiquement et qui doit comprendre

une étude dosimétrique de ces postes (article R.4451-11 du code du travail). Sur la base de ces analyses, l'employeur procède au classement radiologique du travailleur. Le travailleur susceptible de recevoir, dans les conditions habituelles de travail, une dose efficace supérieure à 6 mSv par an ou une dose équivalente supérieure aux  $3/10^{\text{èmes}}$  des limites annuelles d'exposition est classé en catégorie A, sinon il est classé en catégorie B (articles R.4451-44 et 46 du code du travail).

Dès lors qu'il est classé en catégorie A ou B, le travailleur bénéficie d'un suivi dosimétrique individuel et d'une surveillance médicale renforcée. Le suivi dosimétrique individuel a notamment pour objectif de vérifier que le travailleur ne dépasse pas l'une des limites annuelles réglementaires de dose.

Les limites annuelles applicables en France (articles R.4451-12 et 13 du code du travail) sont rappelées dans le tableau 1.

*Tableau 1 - Valeurs limites d'exposition*

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

<sup>(\*)</sup> Un abaissement de la limite de dose au cristallin est attendu lors de la prochaine transposition en droit français de la directive 2013/59/EURATOM du 5 décembre 2013 révisant les «normes de base» relatives à la protection sanitaire contre les dangers de l'exposition aux rayonnements ionisants. Cette nouvelle directive européenne fixe désormais la limite de dose annuelle au cristallin à 20 mSv.

Les modalités et les conditions de la surveillance dosimétrique de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants ont été précisées dans l'arrêté du 17 juillet 2013 relatif à la carte individuelle de suivi médical et au suivi dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants, qui a abrogé l'arrêté du 30 décembre 2004 à compter du 1<sup>er</sup> juillet 2014, date d'entrée en vigueur du nouveau texte.

Le suivi dosimétrique doit être adapté au type de risque d'exposition du travailleur (article R. 4451-62 du code du travail). Le suivi dosimétrique de référence comprend, lorsque le travailleur est exposé à un risque d'exposition externe, un suivi par une dosimétrie externe passive. Lorsque le travailleur est exposé à un risque d'exposition interne, le suivi est effectué par des mesures radiotoxicologiques et/ou anthroporadiométriques qui permettent, le cas échéant, de calculer la dose efficace ou équivalente engagée. A cette dosimétrie de référence, s'ajoute une dosimétrie opérationnelle pour les travailleurs entrant en zone contrôlée.

S'agissant des travailleurs exposés à la radioactivité naturelle renforcée dans les industries dites « NORM », une surveillance dosimétrique doit être mise en place, comme pour tous les autres travailleurs (suivi de l'exposition externe voire interne) dès lors que les mesures de prévention des risques mises en place par l'employeur ne permettent pas d'assurer un niveau d'exposition inférieur à 1 mSv.

Les travailleurs susceptibles d'être exposés au radon, dès lors que les mesures de prévention prises par l'employeur ne permettent pas de réduire la concentration dans l'ambiance de travail à de ce gaz dans l'ambiance de travail à moins de 1 000 Bq/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle (Arrêté du 8 décembre 2008 portant homologation de la décision 2008-DC-0110 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 26 septembre 2008 relative à la gestion du risque lié au radon dans les lieux de travail) sont suivis individuellement au moyen d'un dosimètre spécifique.

Enfin, le personnel navigant exposé au rayonnement cosmique à un niveau susceptible de

conduire à une dose supérieure à 1 mSv sur 12 mois glissants est suivi au moyen d'une dosimétrie calculée.

L'IRSN, au moyen de l'outil SISERI, assure la centralisation de l'ensemble des résultats de la surveillance dosimétrique individuelle, sous une forme dématérialisée en permettant une gestion et un accès sécurisé aux informations recueillies (voir page 25). L'ensemble des informations nécessaires à l'établissement de la carte individuelle de suivi médical doivent être désormais transmises à SISERI.

En termes d'organisation, l'arrêté du 17 juillet 2013 détaille ainsi le dispositif mis en place pour recueillir, gérer et mettre ces informations à disposition des utilisateurs. Le rôle de chacun des acteurs (employeur, médecin du travail, personne compétente en radioprotection, organisme de dosimétrie) impliqués dans la surveillance de la dosimétrie des travailleurs y est ainsi explicité. En particulier, le renseignement des informations relatives au travailleur et leur transmission à SISERI relèvent d'une obligation de l'employeur.

L'arrêté du 17 juillet 2013 renforce également les exigences de délais d'obtention des résultats des mesures et de leur transmission à SISERI afin d'optimiser le dispositif. Chaque employeur est tenu de transmettre les dosimètres passifs à la fin de leur période de port et au plus tard 10 jours après l'échéance de cette période. De même, en situation optimale, chaque organisme de dosimétrie transmet les résultats de dosimétrie à SISERI le plus rapidement possible et au plus tard, 20 jours après la période de port des dosimètres passifs.

La plus grande précision des informations fournies à SISERI et notamment les informations relatives au domaine et au secteur d'activité, ainsi qu'au métier, au statut d'emploi des travailleurs devra à terme permettre d'affiner l'exploitation statistique des données dosimétriques relatives aux travailleurs exposés aux rayonnements ionisants et fournir ainsi une meilleure cartographie de la situation par secteur d'activité en France.

## MODALITES DE LA SURVEILLANCE

---

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

- la surveillance de l'**exposition externe** se fait par une dosimétrie externe qui consiste à estimer les doses reçues par une personne exposée dans un champ de rayonnements ionisants (rayons X, gamma, bêta, neutrons) générés par une source extérieure à la personne. Cette estimation est réalisée :

- au moyen de dosimètres passifs, portés par les travailleurs sur une période mensuelle pour les travailleurs classés en catégorie A et au plus trimestrielle pour les travailleurs classés en catégorie B. Ces dosimètres sont individuels et nominatifs et portés sous les équipements de protection individuelle, le cas échéant, et ils doivent être adaptés aux différents types de rayonnements. Ils permettent de déterminer la dose reçue par le corps entier (dosimètres portés à la poitrine) ou par une partie du corps (peau, doigts, cristallin), en différé après lecture par un organisme de dosimétrie agréé ou l'IRSN.

Lorsque le travailleur intervient dans une zone réglementée contrôlée, il doit en outre porter un dosimètre électronique (dosimétrie opérationnelle) ;

La mesure de rayonnements de nature différente peut rendre nécessaire le port simultané de plusieurs dosimètres qui, lorsque cela est techniquement possible, sont rassemblés dans un même conditionnement. Selon les circonstances de l'exposition, et notamment lorsque 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, cristallin, etc.) et de contrôler ainsi le respect des valeurs limites de doses équivalentes fixées aux articles R. 4451-12 et 13 du code du travail.

- par le calcul, au moyen du système SIEVERT PN ; pour ce qui concerne les doses de rayonnement cosmique reçues en vol par les personnels navigants ;

- la surveillance de l'**exposition interne** est assurée par des analyses / examens réalisés selon un programme de surveillance prescrit par le médecin du travail. Ce programme repose sur l'analyse des postes de travail qui comprend la caractérisation physico-chimique et radiologique des radionucléides susceptibles d'exposer le travailleur ainsi que leur période biologique, leur radiotoxicité et les voies d'exposition<sup>6</sup>. En milieu professionnel, la surveillance individuelle est concrètement assurée par des examens anthroporadiométriques (mesures directes de la contamination interne corporelle) et des analyses radiotoxicologiques (dosages réalisés sur des excréta). Les différents types de surveillance de l'exposition interne (systématique, spéciale,...) sont définis dans la norme ISO 20553 [1]. Lorsque l'exposition est avérée et jugée significative, un calcul de dose est réalisé.

Il existe une différence importante entre le suivi de l'exposition externe et le suivi de l'exposition interne. Le suivi de l'exposition externe repose sur des mesures directes et bien standardisées (en dehors du cas particulier du personnel navigant pour qui la dose est évaluée par un calcul). 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.

Dans le cas particulier de l'exposition résultant de l'inhalation des radionucléides naturels en suspension dans l'air (descendants à vie courte des isotopes 222 et 220 du radon et/ou émetteurs  $\alpha$  à vie longue des chaînes de l'uranium et du

---

<sup>6</sup> Afin d'éclairer les professionnels sur ces points, l'IRSN et l'INRS co-publient des fiches renseignant sur les différentes caractéristiques des radionucléides en sources non scellées (cf. Focus page 34).

thorium), la dose est déterminée à partir des mesures réalisées par un dosimètre spécifique.

En application de l'article R. 4451-64 du code du travail, les mesures ou les calculs nécessaires à la surveillance de référence des travailleurs exposés sont réalisés par l'un des organismes suivants :

- l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire ;
- un service de santé au travail titulaire d'un certificat d'accréditation ;
- un organisme de dosimétrie ou un laboratoire de biologie médicale (LBM) titulaire d'un certificat

d'accréditation et agréé par l'Autorité de sûreté nucléaire.

La réglementation française a également évolué en matière d'agrément des organismes de dosimétrie. L'arrêté du 21 juin 2013 relatif aux conditions de délivrance du certificat et de l'agrément des organismes en charge de la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants a introduit la norme d'accréditation applicable aux laboratoires de biologie médicale. Il modifie également l'organisation de la procédure d'accréditation et d'agrément des organismes en charge de la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs.

## SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION EXTERNE DANS LES ACTIVITES SOUMISES A AUTORISATION OU A DECLARATION

### *Les organismes de dosimétrie individuelle*

A la fin de l'année 2014, les organismes ayant un agrément pour la surveillance individuelle de l'exposition externe des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants sont au nombre de 7 : AREVA NC La Hague, AREVA NC Marcoule, DOSILAB, IPHC de Strasbourg, IPN d'Orsay, LANDAUER Europe et le SPRA.

Leurs coordonnées sont disponibles dans le menu Informations/Agrément du site internet SISERI :

[www.irsn.fr/SISERI](http://www.irsn.fr/SISERI)

A ces organismes s'ajoute le laboratoire de dosimétrie de l'IRSN, non soumis à agrément.

### *Les différentes techniques*

Le tableau 2 présente un panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2014. Les techniques utilisées en 2014 sont décrites ci-après.

#### **Le dosimètre thermoluminescent (TLD)**

De manière simplifiée, la thermoluminescence est la propriété que possèdent certains matériaux (le fluorure de lithium par exemple) de libérer, lorsqu'ils sont chauffés, une quantité de lumière qui est proportionnelle à la dose de rayonnements ionisants à laquelle ils ont été exposés. La mesure de cette quantité de lumière permet, moyennant un étalonnage préalable, de déterminer la dose de rayonnements ionisants absorbée par le matériau thermoluminescent. Le dosimètre TLD permet de détecter les rayonnements X,  $\beta$  et  $\gamma$ , et les neutrons moyennant l'utilisation de matériaux appropriés.

#### **Le dosimètre basé sur la luminescence stimulée optiquement (OSL)**

La technologie OSL, tout comme pour le TLD, repose sur le principe de lecture d'une émission de lumière par le matériau irradié, mais après une stimulation par diodes électroluminescentes au lieu du chauffage. Contrairement au TLD, l'OSL autorise la relecture du dosimètre. En effet, comme seule une petite fraction du dosimètre est stimulée, les dosimètres OSL peuvent être ré-analysés plusieurs fois. Les dosimètres OSL sont sensibles aux rayonnements X,  $\beta$  et  $\gamma$ .

#### **Le dosimètre utilisant la radio photo luminescence (RPL)**

Dans le cas de la technologie RPL, les rayonnements ionisants incidents arrachent des

électrons à la structure d'un détecteur en verre. Ces électrons sont ensuite piégés par des impuretés contenues dans le verre. Il suffit alors de placer le dosimètre sous un faisceau ultra-violet pour obtenir une « désexcitation » et donc une émission de lumière proportionnelle à la dose. Ce dosimètre offre également des possibilités de relecture. Il permet la détection des rayonnements X,  $\beta$  et  $\gamma$ .

**Le détecteur solide de traces**

La détection solide de traces est l'une des deux techniques de dosimétrie des neutrons, l'autre étant la technique TLD (cf. plus haut). Le détecteur solide de traces (plastique dur, en général du CR-39) est inséré dans un étui muni d'un « radiateur » qui, suivant sa composition, permet la détection des neutrons sur une large gamme d'énergie.

**Tableau 2 - Panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2014**

Secteur d'activité ou établissement	Dosimètres corps entier	Seuil* (en mSv)	Dosimètres poignets	Seuil* (en mSv)	Dosimètres Bagues	Seuil* (en mSv)
AREVA NC La Hague	X, $\beta$ , $\gamma$ et neutrons(d'albédo) : TLD	0,1 (0,34 pour les neutrons)	X, $\beta$ , $\gamma$ et neutrons : TLD	0,1 (pour les X et $\gamma$ )	-	-
AREVA NC Marcoule	X, $\beta$ , $\gamma$ et neutrons (d'albédo) : TLD	0,1 (0,33 pour les neutrons)	X, $\beta$ , $\gamma$ et neutrons : TLD	0,1	-	-
DOSILAB	X, $\beta$ , $\gamma$ : TLD	0,1	X, $\beta$ , $\gamma$ : TLD	0,1	X, $\beta$ , $\gamma$ : TLD	0,1
IPHC	X, $\beta$ , $\gamma$ : RPL	0,1	X, $\beta$ , $\gamma$ : RPL	0,1	-	-
IPN	X, $\beta$ , $\gamma$ : RPL	0,05	-	-	-	-
	Neutrons : détecteur solide de traces	0,1	-	-	-	-
IRSN	X, $\beta$ , $\gamma$ : RPL	0,05	X, $\beta$ , $\gamma$ : TLD	0,1	X, $\beta$ , $\gamma$ : TLD	0,1
	Neutrons : détecteur solide de traces	0,1	Neutrons : détecteur solide de traces	0,1	-	-
LANDAUER EUROPE	X, $\beta$ , $\gamma$ : OSL	0,05	X, $\beta$ , $\gamma$ : OSL	0,1	X, $\beta$ , $\gamma$ : TLD	0,1
	Neutrons : détecteur solide de traces (standard <sup>(*)</sup> ou équipé d'un radiateur en téflon <sup>(***)</sup> )	0,1	Neutrons : détecteur solide de traces	0,1	-	-
SPRA	X, $\beta$ , $\gamma$ : OSL	0,1	X, $\beta$ , $\gamma$ : OSL	0,1	-	-
	Neutrons : détecteur solide de traces	0,1	-	-	-	-

(\*) Ce seuil correspond à la valeur minimale de dose enregistrée (seuil d'enregistrement retenu par le laboratoire).

(\*\*) Mesure des neutrons intermédiaires et rapides.

(\*\*\*) Permettant la mesure supplémentaire des neutrons thermiques.

**Le seuil d'enregistrement des doses externes passives**

La réglementation fixe les règles de mise en œuvre de la dosimétrie externe passive. Elle impose notamment l'utilisation de grandeurs opérationnelles, à savoir les équivalents de dose individuels  $H_p(10)$ ,  $H_p(0,07)$  et  $H_p(3)$ , qui correspondent respectivement à la mesure de dose en profondeur dans les tissus (risque d'exposition du corps entier), à la mesure de dose à la peau (risque d'exposition de la peau et des extrémités) et à la mesure de la dose au cristallin, même si à la date de parution du présent rapport, aucun laboratoire n'est encore accrédité pour ce type de dosimétrie.

Selon la réglementation, le seuil d'enregistrement (plus petite dose non nulle enregistrée) ne peut être supérieur à 0,1 mSv et le pas d'enregistrement ne peut être supérieur à 0,05 mSv (valeurs applicables pour la dosimétrie corps entier depuis le 1er janvier 2008). Le seuil d'enregistrement est à distinguer de la notion de limite de détection du dosimètre qui caractérise la valeur à partir de laquelle, compte-tenu des performances techniques du dosimètre, la valeur mesurée est considérée comme valide.

## Surveillance de l'exposition aux neutrons

Cette surveillance concerne en France un peu plus de 10% de l'effectif total suivi par dosimétrie externe passive. Ces travailleurs interviennent principalement dans différents secteurs d'activité du nucléaire (fabrication et retraitement du combustible, décontamination des châteaux de transport du combustible irradié,...) mais une exposition aux neutrons est également possible auprès d'accélérateurs de particules utilisés dans le domaine médical, la recherche ou l'industrie, lorsque l'énergie de ces particules est élevée.

Les neutrons produisent des effets biologiques plus importants que les rayonnements X et  $\gamma$  pour une dose donnée, et contrairement à ces derniers, les effets des neutrons sont fortement dépendants de leur énergie (d'un facteur 5 à 20 selon les énergies). Suivant les postes de travail, la gamme d'énergie des neutrons auxquels peuvent être exposés les travailleurs est très étendue : de  $10^{-3}$  à  $10^8$  eV. A ceci s'ajoute le fait que, de par leur nature, les neutrons ne sont pas aisément détectables.

Aujourd'hui, les deux techniques utilisées pour la dosimétrie passive des neutrons sont (cf. tableau 2) :

- les dosimètres à albédo qui utilisent des détecteurs thermoluminescents. Fortement dépendants du spectre en énergie des neutrons, leur utilisation doit être réservée aux lieux de travail où le spectre neutronique est bien connu et stable ;
- les dosimètres à détection solide de traces nucléaires.

Parallèlement, les travailleurs doivent, lors de toute intervention en zone contrôlée, être équipés d'un dosimètre opérationnel (électronique) permettant également la détection des neutrons.

## SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION INTERNE DANS LES ACTIVITES SOUMISES A AUTORISATION OU A DECLARATION

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, l'exposition interne est appréciée en évaluant la dose engagée 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.

En pratique, sont concernés les travailleurs des installations nucléaires des domaines civil et militaire, des services de médecine nucléaire et des laboratoires de recherche utilisant des traceurs radioactifs (recherche médicale, biologique et radiopharmaceutique essentiellement).

La surveillance des personnels travaillant dans des installations nucléaires est assurée par les services de santé au travail (SST). Les analyses prescrites sont effectuées par les laboratoires de biologie

médicale (LBM) ou par les SST des entreprises exploitantes (défense, CEA, AREVA, EDF) dans certains cas.

S'agissant des professionnels du domaine médical et de la recherche, les examens prescrits par les médecins du travail sont pour la plupart réalisés par l'IRSN.

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 et du niveau de l'exposition, ainsi que des radionucléides en cause.

Cette surveillance consiste soit en des examens anthroporadiométriques qui permettent une mesure *in vivo* directe de l'activité des radionucléides présents dans l'organisme, 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). Ces techniques ne sont pas nécessairement exclusives

et peuvent être mises en œuvre conjointement pour un meilleur suivi de l'exposition. 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. Les mesures peuvent être réalisées à intervalle régulier, à l'occasion d'une manipulation inhabituelle ou encore en cas d'incident. La norme ISO 20553 [1] définit les programmes optimaux de surveillance individuelle :

- La surveillance de routine (ou surveillance systématique) est associée à des opérations continues et visant à démontrer que les conditions de travail, y compris les niveaux de doses individuelles, restent satisfaisantes et en accord avec les exigences réglementaires.
- La surveillance de chantier s'applique à une opération spécifique et permettant d'obtenir des données soit sur une opération spécifique d'une durée limitée, soit à la suite de modifications majeures appliquées aux installations ou aux procédures, ou mis en place pour confirmer que le programme de surveillance de routine est adéquat.
- La surveillance de contrôle est mise en place pour confirmer des hypothèses sur les

conditions de travail, par exemple que des incorporations significatives ne se sont pas produites.

- La surveillance spéciale : surveillance mise en place pour quantifier des expositions significatives suite à des événements anormaux réels ou suspectés.
- D'après les recommandations de bonne pratique publiées par la Société Française de Médecine du Travail en juillet 2011, la surveillance de chantier et la surveillance de contrôle sont considérées comme des cas particuliers de la surveillance de routine.

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. 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, grâce à des modèles tenant compte de la répartition du radionucléide dans l'organisme et de son devenir en fonction du temps (cf. p 20).

## FOCUS

### Recommandations de bonne pratique pour la surveillance médico-professionnelle de l'exposition interne aux radionucléides en INB

Considérant les difficultés opérationnelles exprimées par les SST pour assurer la surveillance de l'exposition interne aux radionucléides d'origine professionnelle dans les INB, un groupe de travail constitué de médecins du travail et d'experts (dont des experts de l'IRSN) a œuvré à l'élaboration d'un guide et recommandations de bonne pratique. Publié en juillet 2011, ce guide a pour objectif d'optimiser le suivi dosimétrique et médical des travailleurs exposés au risque d'exposition interne, dans le souci de promouvoir l'harmonisation des pratiques, le renforcement de la traçabilité des expositions internes et l'amélioration des actions d'information auprès des travailleurs concernés.

Les recommandations ont été élaborées selon la méthode pour la pratique clinique de la Haute Autorité de Santé, et reposent sur les connaissances scientifiques et le retour d'expérience des pratiques professionnelles en dosimétrie interne. Ces recommandations concernent le champ des installations nucléaires de base (INB) mais peuvent également servir de base à l'élaboration de recommandations couvrant les autres domaines d'activité.

Le guide est disponible sur le site de la Société Française de Médecine du Travail :

<http://www.chu-rouen.fr/sfmt/pages/accueil.php>.

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

Pour l'année 2014, les LBM ayant un agrément pour la surveillance individuelle de l'exposition interne des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants (radiotoxicologie et/ou anthroporadiométrie) sont au nombre de 11 : AREVA NC La Hague, CEA Cadarache, CEA DAM Ile-de-France, CEA DAM Valduc, CEA Grenoble, CEA Marcoule, CEA Saclay, EDF Saint-Denis, le Service de Protection Radiologique des Armées (SPRA), l'Escadrille des Sous-marins Nucléaires d'Attaque (ESNA) de Toulon

et DCNS Toulon. Les agréments sont délivrés sur décision de l'ASN pour une durée de 5 ans maximum. La société ALGADE dispose d'un agrément spécifique pour la surveillance individuelle liée à la radioactivité naturelle.

A ces organismes s'ajoutent les laboratoires de l'IRSN et les services de santé au travail (SST), agréés selon les conditions définies à l'article D.4622-48 du code du travail.

### Les méthodes de mesure de contamination

#### Les examens anthroporadiométriques

L'anthroporadiométrie 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  $\gamma$  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 anthroporadiométriques sont réalisées dans des cellules blindées, afin de réduire le bruit de fond radiatif ambiant, à l'aide de systèmes de mesure possédant un ou plusieurs détecteurs (figure 1). Il s'agit soit de détecteurs semi-conducteurs de type Germanium Hyper Pur (Ge HP), soit de détecteurs à scintillation de type iodure de sodium dopé au thallium (NaI(Tl)).

L'identification des radionucléides présents est obtenue en comparant, à des énergies caractéristiques, les pics d'absorption totale à ceux des spectres des radionucléides enregistrés dans les bibliothèques de données nucléaires. L'activité est déterminée par comparaison entre l'aire des pics obtenus lors des mesures de personnes et les valeurs de référence obtenues lors de mesures de fantômes anthropomorphes utilisés pour l'étalonnage du système de détection. Cette

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



Figure 1 - Mesure anthroporadiométrique pulmonaire à l'aide de détecteurs GeHP

#### Les analyses radiotoxicologiques

Les analyses radiotoxicologiques ont pour objet la mesure de la concentration d'activité présente dans un échantillon d'excréta (figure 2). Les échantillons sont le plus souvent constitués de prélèvements d'urine, de selles ou de mucus nasal. L'analyse des prélèvements nasaux n'a pas vocation à être utilisée dans le cadre d'une estimation dosimétrique ; il s'agit essentiellement d'une méthode de dépistage. Des analyses à partir d'échantillons sanguins, salivaires ou de phanères peuvent également être réalisées.

Les émetteurs  $\alpha$  peuvent être détectés par comptage  $\alpha$  global ou par spectrométrie  $\alpha$ . Le comptage  $\alpha$  réalisé à l'aide de compteurs proportionnels à gaz ou de détecteurs à scintillation (ZnS) permet de déterminer

rapidement le niveau d'activité, dans le contexte d'un incident par exemple.



**Figure 2 - Mesure de la radioactivité au sein d'échantillons urinaires par spectrométrie  $\gamma$  dans le cadre d'analyses radiotoxicologiques**

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

### *L'estimation 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 (publications 30, 56, 67, 69, etc.) et de modèles décrivant la biocinétique des radionucléides 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).

(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 radionucléide considéré, cette méthode est mise en œuvre directement ou à la suite d'une précipitation chimique sélective. Les émetteurs  $\beta$  peuvent également être mesurés à l'aide d'un compteur proportionnel après une étape préalable de séparation chimique du radionucléide.

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 radionucléides.

En pratique, une estimation dosimétrique comporte deux étapes :

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

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

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

où  $I$  est l'activité incorporée (Bq) et  $\epsilon$  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 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 pour l'inhalation, facteur de transfert gastro-intestinal f1 de 0 à 1 et diamètre aérodynamique médian en activité (DAMA) de 1 ou de 5 µm. *In fine*, l'établissement d'un scénario de contamination le plus réaliste possible, tenant compte des différentes mesures de contamination mises en œuvre dans le programme de surveillance du travailleur exposé et des conditions dans lesquelles a eu lieu la contamination, peut permettre d'adapter l'évaluation dosimétrique à la situation d'exposition spécifique.

### Les seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne

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 3 présente les limites de détection atteintes par ces méthodes dans les laboratoires français en 2014, pour un certain nombre de radionucléides caractéristiques. Ces données sont issues des portées d'accréditation de ces laboratoires par le COFRAC et des recommandations de bonne pratique (cf. Focus p 18) publiées par la Société Française de Médecine du Travail [2]. Il apparaît que, pour un examen donné, les LD diffèrent parfois de

plusieurs ordres de grandeur 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 LD plus basse), 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 mesure ne font pas à l'heure actuelle l'objet de procédures standardisées entre les laboratoires, même si des initiatives sont en cours.

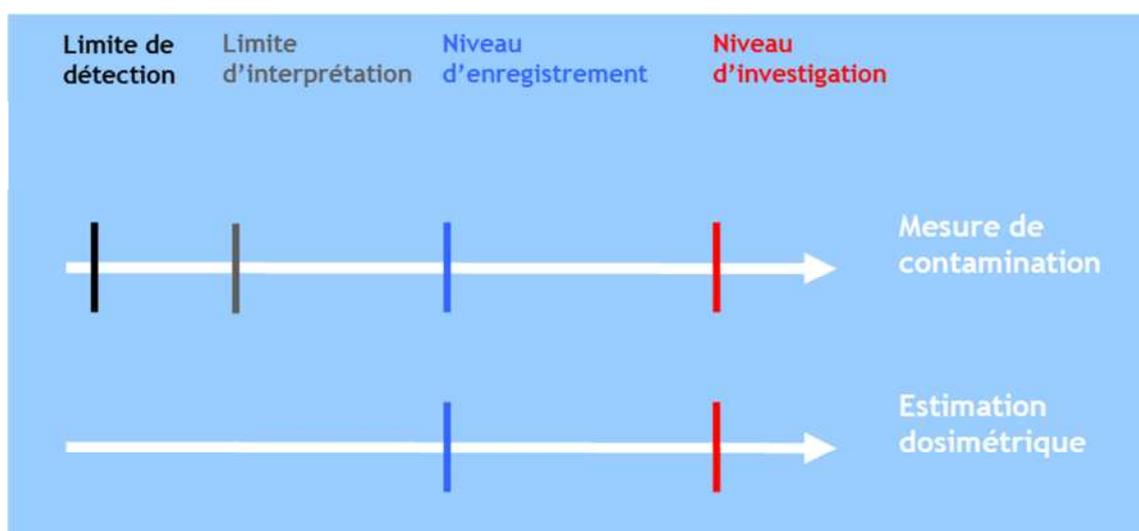


Figure 3 - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs

Pour certains examens, ou pour répondre à des situations particulières, le laboratoire peut rendre un résultat à partir d'une limite d'interprétation

opérationnelle définie au préalable avec le prescripteur, qui est supérieure à la LD, au-delà de laquelle l'analyse ou l'examen est considéré

positif. 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 l'ensemble des laboratoires réalisant cette analyse. Cependant, un de ces laboratoires indique une limite d'interprétation opérationnelle égale à 0,07 Bq par prélèvement, de façon à s'affranchir d'une mesure d'uranium d'origine naturelle (présence dans la chaîne alimentaire), non pertinente dans le cadre de la surveillance des travailleurs exposés. Il faut préciser que la limite d'interprétation opérationnelle n'est pas définie dans la norme ISO 20553 [1]. Dans les bilans statistiques présentés dans ce rapport, sont précisés les nombres d'exams considérés comme positifs, c'est-à-dire ceux dont le résultat est supérieur à la limite d'interprétation opérationnelle ou, à défaut, supérieur à la LD. Dans le cas où la mesure dépasse la limite d'interprétation opérationnelle (à défaut, la LD), le médecin du travail a la responsabilité de réaliser ou non une estimation dosimétrique. Deux niveaux de référence sont définis par la norme ISO 20553

[1] 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), soit 1 mSv. C'est le niveau de référence qui a été considéré dans les bilans statistiques présentés dans ce rapport.

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

**Tableau 3 - Limites de détection des principales techniques de dosimétrie interne mises en œuvre en France en 2014**

Type d'examen	Type de rayonnements	Radionucléide(s) considéré(s)	Limites de détection (LD)
Radiotoxicologie des prélèvements nasaux	$\alpha$ $\beta$ $\gamma/X$		de 0,1 à 0,11 Bq(*) de 0,02 à 4 Bq(*) 37 Bq(*)
Radiotoxicologie des selles	$\alpha$ $\gamma/X$	actinides $^{60}\text{Co}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{54}\text{Mn}$ , $^{110}\text{Ag}$	de 0,0002 à 0,002 Bq(*) 1 Bq(*)
Radiotoxicologie des urines	$\alpha$	uranium pondéral uranium actinides (sauf uranium) $^3\text{H}$ $^{14}\text{C}$ $^{32}\text{P}$ $^{35}\text{S}$ $^{36}\text{Cl}$ $^{90}\text{Sr}$ $\beta$ totaux	de 0,1 à 4 $\mu\text{g/L}$ de 0,0002 à 0,01 Bq de 0,0002 à 0,002 Bq de 15 à 1 850 Bq/L de 60 Bq/L à 370 Bq/L de 3,5 à 15 Bq/L de 4,5 à 20 Bq/L de 60 à 200 Bq/L de 0,2 à 0,6 Bq/L de 0,12 Bq/L à 0,4 Bq/L
	$\beta$		
	$\gamma/X$	tous radionucléides	1 à 75 Bq/L
Anthroporadiométrie corps entier	$\gamma/X$	$^{137}\text{Cs}$ $^{60}\text{Co}$	de 50 Bq à 300 Bq de 50 Bq à 300 Bq
Anthroporadiométrie pulmonaire	$\gamma/X$	$^{241}\text{Am}$ $^{235}\text{U}$ $^{239}\text{Pu}$	de 5 Bq à 15 Bq de 7 Bq à 14 Bq 1 000 à 7 000 Bq
Anthroporadiométrie de la thyroïde	$\gamma/X$	$^{131}\text{I}$ $^{125}\text{I}$	de 2 Bq à 30 Bq de 20 à 25 Bq

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

## SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE

Depuis plus d'une dizaine d'années, le Système d'Information et d'Evaluation par Vol de l'Exposition au Rayonnement cosmique dans les Transports aériens (SIEVERT, [www.sievert-system.org](http://www.sievert-system.org)), développé conjointement par la Direction générale de l'aviation civile (DGAC), l'Observatoire de Paris, l'Institut Polaire français - Paul Emile Victor (IPEV) et l'IRSN, 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 (cf. Focus page suivante). Les doses sont évaluées en fonction des paramètres du vol. Un modèle est utilisé pour élaborer les cartographies de débits de dose de rayonnement cosmique jusqu'à une altitude de 80 000 pieds.

L'IRSN propose aux compagnies une gestion automatisée reposant sur un fichier fournissant les données des vols réalisés sur 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 de l'espace aérien et, en cumulant les doses élémentaires des mailles successives, en déduit la dose reçue au cours de ce vol.

A ce stade, les données dosimétriques ne sont pas nominatives. Précédemment, il appartenait à l'employeur de cumuler les doses calculées pour les différents vols effectués au cours d'une année par chaque personnel navigant et de les transmettre au système SISERI. Depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2014, date d'entrée en vigueur de l'arrêté du 17 juillet 2013 relatif à la carte de suivi médical et de suivi dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants, le dispositif a évolué et c'est l'IRSN qui réalise le calcul des doses individuelles pour chaque personnel navigant, via l'application SIEVERT PN, à partir des données de vol et de présence des personnels fournies par les compagnies. Ces données dosimétriques sont ensuite transmises automatiquement au registre national de la dosimétrie des travailleurs SISERI.

## SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION AUX MATERIAUX NORM OU AU RADON D'ORIGINE GEOLOGIQUE

L'arrêté du 17 juillet 2013 relatif à la carte de suivi médical et au suivi dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants stipule que la surveillance dosimétrique des travailleurs exposés à une source naturelle de radioactivité consiste soit en une mesure à partir de dosimètre individuel, soit en une évaluation par le calcul. Pour ce qui est de la mesure, l'exposition externe est suivie au moyen de la dosimétrie passive. Aux laboratoires agréés cités p 15 s'ajoute la société ALGADE qui est agréée pour la surveillance individuelle au moyen de dosimètres TLD (seuil d'enregistrement de 0,1 mSv) de l'exposition externe des travailleurs exposés aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium.

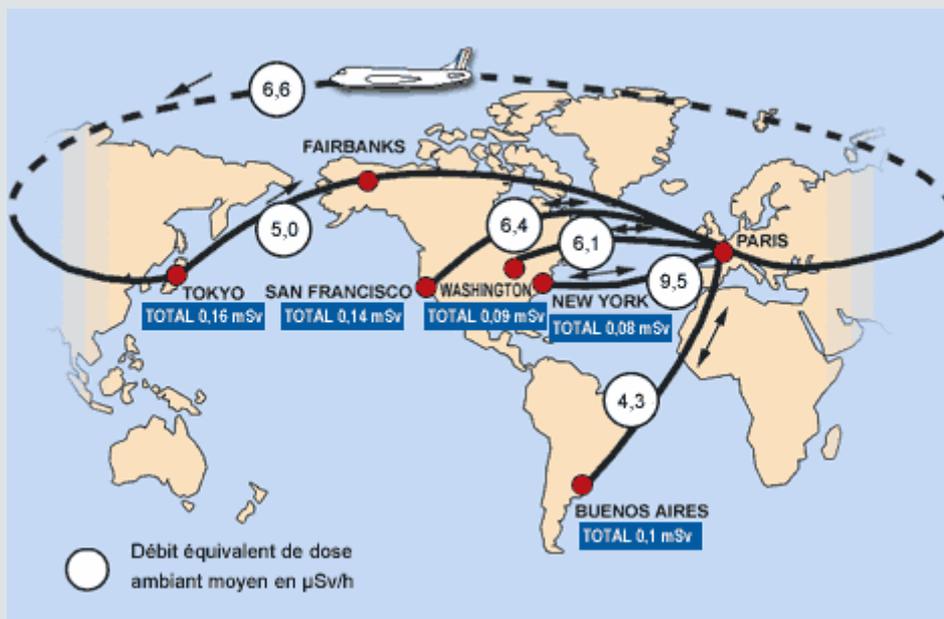
L'exposition résultant de l'inhalation des radionucléides naturels en suspension dans l'air (descendants à vie courte des isotopes 222 et 220

du radon et/ou émetteurs  $\alpha$  à vie longue des chaînes de l'uranium et du thorium), est suivie au moyen d'un dosimètre spécifique adapté pour une mesure intégrée sur la période d'exposition. Le dosimètre mesure l'énergie  $\alpha$  potentielle des descendants à vie courte des isotopes 222 et 220 du radon et l'activité susceptible d'être incorporée par inhalation des émetteurs  $\alpha$  à vie longue des chaînes de l'uranium et du thorium. La dose est estimée en appliquant les facteurs de conversion mentionnés dans l'annexe III de l'arrêté du 1<sup>er</sup> septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants. Actuellement, seule la société ALGADE est agréée pour la surveillance de ces expositions, réalisée au moyen du dosimètre alpha individuel.

## FOCUS

## Exposition des personnels navigants aux rayonnements ionisants

La terre reçoit en permanence des particules, provenant des explosions de supernova de notre galaxie ou d'éruptions solaires, qui constituent le rayonnement cosmique. L'exposition à ce rayonnement croît avec l'altitude car la protection de l'atmosphère diminue. Sont donc principalement concernés les spationautes ainsi que les personnes utilisant fréquemment les moyens de transports aériens, notamment les personnels navigants. L'exposition varie également avec l'itinéraire emprunté par l'avion ; elle est plus forte aux pôles qu'à l'équateur. Voici à titre d'exemple les doses en millisieverts (mSv) reçues pour quelques routes représentatives :



Mesures réalisées sur des routes représentatives des différentes situations d'exposition aux rayonnements cosmiques. Dans les cercles, est mentionné le débit d'équivalent de dose ambiant moyen sur le vol en microsieverts par heure (µSv/h). La dose totale est donnée pour un aller-retour en millisieverts (mSv). Pour le vol Paris-New York, la mesure a été effectuée en Concorde.

Source : IRSN

L'exposition au rayonnement cosmique présente un caractère inéluctable et se prête difficilement à des mesures de protection comme l'ajout de blindages. En revanche, elle est prévisible et donc planifiable, dans une certaine mesure, si besoin. Les bilans réalisés ces dernières années ont établi que le personnel navigant reçoit une dose annuelle individuelle moyenne de l'ordre de 2 mSv, la dose maximale étant de l'ordre de 5 mSv. Ces valeurs sont proches de celles observées dans d'autres pays européens tels que l'Allemagne ou les Pays-Bas.

#### Programme de mesures permanentes en vol

L'IRSN a mis en place depuis 2013, en partenariat avec Air France, un programme de mesures en vol. Ce programme consiste à déployer des dosimètres électroniques à bord d'une vingtaine d'avions de telle sorte qu'à tout moment, un nombre suffisant de dosimètres se trouve en permanence en vol, répartis de façon globalement homogène sur le globe. L'objectif est d'acquérir de nouvelles données pour caractériser l'impact dosimétrique associé aux éruptions solaires, par nature non prévisibles, dans le but d'affiner les modèles existants.

## CENTRALISATION DES RESULTATS DE LA SURVEILLANCE INDIVIDUELLE DES TRAVAILLEURS DANS SISERI

Le système SISERI, dont la gestion a été réglementairement confiée à l'IRSN, a été mis en service en 2005. Il centralise, consolide et conserve l'ensemble des résultats de la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs afin de constituer le registre national d'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants. Les informations dosimétriques individuelles enregistrées dans SISERI sont mises à disposition des médecins du travail et des personnes compétentes en radioprotection (PCR) via Internet ([www.irsn.fr/siseri](http://www.irsn.fr/siseri)) afin d'optimiser la surveillance médicale et la radioprotection des travailleurs (figure 4). Ces données ont aussi vocation à être exploitées à des fins statistiques et épidémiologiques.

De 2005 à 2010, le système d'information SISERI a été progressivement doté des fonctionnalités lui permettant d'être en capacité de recevoir l'ensemble des données de la surveillance de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants, à savoir les résultats de :

- la dosimétrie externe passive (corps entier, peau, extrémités, cristallin), transmise par les organismes de dosimétrie ;
- la surveillance de l'exposition interne, à savoir les résultats des analyses radiotoxicologiques et des examens anthroporadiométriques fournis par les Laboratoires de Biologie Médicale (LBM) ou les Services de Santé au Travail (SST), et, lorsque les circonstances le nécessitent et le permettent, les doses efficaces engagées et/ou les doses équivalentes engagées calculées par les médecins du travail ;
- la surveillance de l'exposition résultant de l'inhalation des descendants à vie courte des isotopes du radon et/ou des émetteurs à vie longue des chaînes de l'uranium et du thorium, transmis par l'organisme agréé ;
- la dosimétrie des personnels navigants,
- la dosimétrie externe opérationnelle, envoyée directement par les personnes compétentes en radioprotection (PCR) des établissements devant mettre en place ce type de surveillance du fait du classement de certains de leurs locaux en « zones contrôlées ».

En 2010, le système SISERI est entré dans une phase de fonctionnement « de croisière » au regard des obligations de centralisation, de consolidation et de conservation des données dosimétriques individuelles.

Néanmoins, sur la base du retour d'expérience des premières années de fonctionnement, l'IRSN avait, dès 2009, alerté les autorités sur les difficultés rencontrées dans la gestion du système et surtout sur ses lacunes concernant les informations nécessaires à son exploitation à des fins statistiques, selon les dispositions réglementaires prises à l'article R. 4451-128 du code du travail. S'en est alors suivie une réflexion pour intégrer dans SISERI, en plus des résultats de la surveillance dosimétrique individuelle, des informations relatives aux activités, métiers et statut d'emploi de chacun des travailleurs recensés dans ce registre. Cette réflexion s'est concrétisée par la publication de l'arrêté du 17 juillet 2013 relatif à la carte de suivi médical et au suivi dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants, abrogeant l'arrêté du 30 décembre 2004. Ce nouvel arrêté renforce le rôle de SISERI dans le dispositif national de surveillance de l'exposition des travailleurs. Il impose aux employeurs de désormais déclarer dans SISERI des informations « administratives » (identité, activité, métier, statut d'emploi, quotité de travail...) et confère à SISERI la mission de gérer les cartes de suivi médical sur la base de ces informations et de mettre ces cartes à disposition des médecins du travail.

Afin de s'adapter aux nouvelles dispositions réglementaires de l'arrêté du 17 juillet 2013 et d'assurer les nouvelles fonctionnalités qui lui sont attribuées, le système d'information SISERI a dû évoluer. Ce chantier a nécessité une analyse fonctionnelle détaillée pour engager des développements informatiques conséquents qui se sont achevés au début de l'année 2014. Ils se sont concrétisés avec l'ouverture aux utilisateurs de la nouvelle version de SISERI en mars 2014. Ceci a permis d'offrir aux utilisateurs une période d'appropriation des nouvelles fonctionnalités, avant l'entrée en vigueur de l'arrêté du 17 juillet 2013, le 1<sup>er</sup> juillet 2014.

### *Les nouvelles fonctionnalités de SISERI*

Les employeurs sont, depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2014, tenus d'enregistrer dans SISERI, pour chacun des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants, les informations figurant à l'article 7 de l'arrêté. A cette fin, ils doivent désigner un Correspondant SISERI de l'Employeur (CSE) ; celui-ci dispose d'un accès sécurisé à SISERI, lui permettant de renseigner les informations requises. La désignation de ce CSE est comparable à la désignation de la PCR et du MDT par l'employeur : elle se fait au travers de la signature par l'employeur d'un protocole d'accès à SISERI, au titre duquel CSE, PCR et MDT autorisés à se connecter sont nommément désignés.

#### **Une démarche de signature du protocole d'accès entièrement dématérialisée**

La signature de ce protocole est entièrement dématérialisée grâce à une application informatique dédiée, l'application PASS (Protocole d'accès sécurisé à SISERI) accessible depuis le site public SISERI. Après signature (électronique) de ce protocole, chacune des personnes désignées au titre de ce dernier doit retirer, sur une adresse internet, un certificat électronique d'authentification et de chiffrement des données, à installer sur son poste de travail (procédure détaillée sur le site public SISERI), et reçoit par mail un code d'accès confidentiel à SISERI, garantissant la sécurité et la confidentialité des envois ou des consultations de données.

#### **Des pages de SISERI dédiées aux CSE**

Le CSE dispose de pages dédiées lui permettant de renseigner, modifier ou compléter les informations exigées par l'article 7 de l'arrêté. Des possibilités de gestion de la liste des travailleurs sont offertes afin de permettre des regroupements en sous-listes, en adéquation avec le découpage opérationnel (regroupement en sous-unités, par établissement...). Des possibilités de téléchargement par le CSE ou la PCR de listes de travailleurs comprenant les informations administratives requises par l'arrêté sont offertes. Avec ces facilités, l'employeur peut renvoyer vers les organismes de dosimétrie agréés, les informations nécessaires à la mise en place du suivi dosimétrique, sans nouvelle saisie.

#### **Une carte de suivi médical pré-remplie à disposition du MDT**

A partir des informations transmises par le CSE ou des informations déjà présentes dans SISERI complétées, le cas échéant, par le CSE, SISERI prépare une carte de suivi médical virtuelle pré-remplie, pour chacun des travailleurs. En se connectant sur SISERI, le médecin du travail visualise cette carte, la complète des informations relevant de ses obligations (date de la visite médicale, absence de contre-indications à effectuer des travaux sous rayonnement). Le médecin peut alors imprimer cette carte dans un fichier numérique ou physiquement, la signer et apposer son cachet, en vue de la remettre au travailleur. Les accès du médecin du travail aux résultats dosimétriques du travailleur sont maintenus à l'identique de ce qu'ils étaient, l'arrêté du 17 juillet 2013 n'ayant apporté aucune modification de ce point.

#### **Des droits d'accès pour la PCR étendus aux informations administratives du travailleur**

Les accès de la PCR aux résultats dosimétriques du travailleur restent également sans changement, l'arrêté du 17 juillet 2013 n'ayant apporté aucune évolution de ces droits d'accès. La PCR a, en revanche, accès aux listes des travailleurs afin de faciliter ses échanges avec les organismes de dosimétrie agréés. Par ailleurs, les modalités d'envoi des résultats de dosimétrie opérationnelle par la PCR sont inchangées.

#### **Des échanges entre les organismes agréés et SISERI inchangés**

Les modalités techniques d'envoi des résultats dosimétriques par les organismes de dosimétrie agréés ne sont pas modifiées. Toutefois, ces organismes sont désormais tenus de signaler dans les fichiers transmis à SISERI, le cas échéant, l'absence de résultat au-delà des délais fixés par le texte de l'arrêté, dans l'attente de la transmission ultérieure de la valeur.

Au-delà du fonctionnement *per se* du système d'information, la base de données de SISERI qui constitue le registre national des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants est exploitée par l'IRSN pour répondre à différentes demandes ou missions réglementairement encadrées d'acteurs de la radioprotection.

En accord avec son rôle dans la surveillance dosimétriques des travailleurs, l'IRSN alerte les médecins du travail des dépassements de limite réglementaire de dose constatés dans SISERI, notamment par cumul des valeurs issues des différents organismes agréés.

L'IRSN répond également aux demandes de cumul de dose carrière émanant des médecins du travail ou des travailleurs eux-mêmes. Les résultats fournis sont établis sur la base des informations du registre collectées depuis la mise en service de SISERI en 2005 et des informations dosimétriques antérieures, récupérées à partir des différents

supports, correspondant aux modes d'archivage en vigueur aux différentes époques concernées.

L'IRSN répond également aux demandes d'extraction de données dosimétriques émanant des inspecteurs du travail et de la radioprotection, selon les dispositions prévues au code du travail.

L'ensemble du dispositif SISERI et de son utilisation est schématisé dans la figure 4.

### *La transmission des données à SISERI en 2014*

La disponibilité des données en consultation par les PCR et les MDT dépend de leur transmission par les différents fournisseurs et de leur correcte intégration dans SISERI. Si l'IRSN n'a pas les moyens de vérifier l'exhaustivité des données transmises par les différents fournisseurs de données, il peut vérifier la qualité des données envoyées et doit veiller à leur intégration dans la base de données afin de les rendre consultables le plus rapidement possible. Pour l'année 2014, les constats suivants ont pu être faits.

#### **Données administratives**

L'ouverture des nouvelles fonctionnalités de SISERI permettant à l'employeur de renseigner les informations relatives à leurs travailleurs a eu lieu en mars 2014. Un an après cette mise en service, les constats suivants pouvaient être établis :

Plus de 6 000 signatures de protocole d'accès ont été réalisées en un an. La grande majorité d'entre eux correspondent à des modifications de protocoles d'accès préexistant pour notamment désigner des CSE. Bien que le nombre de protocoles signés en mars 2014 ne correspondait qu'à environ 30% de ce qui est attendu par l'application du nouvel arrêté, cette première année de fonctionnement n'a pas montré de progression forte de la signature de nouveaux protocoles.

Le nombre des CSE nommés un an après l'ouverture du service s'élève à 4 300. Pour la

moitié d'entre eux, les CSE sont également des PCR. Il faut noter que ce sont désormais près de 4 000 médecins du travail et plus de 7 300 PCR qui disposent d'un accès sécurisé à SISERI.

Le renseignement par les CSE des informations relatives aux travailleurs dans SISERI a débuté mais la complétude des informations n'est constatée que pour un peu moins de 15% des travailleurs ayant eu au moins un résultat dosimétrique en 2014.

#### **Dosimétrie externe passive**

Les délais de transmission des données par les organismes agréés et le laboratoire de dosimétrie de l'IRSN ont été globalement respectés même si quelques retards ont pu être observés ponctuellement. La qualité des données transmises a été du même niveau que celle observée les années précédentes avec toutefois un très léger retrait : 91% d'entre elles ont été intégrées sans qu'aucune intervention du gestionnaire de la base de données ne soit nécessaire, ces données ont donc été immédiatement accessibles aux utilisateurs de SISERI. Les 9% de données demandant un traitement par des opérateurs de l'IRSN ont été intégrées le lendemain ou dans les quelques jours suivant leur réception dans SISERI. Le nombre de résultats de dosimétrie passive (corps entier, peau et extrémités) enregistrés pour l'année 2014 s'élève à 2 millions.

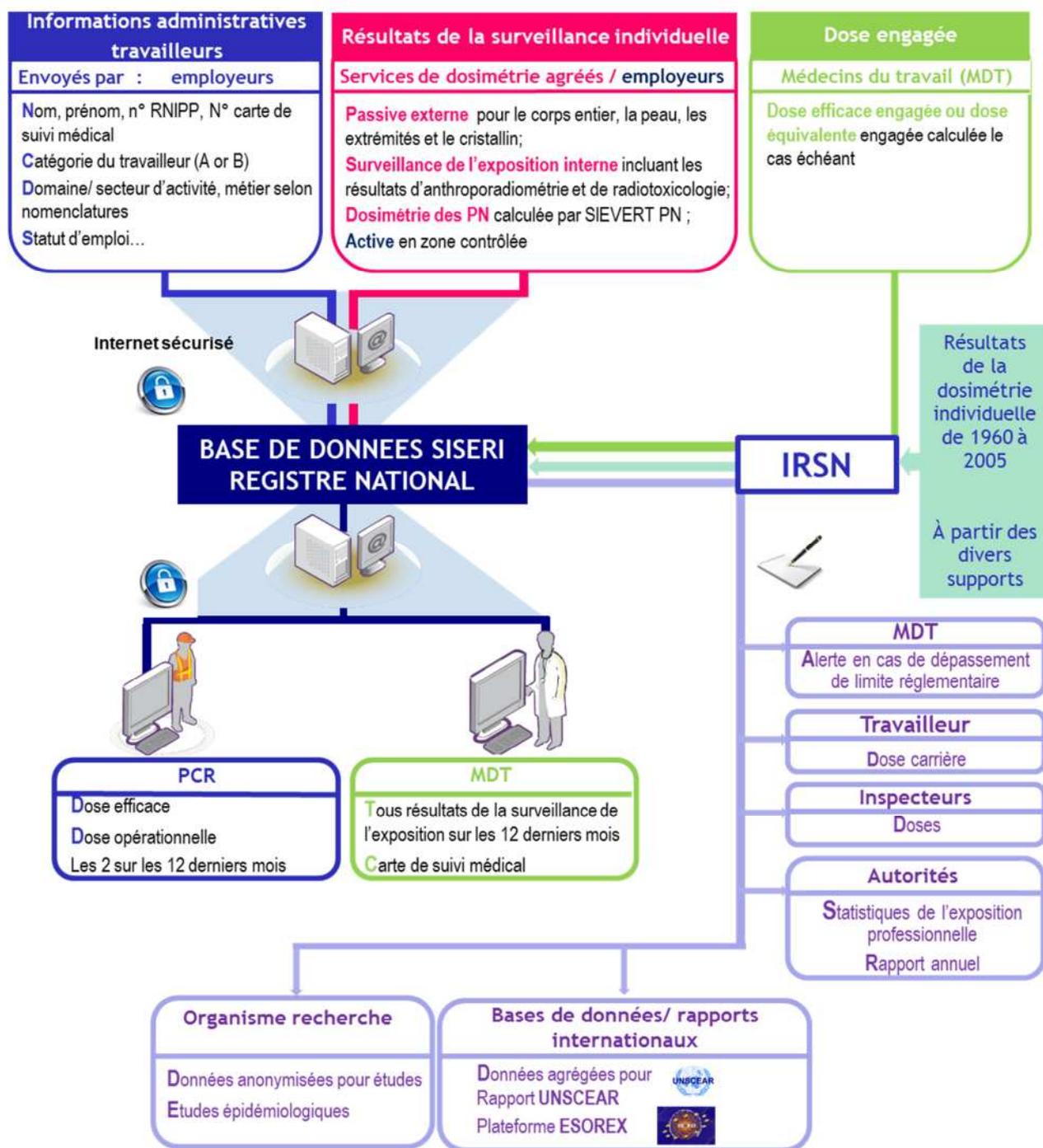


Figure 4 - Description du fonctionnement du système SISERI

**Résultats de la surveillance de l'exposition interne**

L'envoi des résultats est devenu effectif pour la plupart des laboratoires au cours de l'année 2010 et depuis 2011, l'ensemble des organismes agréés transmet régulièrement des fichiers à SISERI. Toutefois en 2014, des écarts de transmission ont été identifiés et chacun de ces retards a fait

l'objet d'échanges entre l'IRSN et l'organisme concerné pour résoudre les difficultés rencontrées au plus vite. Les résultats de près de 80 000 examens ont été enregistrés dans SISERI pour l'année 2014. Les délais de transmission sont encore un peu erratiques pour certains organismes et des efforts doivent être faits pour régulariser la fréquence des envois.

### Dosimétrie des personnels navigants

L'année 2014 a été marquée par l'évolution des dispositions pour la transmission des résultats dosimétriques des personnels navigants : ceux-ci sont désormais transmis directement à partir du système SIEVERT PN qui calcule la dose mensuelle de chacun des travailleurs sur la base des informations fournies par les compagnies à ce système. Plus de 195 000 valeurs ont été transmises à SISERI en 2014, pour des personnels relevant de 4 des 8 compagnies aériennes ayant adhéré à SIEVERT PN.

### Dosimétrie du radon et des radionucléides émetteurs à vie longue des chaînes de l'uranium et du thorium

Le système SISERI est en capacité de recevoir ces données depuis fin 2010. En 2014, environ plus de 9 300 résultats ont été envoyés par le laboratoire agréé pour ce type de surveillance.

### Dosimétrie externe opérationnelle

Sur l'ensemble de l'année 2014, le nombre moyen de fichiers reçus s'élève à près de 2 800 par mois, sans variation notable par rapport à 2013. La qualité des données est relativement bonne en ce qui concerne les identifiants des travailleurs ; en revanche, assez peu d'attention est portée par les fournisseurs sur les doublons de données. En effet, de nombreuses valeurs sont envoyées plusieurs fois. Détections par le système, elles ne sont intégrées qu'une seule fois dans la base, nécessitant de ce fait une intervention du gestionnaire de l'IRSN.

Au total 13,7 millions de valeurs de dose « opérationnelle » ont été enregistrées dans SISERI en 2014 (13,5 millions en 2013). Parmi ces données, 56% proviennent des entreprises du nucléaire, 37% du domaine médical et vétérinaire, 3% de l'industrie non nucléaire et 1,4% du domaine de la recherche.

### *La consultation des données de SISERI en 2014*

Seuls les PCR et MDT travaillant pour le compte d'un employeur qui en a fait la demande peuvent, après avoir signé le protocole d'accès à SISERI, accéder aux résultats de la dosimétrie des travailleurs dont ils ont la charge, dans le strict respect des conditions de consultation fixées par la réglementation. Le nombre de PCR et de MDT ayant une clé d'accès au système est en constante

progression depuis le 15 février 2005. A la fin de l'année 2014, 3 840 MDT et 7 300 PCR avaient accès à SISERI, soit une augmentation par rapport à 2013 de près de 20% pour les 2 types de profil. Cette augmentation est plus forte que les années passées et s'explique, au moins pour les MDT, par l'obligation qu'ils ont de devoir accéder au système pour valider les cartes de suivi médical.

## MOYENS ET ACTIONS DE L'IRSN EN LIEN AVEC LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS

### ACTIONS DE L'IRSN DANS LE CADRE DE L'AGREMENT DES ORGANISMES

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 (uniquement pour les examens anthroporadiométriques) ou par des organismes agréés par décision de l'Autorité de sûreté nucléaire.

Deux missions importantes sont confiées à l'IRSN dans le processus d'agrément des laboratoires de

surveillance dosimétrique conformément à l'arrêté du 21 juin 2013 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 :

- émettre un avis sur l'adéquation des matériels et des méthodes de dosimétrie de ces organismes pour la surveillance individuelle des travailleurs. Les techniques de dosimétrie doivent par ailleurs être accréditées par le Comité Français

d'Accréditation (COFRAC) ou par tout autre organisme équivalent ;

- organiser des intercomparaisons entre ces organismes pour vérifier la qualité des mesures au cours du temps. Ces résultats constituent l'un des éléments sur lesquels s'appuie l'IRSN pour élaborer ses avis. Les résultats d'intercomparaison

permettent aussi aux laboratoires de revoir en tant que de besoin leurs protocoles d'analyse.

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 mesures réalisées par ces organismes.

### *Avis de l'IRSN sur l'adéquation des techniques de dosimétrie avec la surveillance individuelle des travailleurs*

Au cours de l'année 2014, l'IRSN a rendu un avis sur l'adéquation des matériels et méthodes avec la surveillance individuelle des travailleurs pour le compte d'un organisme en charge de la surveillance de l'exposition interne des travailleurs. Il a ensuite été agréé par décision de l'ASN pour la première fois.

La liste des organismes agréés par l'ASN, incluant le lien vers les portées d'agrément correspondantes, est disponible sur le site Internet de SISERI ([www.irsnn.fr/siseri/](http://www.irsnn.fr/siseri/)).

### *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 dosimétrie individuelle pour la surveillance 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. La dernière intercomparaison réglementaire de dosimètres individuels passifs, organisée par le Service de Dosimétrie Externe de l'IRSN, avait été réalisée en 2013 [17]. La prochaine intercomparaison de ce type est prévue fin 2015.

### *Intercomparaison d'analyses radiotoxicologiques*

L'IRSN organise tous les ans une intercomparaison sur des échantillons urinaires contenant un ou plusieurs radionucléides à une activité déterminée. En 2014, cette intercomparaison a concerné 10 laboratoires et les radionucléides mesurés étaient les suivants : P-32, S-35, Ca-45, Sr-90, Co-58, I-129, Pb-210 et K-40 total par spectrométrie de masse.

Chaque laboratoire a la possibilité 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 [5] ;
- aux valeurs des activités déterminées par les autres laboratoires participants.

A la date de publication de ce rapport, la synthèse des résultats de cette intercomparaison n'était pas encore établie.

### *Intercomparaison de mesures anthroporadiométriques*

L'IRSN a organisé une nouvelle campagne d'intercomparaison des mesures anthroporadiométriques pulmonaires entre mai 2013 et janvier 2014, dont

les résultats ont été publiés en 2014. Cette intercomparaison a concerné 16 installations de 15 laboratoires (dont 10 laboratoires français).

Les mesures ont été réalisées à l'aide du fantôme anthropomorphe LIVERMORE (figure 5). Pour cette intercomparaison, deux morphologies ont été considérées avec des épaisseurs thoraciques égales respectivement à 18 mm et 28 mm. Les radionucléides à mesurer étaient les suivants : le thorium 232 (détecté par les raies principales de ses descendants : le thalium 208, le plomb 212 et l'actinium 228) et l'américium 241.



Figure 5 - Fantôme anthropomorphe LIVERMORE

Les résultats obtenus ont été comparés aux valeurs cibles attendues et placés dans un intervalle défini selon la norme NF ISO 12790-1, qui impose que l'erreur de justesse soit comprise entre -25% et +50%. Il ressort des résultats que pour le thorium 232 toutes les installations sont conformes aux critères de performance définis par la norme, sur les deux morphologies proposées. En revanche pour l'américium 241, les installations obtiennent pour les deux morphologies proposées des résultats conformes aux critères de performance définis par la norme, à l'exception d'une installation qui obtient des valeurs aberrantes (test de GRUBBS).

En 2014, l'IRSN a également lancé une nouvelle campagne d'intercomparaison concernant des mesures anthroporadiométriques thyroïdiennes.

Cette intercomparaison a concerné 19 installations de 15 laboratoires (dont 7 laboratoires français).

Les mesures ont été réalisées à l'aide du fantôme anthropomorphe COU (figure 6). Les radionucléides à mesurer étaient les suivants : le cobalt 57, l'iode 129, le baryum 133 et le césium 137.

Les résultats obtenus ont été comparés aux valeurs cibles attendues et placés dans un intervalle défini selon la norme NF ISO 12790-1, qui impose que l'erreur de justesse soit comprise entre -25% et +50%.

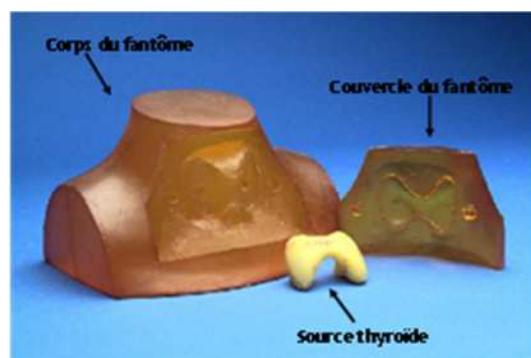


Figure 6 - Fantôme anthropomorphe COU (RDS)

Il ressort de ces résultats que pour l'iode 129 et le cobalt 57, toutes les installations sont conformes aux critères de performance définis par la norme. En revanche, seulement 8 installations sur 10 pour le Césium 137 et 10 installations sur 13 pour le Baryum 133, obtiennent des résultats conformes aux critères de performance définis par la norme.

## SUIVI DES INCIDENTS ET EVENEMENTS DE RADIOPROTECTION

### *Recensement et analyse (base ERIA)*

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 concernent tous les domaines d'activité

mettant en œuvre des rayonnements ionisants et recouvrent :

- les événements déclarés à l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) dont l'IRSN est destinataire d'une copie, au titre des différents guides de déclaration mis en place par l'ASN,
- les événements non déclarés dont l'IRSN a connaissance et qu'il considère comme des signaux intéressants pour la radioprotection. Leur collecte est très dépendante des

circuits d'information utilisés puisque ces derniers ne sont pas aussi systématisés.

- les événements pour lesquels une expertise de l'IRSN est sollicitée.

Toutes les informations relatives à ces événements sont recensées dans une base de données développée à cet effet : la base ERIA (Événements de Radioprotection, Incidents, Accidents). L'IRSN effectue une analyse de ces informations afin d'en produire un retour d'expérience transverse à tous les domaines d'activité.

### Estimation de la dose interne

L'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) est régulièrement sollicité par les médecins du travail ou les personnes compétentes en radioprotection pour évaluer les doses reçues par les salariés après une contamination, notamment à la suite d'incident ou d'accident ou après l'obtention de résultats de surveillance systématique positifs. Afin de s'assurer du respect des limites réglementaires et lorsque les éléments disponibles le permettent, les doses efficaces engagées sont estimées à partir des résultats individuels des analyses radiotoxicologiques *in vitro* des excréta et/ou des mesures anthroporadiométriques *in vivo*.

Pour l'année 2014, l'IRSN a réalisé des estimations dosimétriques pour des contaminations internes concernant 5 travailleurs :

- les radio-isotopes de l'iode sont à l'origine de 3 contaminations incidentelles : l'iode 131 dans un service de médecine nucléaire (un travailleur contaminé lors de la préparation d'un produit radiopharmaceutique) et l'iode 125 pour deux travailleurs, l'un exerçant dans un laboratoire de recherche en médecine nucléaire dédié au petit animal, l'autre dans un laboratoire d'analyses incluant la radioimmunologie (RIA). Pour ces trois

travailleurs, la dose engagée estimée est inférieure à 1 mSv ;

- dans le secteur de l'industrie non nucléaire, une analyse radiotoxicologie pratiquée dans le cadre de la surveillance systématique a révélé une contamination par de l'américium 241 chez un travailleur impliqué dans le reconditionnement de détecteurs de fumée. La dose efficace évaluée pour ce travailleur (à partir d'un prélèvement d'octobre 2013) est de 13,3 mSv, et donc supérieure au quart de la limite annuelle. A noter que cinq travailleurs de cette entreprise avaient déjà fait l'objet d'une contamination interne par de l'américium 241 en 2013, la dose engagée maximale enregistrée étant de 2,8 mSv [17] ;

- lors d'une intervention dans le secteur des activités de sécurité, environnement, radioprotection, un signal en provenance des contrôles techniques d'ambiance a alerté un travailleur qui venait de procéder à l'ouverture de fûts contenant des déchets radifères. Des examens anthroporadiométriques de surveillance spéciale réalisés dans la foulée ont révélé une contamination par du radon 222. La dose engagée a été évaluée inférieure au quart de la limite annuelle.

### Suivi des alertes de dépassements de limite de dose

Des valeurs limites d'exposition sont réglementairement fixées par le code du travail (tableau 1). Ces valeurs concernent la dose efficace, les doses équivalentes aux extrémités, la dose équivalente à la peau et la dose équivalente au cristallin.

Les laboratoires et organismes agréés en charge des mesures de l'exposition des travailleurs aux

rayonnements ionisants doivent, sans délai, informer le médecin du travail et l'employeur de la survenue d'un dépassement de l'une de ces limites d'exposition. Conformément à l'arrêté du 17 juillet 2013 relatif à la carte individuelle de suivi médical et au suivi dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants, 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. Cette enquête doit conduire in fine à la

confirmation ou, au contraire, à une modification, voire une annulation de la dose attribuée au travailleur (figure 7).

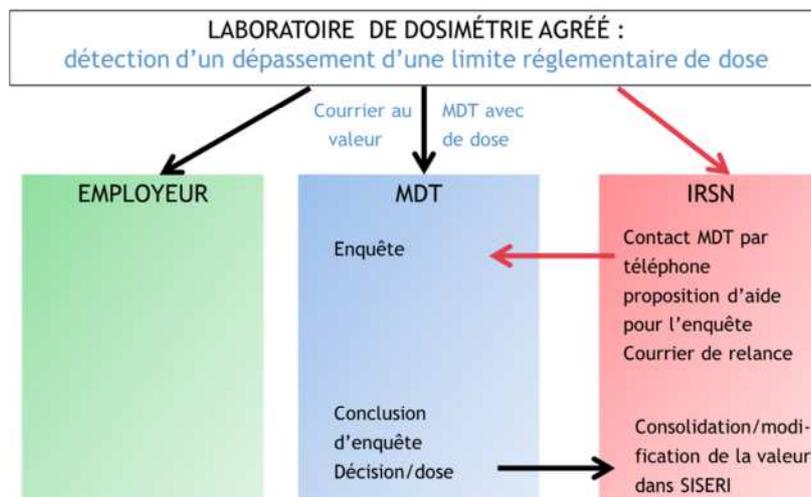


Figure 7 - Traitement des alertes de dépassement d'une limite annuelle réglementaire

Afin que des 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 cas de dépassement de limite réglementaire de dose signalé. L'IRSN, informé par le laboratoire de l'alerte de dépassement faite au médecin du travail, peut prendre directement contact avec ce dernier, suivre l'enquête, en enregistrer les conclusions et, le cas échéant, proposer une assistance et des conseils pour mener à bien cette enquête. Dans les cas plus difficiles, l'IRSN intervient sur site afin de mener les investigations nécessaires. Ces déplacements sont l'occasion, au-delà de l'aide apportée au médecin du travail

et de la consolidation des données intégrées dans la base SISERI, de rappeler les bonnes pratiques en matière de radioprotection.

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

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

## GUIDE PRATIQUE D'AIDE A LA REALISATION DES ETUDES DE POSTE

Un guide pratique d'aide à la réalisation des études dosimétriques de poste de travail présentant un risque d'exposition aux rayonnements ionisants a été édité par l'IRSN. Fondé sur l'expérience acquise par l'IRSN, il propose aux différents acteurs impliqués dans la radioprotection du personnel, notamment aux chefs d'établissement, aux personnes compétentes en radioprotection et aux médecins du travail, une

approche méthodologique leur permettant de réaliser des études de poste de travail et les évaluations de dose prévisionnelle qui en découlent.

Une première partie du document présente le contexte réglementaire et les principaux objectifs associés à l'étude de poste, ainsi qu'un rappel sur les différents modes d'exposition, les grandeurs dosimétriques et les instruments de mesure

associés, enfin des méthodes de calcul à mettre en œuvre, ainsi que des renvois vers quelques références utiles.

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

Enfin, la troisième partie est constituée de fiches déclinant la méthode pour des secteurs d'activité

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

[http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports\\_expertise/Documents/radioprotection/IRSN\\_guide\\_etude\\_poste\\_travail\\_V2-042010.pdf](http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/radioprotection/IRSN_guide_etude_poste_travail_V2-042010.pdf)

## FOCUS

### Des fiches radionucléides à destination des acteurs de la radioprotection

L'IRSN et l'INRS coéditent une collection de fiches fournissant des repères en radioprotection pour guider les personnes concernées par l'utilisation de radionucléides en sources non scellées. Ces fiches ont été élaborées par un groupe de travail animé par l'IRSN et l'INRS et auquel ont participé des experts de l'AP-HP, du CEA, du CH de Poissy-St-Germain, du CNRS, d'EDF, de l'INSERM ainsi que l'ASN et la DGT. Elles sont principalement réalisées à l'intention des personnes en charge de la radioprotection : utilisateurs, personnes compétentes en radioprotection, médecins du travail. L'objectif n'est pas de se substituer à la réglementation en vigueur, mais d'en faciliter la mise en œuvre en réunissant sur un support unique, pour chaque radionucléide, les informations les plus pertinentes ainsi que les bonnes pratiques de prévention à mettre en œuvre. Parmi les rubriques abordées figurent notamment les principales utilisations, les paramètres dosimétriques, de mesurage ou de contrôle et de la surveillance du personnel.

En 2014, 3 nouvelles fiches ont été publiées (césium 137, plutonium 239 et uranium naturel). L'ensemble de la collection est téléchargeable sur les sites internet de l'IRSN et de l'INRS.

Site IRSN : [http://www.irsn.fr/FR/professionnels\\_sante/documentation/Pages/guides.aspx](http://www.irsn.fr/FR/professionnels_sante/documentation/Pages/guides.aspx)

Site INRS : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque.html>

## ASSISTANCE AUX PROFESSIONNELS POUR LA MISE EN ŒUVRE DE LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION INTERNE ET EN CAS DE SUSPICION DE CONTAMINATION

L'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN) est régulièrement sollicité par les médecins du travail ou les personnes compétentes en radioprotection pour ses capacités de mesure et d'expertise en cas de risque ou de suspicion d'une contamination interne chez un travailleur. L'assistance fournie par l'IRSN dans ce domaine recouvre aussi bien des études de poste que la mise en place d'une surveillance au travers d'examen anthroporadiométriques ou d'analyses radio-toxicologiques des excréta (analyses urinaires, fécales,...).

En 2014, 6 campagnes de mesures anthroporadiométriques ont été réalisées avec les laboratoires mobiles de l'IRSN (figure 8), hors Ile-de-France. Au total, 8 établissements étaient concernés, 7 relevant du domaine médical et 1 du domaine industriel. Les 213 travailleurs concernés ont bénéficié d'examen soit du corps entier, soit de la thyroïde, et parfois des deux (100 examens du corps entier et 140 examens de la thyroïde). Sur l'ensemble des examens réalisés, 31 étaient positifs : 10 à l'iode 131, 20 au technétium 99m, 1 au fluor 18, et 2 au thallium 201. Ces examens de surveillance de contrôle ont permis de revoir

certaines pratiques aux postes de travail et d'améliorer la radioprotection des travailleurs.

A ces campagnes s'est ajoutée, fin 2014, une campagne pour répondre à la demande d'un centre hospitalier universitaire souhaitant, à la suite d'un événement, lever le doute de suspicion d'exposition interne de plusieurs personnes travaillant dans les locaux. La fuite d'une canalisation provenant de sanitaires des chambres d'hospitalisation recueillant les urines des patients traités à l'iode 131 avait généré une flaque d'eau contaminée dans des locaux de l'étage inférieur

d'un service de médecine nucléaire. In fine, 27 mesures anthroporadiométriques de la thyroïde ont été réalisées pour des travailleurs susceptibles d'avoir été au contact des effluents contaminés. Aucune contamination à l'iode n'a été mise en évidence.

En appui à de telles interventions, l'IRSN peut mobiliser ses laboratoires fixes ou mobiles, notamment le Laboratoire d'Analyses Médicales Radiotoxicologiques (LAMR) et son installation d'anthroporadiométrie du Vésinet.



© Noak/Le bar Floréal/IRSN

Figure 8 - Vues du laboratoire mobile d'anthroporadiométrie LMA

## METHODOLOGIE SUIVIE POUR ETABLIR LE BILAN ANNUEL DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

Comme les années précédentes ([6] à [17]), ce bilan est établi à partir des données de la surveillance individuelle mise en œuvre pour les

travailleurs exposés, d'une part celles transmises à l'IRSN par les différents organismes agréés, d'autre part les données extraites du système SISERI.

### BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

Tout porteur d'au moins un dosimètre entre le 1<sup>er</sup> janvier et le 31 décembre 2014 est compté dans l'effectif suivi par chaque laboratoire.

Le bilan des expositions professionnelles pour l'année 2014 a été établi à partir des données agrégées de chaque laboratoire de dosimétrie passive : effectifs des travailleurs par secteur d'activité professionnelle, doses collectives (somme des doses individuelles reçues par un groupe de personnes) correspondantes et

répartition des travailleurs par classe de dose. Les données relatives aux activités civiles et de défense ont été regroupées dans chaque secteur des domaines d'activités : activités médicales et vétérinaires, nucléaire, industrie non nucléaire, recherche. Pour chaque domaine est précisée la part concernant les effectifs des activités de la défense suivis par le Service de Protection Radiologique des Armées (SPRA).

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 se basent désormais, non plus sur le choix de valeurs repères par rapport à la réglementation mais sur une répartition en classes de dose issue d'un consensus international (UNSCEAR, ESOREX) permettant ainsi de pouvoir comparer les résultats français aux données internationales :

- < seuil d'enregistrement des doses ;
- du seuil d'enregistrement à 1 mSv/an;
- de 1 à 5 mSv/an;
- de 5 à 10 mSv/an;
- de 10 à 15 mSv/an ;
- de 15 à 20 mSv ;
- > à 20 mSv.

Le bilan réalisé est une « photographie » de la situation au moment de l'envoi des informations par chaque laboratoire. Le nombre de cas de dépassements de la limite réglementaire indiqué dans ce rapport pourrait diminuer par la suite, en fonction des résultats d'enquêtes validant ou réfutant les doses mesurées.

Par ailleurs, le bilan est établi sur la base des résultats des mesures de la surveillance des expositions, sans pouvoir préjuger si les conditions de port des dosimètres sont conformes ou non à la réglementation. Ainsi, 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.

La période de port des dosimètres peut aussi influencer sur les mesures faites : 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 pourraient être positives dans le cas d'une période de port plus importante, du fait du cumul des expositions.

La méthodologie utilisée et notamment la classification des travailleurs dans les différents domaines et secteurs d'activité par les organismes de dosimétrie impacte aussi nécessairement le bilan établi. En effet, dans un souci d'amélioration de la connaissance des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants, l'IRSN a amorcé en 2008 l'utilisation d'une nomenclature unique des secteurs d'activité (présentée en annexe), généralisée à partir de 2009. Mais cette application reste encore incomplète, notamment dans le secteur de l'industrie non nucléaire et parfois trop peu rigoureuse. Depuis 2009, le bilan annuel est établi en tenant compte de la répartition des travailleurs suivis selon la classification proposée par cette nomenclature mais plus ou moins bien renseignée par les organismes de dosimétrie. L'entrée en vigueur de l'arrêté du 17 juillet 2013 doit permettre d'intégrer directement dans SISERI la connaissance précise de l'activité de chaque travailleur, du fait de l'obligation qui est faite à l'employeur de renseigner directement cette information dans SISERI. Une fois cette disposition pleinement appliquée, ce système deviendra alors totalement opérationnel pour établir des statistiques des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants plus précises et plus fiables.

Par souci de concision, les secteurs pour lesquels il y a moins de 20 travailleurs sont regroupés dans la catégorie « Autres » du domaine concerné.

De plus, seul l'établissement du bilan à partir du système SISERI permettra d'obtenir un effectif fiable puisque chaque travailleur ne sera compté qu'une fois, indépendamment du nombre de laboratoires ayant assuré son suivi dosimétrique au cours de l'année. Le nombre de travailleurs suivis recensés dans SISERI pour l'année 2014 s'élève à 350 248 travailleurs, chiffre qui est effectivement inférieur à l'effectif total établi à partir des données communiquées par chaque laboratoire (359 646 travailleurs suivis en 2014).

## BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

Le bilan présenté dans ce rapport a été établi à partir des données communiquées à l'IRSN par les laboratoires de biologie médicale (LBM) ou les services de santé au travail (SST) en charge de la surveillance de l'exposition interne dans les établissements concernés, sur la base d'un questionnaire ou, pour le LAMR de l'IRSN, d'une extraction des données de SISERI.

Le bilan général détaille successivement les résultats :

- des mesures relatives à la surveillance de routine ;
- des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance spéciale ou de la surveillance de contrôle, notamment à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination ;
- des estimations dosimétriques.

Ces données sont ensuite détaillées par secteur d'activité dans les chapitres dédiés à chaque domaine d'activité. Les 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 (dans la plupart des cas il s'agit de la limite de détection, mais ce peut être parfois une valeur plus élevée). Sont également présentées de façon globale, et ensuite pour chaque domaine, le nombre de travailleurs pour lesquels un calcul de dose interne a été effectué au cours de l'année 2014 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, conformément aux recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) et à la norme ISO 20553 [1] qui fixe une valeur maximale pour ce niveau égale à 5% des limites annuelles de dose, reprises par la réglementation en vigueur.

La méthode de collecte décrite ci-dessus présente un certain nombre de limites qui introduisent les incertitudes suivantes dans le bilan, notamment concernant les effectifs suivis :

- en fonction de leur activité professionnelle, tous les travailleurs suivis n'ont pas systématiquement eu d'examen au cours de l'année 2014. C'est pourquoi le nombre d'examens réalisés dans un établissement donné peut être inférieur au nombre de travailleurs considérés comme suivis dans cet établissement ;
- tous les laboratoires sont en mesure de fournir le nombre total d'examens effectués mais pas toujours le nombre précis de travailleurs que cela concerne (ce qui explique que le nombre de travailleurs suivis peut parfois être supérieur au nombre d'examens réalisés) ;
- chaque examen n'est pas nécessairement exclusif. Pour un suivi optimal de l'exposition interne, il peut être utile de combiner les différents types de mesure : par exemple, lorsqu'une mesure d'iode <sup>131</sup> 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 dénombrements de travailleurs suivis, puisque l'effectif est indiqué pour chaque examen, indépendamment du fait qu'un travailleur peut bénéficier d'un autre type d'examen ;
- un travailleur peut avoir bénéficié d'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.

Il est impossible d'établir précisément le nombre de travailleurs suivis dans le cadre de la surveillance de l'exposition interne à partir des seules données fournies par les laboratoires. Les nombres de travailleurs qui figurent dans les tableaux ci-après sont indicatifs mais seuls les nombres d'examens présentés sont fiables.

## BILAN DES EXPOSITIONS AU RAYONNEMENT COSMIQUE

Le bilan de l'exposition des personnels navigants de l'aviation civile est réalisé à partir d'une extraction de SISERI, sur la base des données transmises au système par SIEVERT PN (cf. p 23). Seules les données relatives aux personnels navigants d'Air France sont incluses dans le bilan 2014 puisqu'aucune autre compagnie abonnée à SIEVERT PN n'a fait l'objet d'une transmission à

SISERI de données dosimétriques concernant l'ensemble de l'année 2014.

Le bilan de l'exposition des personnels navigants de la défense est celui établi par le Service de Protection Radiologique des Armées (SPRA) à partir des données de dosimétrie passive.

## BILAN DES EXPOSITIONS DES TRAVAILLEURS AUX MATERIAUX NORM ET AU RADON D'ORIGINE GEOLOGIQUE

Le bilan présenté est celui communiqué à l'IRSN par la société ALGADE, qui dispose d'un agrément pour la surveillance individuelle de l'exposition

(externe et/ou interne) des travailleurs aux radionucléides naturels des chaînes du thorium ou de l'uranium.

# RESULTATS GENERAUX (hors radioactivité naturelle)



## SOMMAIRE

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES	p 40
Dosimétrie corps entier	p 40
Dosimétrie des extrémités	p 45
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	p 47
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	p 47
Surveillance spéciale	p 49
Estimations dosimétriques	p 50
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	p 50
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	p 53

Le bilan qui suit porte sur le suivi dosimétrique des travailleurs dans les activités soumises à un régime d'autorisation ou de déclaration en application du code de la santé publique et dans les activités intéressant la défense.

Ce chapitre-ci présente les statistiques globales pour l'ensemble des domaines d'activités. Les quatre chapitres suivants détaillent les statistiques pour chaque domaine d'activité : successivement activités médicales et vétérinaires, nucléaire, industrie non nucléaire, recherche et enseignement.

## BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

### DOSIMETRIE CORPS ENTIER

Le nombre total de travailleurs suivis par dosimétrie externe dans les activités civiles soumises à autorisation ou à déclaration et dans les activités intéressant la défense est en augmentation de 2% par rapport à l'année 2013. Au sein de cet effectif, le nombre de travailleurs exposés, c'est à dire pour lesquels au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement a été enregistrée, est en légère baisse (de 1%).

Dans le même temps, la dose collective diminue de 18% entre 2013 et 2014. Cette baisse n'est plus que de 8% si on exclut le cas exceptionnel de dépassement de la limite réglementaire de dose de plus de 7 Sv enregistré en 2013 (qui représentait alors 11% de la dose collective totale en 2013) mais reste notable. Elle se traduit par une valeur de la dose individuelle annuelle moyenne calculée sur

- **359 646** travailleurs suivis

- dose collective annuelle :

**56,28** homme.Sv

- dose individuelle annuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé :

**0,74** mSv

l'effectif exposé de 0,74 mSv contre 0,88 mSv en 2013 (0,79 mSv en 2013 hors cas exceptionnel de dépassement déjà mentionné).

#### *Analyse suivant les activités professionnelles*

Le tableau 4 présente les résultats de la surveillance dosimétrique selon le domaine d'activité (exposition aux photons et aux neutrons).

Pour chaque domaine d'activité, les données concernant les travailleurs civils et ceux de la défense ont été regroupées. Les travailleurs des activités de défense suivis par le SPRA se retrouvent dans les quatre domaines : activités médicales et vétérinaires, nucléaire, industrie non nucléaire, recherche et enseignement. Ils représentent, comme en 2013, 2,5% de l'effectif total suivi, avec une contribution à la dose collective à hauteur de 0,9%, chiffre stable par rapport à 2013 (0,8%).

La répartition des effectifs entre domaines n'évolue pas par rapport à 2013. Le domaine des activités médicales et vétérinaires compte toujours près des deux tiers de l'effectif total suivi, contre 20% pour l'industrie nucléaire, 9,5% pour

l'industrie non nucléaire et 4% pour le domaine de la recherche et de l'enseignement.

L'évolution de l'effectif global provient d'une augmentation de l'effectif dans le domaine médical de 3 000 travailleurs et dans le domaine nucléaire de plus de 4 400 travailleurs, ce qui correspond à une augmentation des effectifs dans ces domaines de 1% et de 6,5% respectivement.

Il apparaît que la diminution de la dose collective intervient en premier lieu dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (-34% en tenant compte du cas exceptionnel de dépassement enregistré dans ce domaine en 2013 ; -4% si on exclut ce cas), mais également dans le domaine nucléaire (-8%) et dans l'industrie non nucléaire (-11%). Ceci se traduit en conséquence par une diminution des doses individuelles moyennes dans ces domaines d'activités entre 2013 et 2014.

Cependant, comme les années précédentes, il existe toujours des disparités entre les différents domaines en termes de doses moyennes : dans l'industrie non nucléaire et dans le domaine nucléaire les doses moyennes calculées sur l'effectif ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement sont les plus élevées, avec respectivement 1,45 mSv et 1,16 mSv. Concernant les activités médicales et vétérinaires, la dose

individuelle moyenne diminue également, à 0,38 mSv contre 0,57 mSv en 2013. Cependant cette diminution n'est qu'apparente puisque la valeur de 2013 était fortement impactée par le dépassement exceptionnel de la limite réglementaire de dose de plus de 7 Sv. Sans la prise en compte de cette unique valeur exceptionnelle, la dose individuelle moyenne de l'effectif exposé du domaine médical en 2013 était de 0,40 mSv.

**Tableau 4 - Surveillance de l'exposition externe dans les activités soumises à un régime d'autorisation ou de déclaration**

Domaine d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total <sup>(a)</sup> (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé <sup>(b)</sup> (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Activités médicales et vétérinaires	226 013	15,64	0,07	0,38	184 935	38 228	2 520	283	34	6	7
Nucléaire <sup>(c)</sup>	73 082	24,75	0,34	1,16	51 704	14 953	5 340	1 014	70	1	0
Industrie non nucléaire	33 631	14,71	0,44	1,45	23 457	6 565	2 747	792	67	2	1
Recherche et enseignement <sup>(d)</sup>	13 122	0,40	0,03	0,25	11 492	1 578	50	2	0	0	0
Autres <sup>(e)</sup>	13 798	0,78	0,06	0,35	11 555	2 107	124	10	1	0	1
<b>Total</b>	<b>359 646</b>	<b>56,28</b>	<b>0,16</b>	<b>0,74</b>	<b>283 143</b>	<b>63 431</b>	<b>10 781</b>	<b>2 101</b>	<b>172</b>	<b>9</b>	<b>9</b>

(a) Dose individuelle moyenne sur l'effectif total = dose collective / effectif total suivi.

(b) Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé = dose collective / effectif suivi pour lequel la dose est supérieure au seuil d'enregistrement. Les seuils sont précisés dans le tableau 2 en fonction des organismes de dosimétrie

(c) Le domaine nucléaire inclut également le transport de matières radioactives lié à ce domaine.

(d) Le domaine de la recherche et de l'enseignement inclut la recherche médicale, les activités au sein des installations de recherche liées au nucléaire, la recherche (autre que médicale et nucléaire) et l'enseignement.

(e) La catégorie « Autres » regroupe les secteurs d'activité suivants : la gestion des situations de crise, l'inspection et le contrôle, les activités à l'étranger, les activités de transport de sources dont l'utilisation n'est pas précisée ainsi que les activités non classées d'après la nomenclature. Le secteur des activités à l'étranger n'est encore que peu identifié en termes de classification des travailleurs, avec la difficulté supplémentaire dans le cadre du bilan annuel que les activités à l'étranger sont souvent conduites une partie seulement de l'année.

### Analyse de la répartition des effectifs par classes de dose

Sur l'ensemble de l'effectif suivi, le bilan de l'exposition 2014 montre que la grande majorité des travailleurs est non exposée (79% de l'effectif tous domaines confondus) avec des différences marquées suivant les domaines d'activité, comme le montre la figure 9.

Parmi les travailleurs exposés, c'est-à-dire ceux pour lesquels au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement a été enregistrée en 2014, soit 76 503 travailleurs (tous domaines confondus), il apparaît que 83% d'entre eux sont exposés à moins de 1 mSv, proportion qui varie en fonction du domaine d'activité (cf. figure 10). La proportion de l'effectif exposé à plus de 5 mSv représente 3%

de l'effectif total exposé et il provient très majoritairement (85%) des domaines de l'industrie nucléaire ou non nucléaire.

L'exposition à plus de 20 mSv, limite réglementaire de dose efficace, concerne 9 travailleurs et la dose individuelle maximum enregistrée s'élève à 96,2 mSv (cf. chapitre dédié au domaine médical).

La répartition par classe de dose n'est pas directement comparable à celle observée en 2013 puisque les bornes des classes de dose ont été modifiées dans le bilan 2014 pour tenir compte des formats de collecte des données au niveau international (UNSCEAR, ESOREX...) mais reste cohérente avec celle observée en 2013.

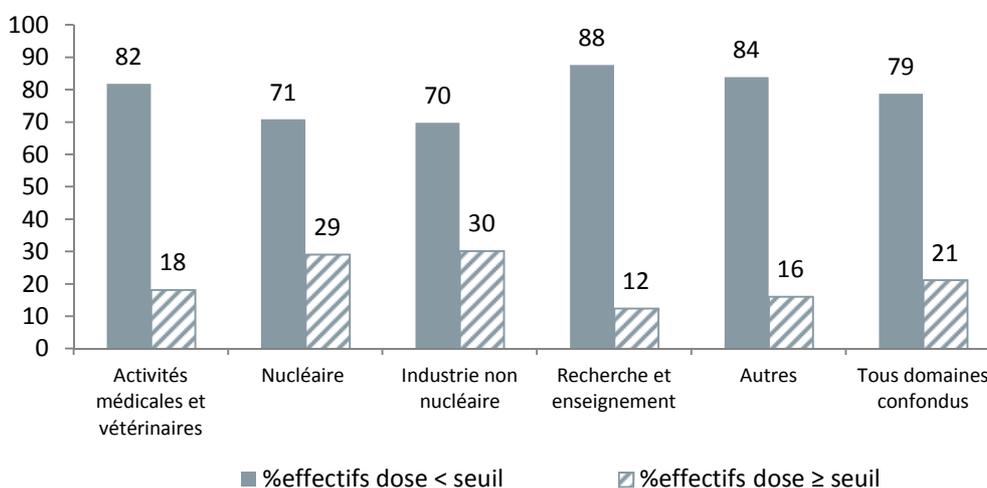


Figure 9 - Répartition (en pourcentage) des effectifs suivis par rapport au seuil d'enregistrement de la dose

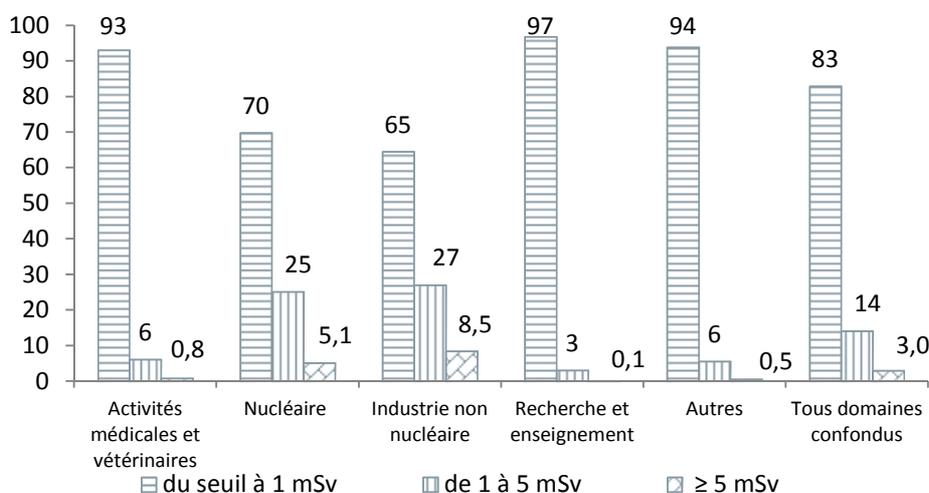


Figure 10 - Répartition (en pourcentage) de l'effectif exposé en fonction de différentes classes de dose efficace corps entier

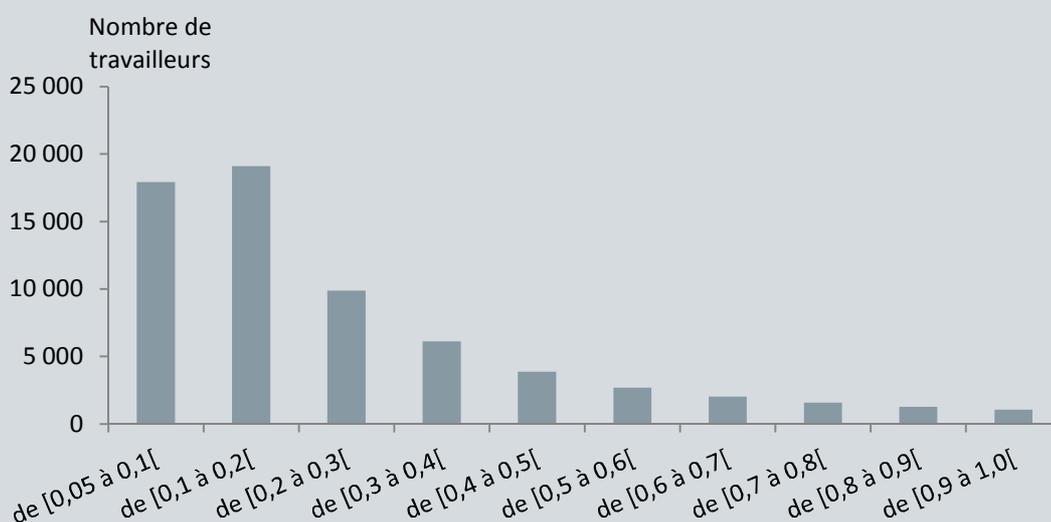
## FOCUS

## Exploitation de SISERI à des fins statistiques

L'exploitation de l'ensemble des données de la surveillance dosimétrique enregistrées dans SISERI, à défaut de permettre encore à ce jour une analyse par domaine et secteur d'activité, permet d'avoir des données sur les effectifs globaux suivis et sur le niveau d'exposition de l'ensemble de la population suivie.

Ainsi l'analyse de ces données montre un effectif global suivi (travailleurs ayant au moins une valeur de dose enregistrée en 2014) de 350 248 travailleurs (hors population des personnels exposés à la radioactivité naturelle) vs. 359 495 établi avec la méthode d'agrégation à partir des données des laboratoires de dosimétrie, avec laquelle le dénombrement multiple de certains individus est incontournable.

Cette exploitation permet d'affiner aussi la connaissance des niveaux d'exposition. Il apparaît 77,3% des travailleurs suivis n'ont pas reçu de dose (dose annuelle = 0 mSv), 18,7% ont reçu entre 0,05 mSv (minimum enregistré par certains laboratoires) et 1 mSv, 3,3% entre 1 et 5 mSv et 0,7% ont reçu plus de 5 mSv. L'exploitation des données de SISERI permet d'affiner aussi la connaissance des effectifs entre l'exposition entre 0 et 1 mSv (cf. figure ci-dessous).



## Contribution des neutrons

En 2014, l'effectif suivi pour l'exposition aux neutrons est à nouveau en légère hausse par rapport à l'année précédente, avec 52 476 travailleurs (vs. 50 142 travailleurs en 2013), soit 14,6% de l'effectif total suivi. La dose collective « neutrons » est de 1,86 homme.Sv, soit en baisse de 10% par rapport à 2013 (2,06 homme.Sv). La dose collective due aux neutrons représente 3% de la dose collective totale (toutes composantes de rayonnements confondues).

La répartition par domaine d'activité est proche de celle observée les années précédentes : 65% des effectifs suivis pour leur exposition aux neutrons

appartiennent au domaine nucléaire, et contribuent à la dose collective à hauteur de 96% (figure 11). Les effectifs suivis dans l'industrie non nucléaire et la recherche représentent respectivement 17% et 8% de l'effectif total, avec des contributions à la dose collective totale respectivement de 3% et 1%. Les effectifs suivis dans le domaine médical sont en nette baisse par rapport à 2013, et représentent 6% de l'effectif total et 0,2% de la dose collective. La dose collective pour ce domaine est de 0,004 homme.Sv (non visible sur la figure 11).

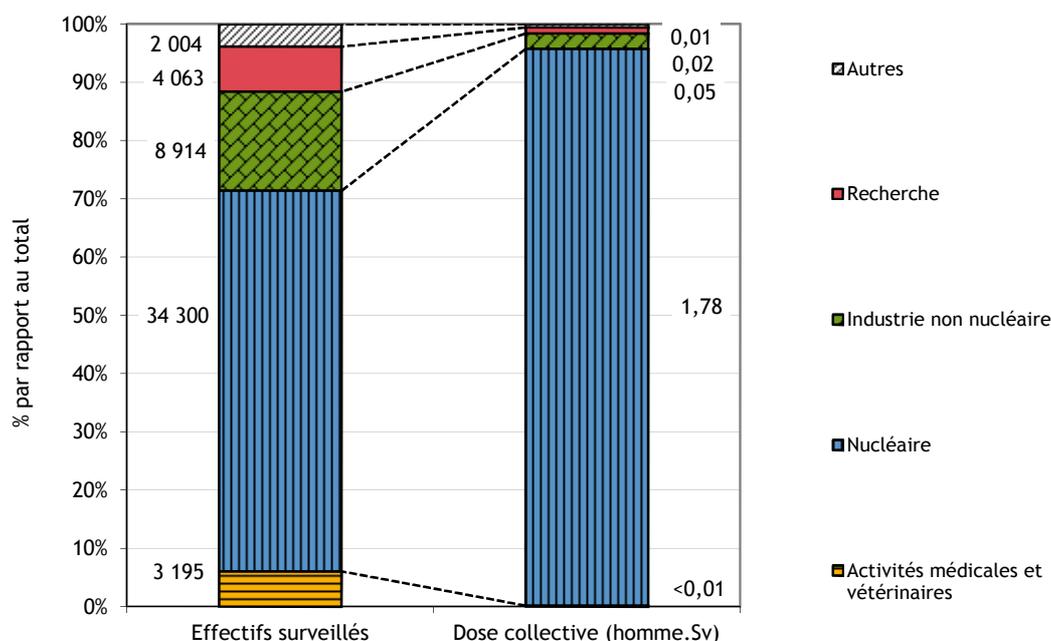


Figure 11 - Répartition des effectifs suivis et des doses collectives pour la dosimétrie des neutrons en 2014

### Evolution sur la période 1996-2014

#### Exposition externe totale (photons et neutrons)

La figure 12 présente l'évolution des effectifs suivis et de la dose collective entre 1996 et 2014.

Sur cette période, l'effectif total suivi est passé de 230 385 à 359 646 travailleurs, soit une augmentation de plus de 50%. De 1996 à 2008, cette évolution est successivement le résultat d'une croissance des activités mettant en œuvre des sources de rayonnements ionisants, conjuguée ensuite à une plus large surveillance des travailleurs, particulièrement dans le domaine médical (figure 23) et enfin d'une meilleure disponibilité de l'information sur cette surveillance. Depuis 2008, l'augmentation des effectifs observée indique une réelle progression du nombre de travailleurs suivis, et non plus l'intégration progressive des données de tous les laboratoires dans le bilan comme ce fut le cas en 2005 et 2007. Après une légère diminution en 2013 pour la première fois depuis 2001, l'année 2014

voit à nouveau l'effectif suivi progresser légèrement ; il semblerait qu'un plateau soit atteint, cette tendance restant à confirmer sur les années à venir.

Dans le même temps, la dose collective a globalement diminué, avec cependant une tendance à l'augmentation entre 2006 et 2009 suivie d'une certaine stagnation sur la période 2009-2013 avec une dose collective moyenne de 64,4 homme.Sv par an, et d'une baisse observée en 2014.

#### Contribution des neutrons

Comme pour l'exposition corps entier (photons et neutrons), l'année 2014 marque une légère reprise de l'augmentation des effectifs suivis et confirme la baisse de dose collective observée en 2013, alors que leur augmentation avait été constante depuis 2006 (figure 13).

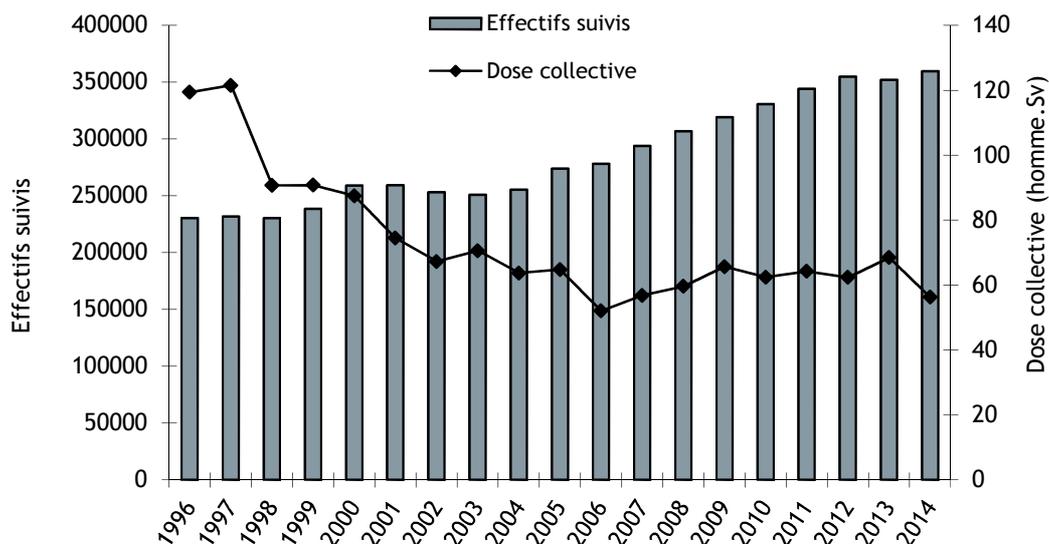


Figure 12 - Evolution des effectifs suivis et de la dose collective (photons + neutrons), de 1996 à 2014

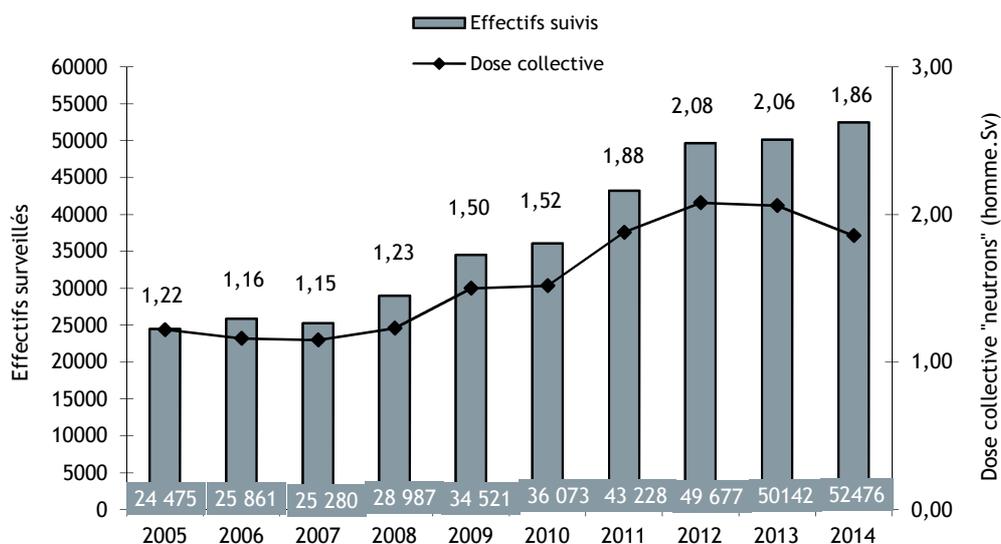


Figure 13 - Evolution des effectifs suivis et de la dose collective « neutrons », de 2005 à 2014

## DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2014, 27 068 travailleurs ont bénéficié d'une surveillance de l'exposition aux extrémités, soit 7,5% de l'effectif total suivi. La dose totale enregistrée pour ces porteurs est de 129,25 Sv et la dose individuelle annuelle moyenne de 4,8 mSv. La situation évolue à la hausse par rapport à 2013 où 25 790 travailleurs avaient été

suivis, avec une dose totale s'élevant à 125,35 Sv (soit respectivement 5% et 3% de plus qu'en 2013).

La figure 14 illustre la répartition des doses enregistrées aux extrémités en 2014 selon les domaines d'activité. Leur contribution relative à

l'effectif total ou à la dose collective totale est quasiment identique à celle de 2013. Le domaine des activités médicales et vétérinaires contribue majoritairement aux expositions des extrémités, avec plus de la moitié des travailleurs suivis et les deux tiers de la dose totale. L'effectif suivi dans le nucléaire représente 26% de l'effectif total suivi pour une contribution à la dose totale de 26% également. L'industrie non nucléaire et

la recherche comptent respectivement 10 et 7% de l'effectif total suivi et contribuent à la dose collective à hauteur de 3,5 et 2%.

La dose maximale est de 1 373,55 mSv, enregistrée pour un travailleur du domaine médical (secteur de la radiologie) et correspond au seul dépassement de la limite règlementaire de dose équivalente (500 mSv) enregistré en 2014 aux extrémités.

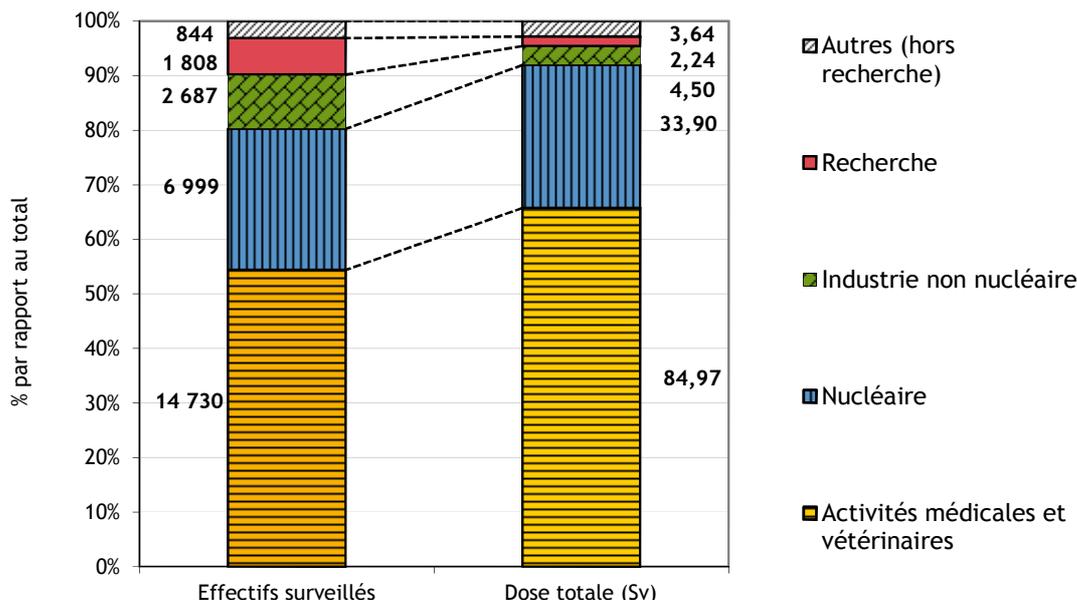


Figure 14 - Répartition des effectifs suivis et des doses enregistrées aux extrémités en 2014

La situation observée en 2014 confirme la tendance observée depuis 2012, première année où l'effectif suivi par une dosimétrie par bague avait dépassé l'effectif suivi par dosimétrie au poignet. La part des travailleurs bénéficiant d'une dosimétrie par bague augmente encore avec 15 818 travailleurs suivis, soit 58% de l'effectif total (vs 55% en 2013). Cette progression s'explique, comme en 2013, principalement par l'augmentation du nombre de porteurs dans le domaine des activités médicales et vétérinaires.

La répartition entre les deux types de dosimétrie évolue différemment suivant les domaines d'activité (figure 15). Dans le nucléaire, la forte augmentation de la proportion des dosimètres bague observée jusqu'en 2010 (2% de bagues en 2008, 17% en 2009, 21% en 2010, 16% en 2011, 15% en 2012 et 14% en 2013) ne s'est pas poursuivie et la lente diminution enregistrée depuis s'est encore

confirmée en 2014. La dose totale enregistrée par bague reste très faible au regard de celle enregistrée au poignet dans ce domaine. Concernant les activités médicales et vétérinaires, la progression de la dosimétrie par bague se poursuit encore en 2014, passant de 37% en 2008 à 75% en 2013 et 78% en 2014. La proportion des dosimètres bagues dans l'industrie non nucléaire ne varie que faiblement : 57% en 2008, 51% en 2009, 52% en 2010, 55% en 2011, 56% en 2012, 55% en 2013 et en 2014. Après une diminution notée jusqu'en 2010, le domaine de la recherche connaît depuis 2011 une augmentation de la proportion des dosimètres bague vs dosimètres poignet : 70% en 2008, 67% en 2009, 44% en 2010, 53% en 2011, 56% en 2012, 61% en 2013 et 63% en 2014. Ces résultats sont cependant à considérer avec une certaine prudence, car fortement dépendants de la qualité de la classification des travailleurs selon leur activité.

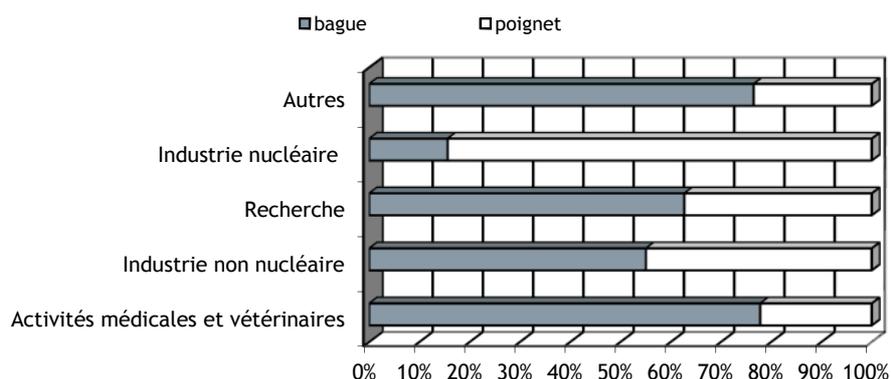


Figure 15 - Importance relative de la surveillance de l'exposition aux extrémités par dosimétrie par bague ou au poignet en 2014, suivant les domaines d'activité

## BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

### SURVEILLANCE DE ROUTINE, DE CHANTIER ET DE CONTROLE

Le nombre total d'examens réalisés dans le cadre de la surveillance de routine en 2014, tous types confondus, s'élève à 306 220 (contre 354 878 en 2013). Ces chiffres marquent une diminution qui reflète principalement une baisse du nombre d'examens anthroporadiométriques dans le domaine du nucléaire, notamment dans le secteur des réacteurs de production d'énergie (cf. chapitre dédié p 76-77). La répartition suivant les types d'examens est comparable à celle des années précédentes. Les examens anthroporadiométriques sont les plus nombreux, avec 159 993 (52%) examens réalisés en 2014 sur 74 465 travailleurs, suivis par les analyses radiotoxiques des prélèvements nasaux et des urines, avec respectivement 95 374 (31%) et 40 472 (13%) examens pour des effectifs correspondants de 7 541 et 14 656 travailleurs. Il faut cependant noter que pour plus de 4 000 travailleurs du CEA, le nombre d'examens par prélèvements nasaux n'est pas intégré dans le total car non communiqué par le laboratoire concerné. Il s'agit principalement d'examens systématiques d'entrée et de sortie de zone. 10 381 analyses radiotoxiques fécales (3% des examens) ont également été réalisées pour un effectif de 7 030 travailleurs.

Le tableau 5 présente la répartition des examens effectués suivant les domaines d'activité. La figure 16 détaille cette répartition suivant les types d'analyse. Il apparaît que les grandes entreprises du nucléaire font appel à l'ensemble des techniques de surveillance avec pour certaines des spécificités notables. EDF et AREVA utilisent préférentiellement des examens anthroporadiométriques : 126 618 des 159 993 anthroporadiométriques réalisés en 2014 (soit 79%) l'ont ainsi été dans les centrales nucléaires d'EDF. Concernant les prélèvements nasaux, au moins 77% des analyses réalisées, en 2014, l'ont été dans les installations du CEA (pour certaines d'entre elles, le nombre d'examens total n'est pas connu). Les travailleurs du domaine médical et de celui de la recherche bénéficient d'une surveillance comparable, en nombre d'examens. Le suivi des personnels dans les établissements du domaine médical repose essentiellement sur des analyses radiotoxiques urinaires, alors que pour le personnel des installations de recherche le suivi fait appel à tous les types d'examens avec une forte prédominance des analyses radiotoxiques urinaires (47%) et les examens anthroporadiométriques (45%). Les personnels du domaine de l'industrie non nucléaire bénéficient

plus rarement d'une surveillance de l'exposition interne.

Les modalités de surveillance mises en œuvre s'expliquent à la fois par la nature 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, chez AREVA et chez EDF, dont les différents sites disposent des installations de mesure nécessaires, un tel contrôle des personnels du

domaine médical ou de celui de la recherche est beaucoup plus difficile à mettre en œuvre : en pratique, les personnes doivent se déplacer dans les laboratoires de l'IRSN situés en région parisienne, à moins d'utiliser les moyens mobiles de l'Institut.

Il est à noter que la proportion d'examens positifs est stable par rapport à 2013 (0,77% du nombre total d'examens de routine).

**Tableau 5 - Exposition interne : surveillance de routine dans les différents domaines d'activité en 2014**

Domaines d'activité	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs <sup>(*)</sup>
Activités médicales et vétérinaires	11 458	91
Industrie non nucléaire	1 277	23
Nucléaire	282 817	2 223
Recherche	9 120	10
Autres	1 548	18
<b>Total</b>	<b>306 220</b>	<b>2 365</b>

(\*) Les examens considérés positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite d'interprétation opérationnelle définie au préalable avec le prescripteur, ou, à défaut, à la limite de détection (LD).

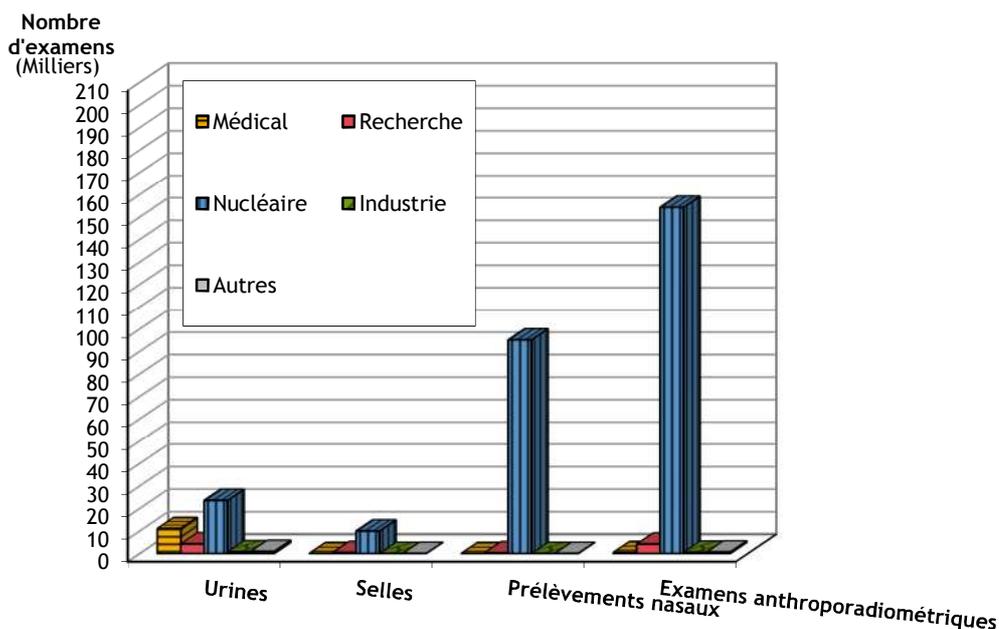


Figure 16 - Nombre d'examens suivant les types d'analyses mises en œuvre pour assurer la surveillance de l'exposition interne dans les différents domaines d'activités en 2014 (surveillance de routine)

## SURVEILLANCE SPECIALE

En 2014, 5 524 examens ont été réalisés dans le cadre de la surveillance spéciale pour 3 006 travailleurs. Seule une partie d'entre eux ont été réalisés à la suite d'un événement ou d'un incident de radioprotection. Pour 875 des examens, soit 16%

de l'ensemble des examens dans le cadre de cette surveillance, le résultat a été positif. Le tableau 6 présente la répartition de ces examens suivant les domaines d'activité. La majorité de ces examens (78%) ont concerné le domaine nucléaire.

Tableau 6 - Exposition interne : surveillance spéciale dans les différents domaines d'activité en 2014

Domaines d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs <sup>(*)</sup>
Activités médicales et vétérinaires	178	265	25
Industrie non nucléaire	17	46	10
Nucléaire	2 472	4 323	824
Recherche	290	774	8
Autres	49	116	8
<b>Total</b>	<b>3 006</b>	<b>5 524</b>	<b>875</b>

(\*) Les examens considérés positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite d'interprétation opérationnelle définie au préalable avec le prescripteur, ou, à défaut, à la limite de détection (LD).

## ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

En 2014, 553 travailleurs ont fait l'objet d'un calcul de dose interne. Ce sont pour 98% d'entre eux des travailleurs du domaine nucléaire. Tous domaines confondus, 5 cas d'exposition interne conduisant à une dose efficace engagée supérieure à 1 mSv ont été rapportés. Une dose individuelle de 13,3 mSv (valeur maximale enregistrée en 2014)

a été estimée pour un travailleur de l'industrie non nucléaire.

La figure 17 présente pour les années 2006 à 2014 le nombre de travailleurs pour lesquels le calcul de la dose efficace engagée a conduit à une valeur supérieure à 1 mSv, et indique également la dose individuelle maximale enregistrée chaque année.

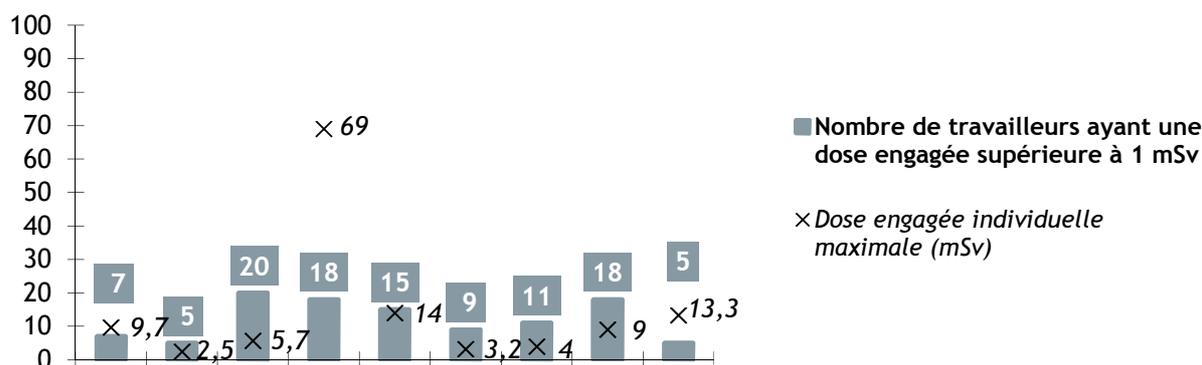


Figure 17 - Evolution, de 2006 à 2014, du nombre de travailleurs ayant une dose engagée supérieure à 1 mSv

## DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

### BILAN 2014

Le bilan établi au 7 avril 2015 met en évidence un dépassement de l'une des limites réglementaires de dose, entre le 1<sup>er</sup> janvier 2014 et le 31 décembre 2014, pour 10 travailleurs (tableau 7)

Les dépassements de la limite réglementaire de dose efficace (9 travailleurs) sont dus à une dose externe supérieure à 20 mSv reçue sur une seule période de port du dosimètre pour 7 des 9 travailleurs concernés et par cumul sur plusieurs périodes de port pour les deux autres cas. La dose efficace annuelle enregistrée est comprise entre 20 et 25 mSv pour 2 travailleurs, entre 25 et 50 mSv pour six travailleurs ; elle est égale à 96,2 mSv pour le dernier travailleur. Ces dépassements de la

limite réglementaire de dose efficace sont observés dans les différents domaines d'activité : 7 travailleurs exercent dans le domaine des activités médicales et vétérinaires, 1 dans l'industrie non nucléaire et 1 dans le secteur regroupant les organismes d'inspection et de contrôle (« Autres domaines »).

Un cas de dépassement de la limite de dose équivalente aux extrémités (doigt) est enregistré dans le domaine médical (radiologie), avec une valeur égale à 1 373 mSv correspondant à un cumul de valeurs sur plusieurs périodes de port.

Aucun dépassement de la limite de dose équivalente à la peau n'est enregistré en 2014.

Dans de telles situations, selon les dispositions réglementaires en vigueur, le médecin du travail doit diligenter une enquête visant à confirmer, ou non, la réalité des situations d'exposition ayant conduit à un dépassement.

Pourtant, dans 8 des 10 cas de dépassements recensés pour 2014, l'IRSN n'a pas reçu le retour des conclusions d'enquête du MDT.

Pour les 2 autres cas, l'enquête diligentée par le médecin du travail a confirmé l'exposition du travailleur concerné.

Ainsi, parmi les dépassements de dose enregistrés pour l'année 2014 certains ne correspondent vraisemblablement pas à de réelles situations d'exposition du travailleur au-delà de la limite réglementaire (présomption d'oubli du dosimètre dans une salle d'examen, par exemple). Toutefois, l'enquête diligentée n'ayant pu complètement exclure une exposition, la valeur de dose supposée reçue reste enregistrée.

**Tableau 7 - Dépassements des limites annuelles réglementaires de doses : bilan 2014**

	Nombre de travailleurs
<b>Dose efficace</b>	<b>9</b>
<i>due à une exposition externe</i>	9
<i>due à une exposition interne</i>	0
<b>Dose équivalente aux extrémités</b>	<b>1</b>
<b>Dose équivalente à la peau (poitrine)</b>	<b>0</b>

## EVOLUTION SUR LA PERIODE 1996-2014

La figure 18 présente l'évolution depuis 1996 du nombre de travailleurs suivis dont la dose annuelle est supérieure à 20 mSv. Depuis 2004, l'IRSN trace chacun des signalements de dépassement pour avoir accès aux conclusions de l'enquête menée par le médecin du travail, ce qui s'est traduit par une diminution du nombre de cas recensés.

Cette évolution est détaillée suivant les domaines d'activité des travailleurs concernés sur la période 2004-2014 (figure 19). Le domaine des activités médicales et vétérinaires est celui où les effectifs présentant les doses les plus élevées sont les plus

nombreux. C'est aussi le domaine où les travailleurs suivis sont les plus nombreux et où les écarts par rapport aux bonnes pratiques de port des dosimètres étaient précédemment les plus importants et il est vraisemblable qu'un certain nombre des fortes valeurs observées dans les années 90 n'aient pas été réellement reçues (typiquement, le dosimètre reste dans la salle d'examen et enregistre alors une dose significative non reçue par le travailleur, ou le dosimètre est porté au-dessus du tablier de plomb et non en-dessous,...).

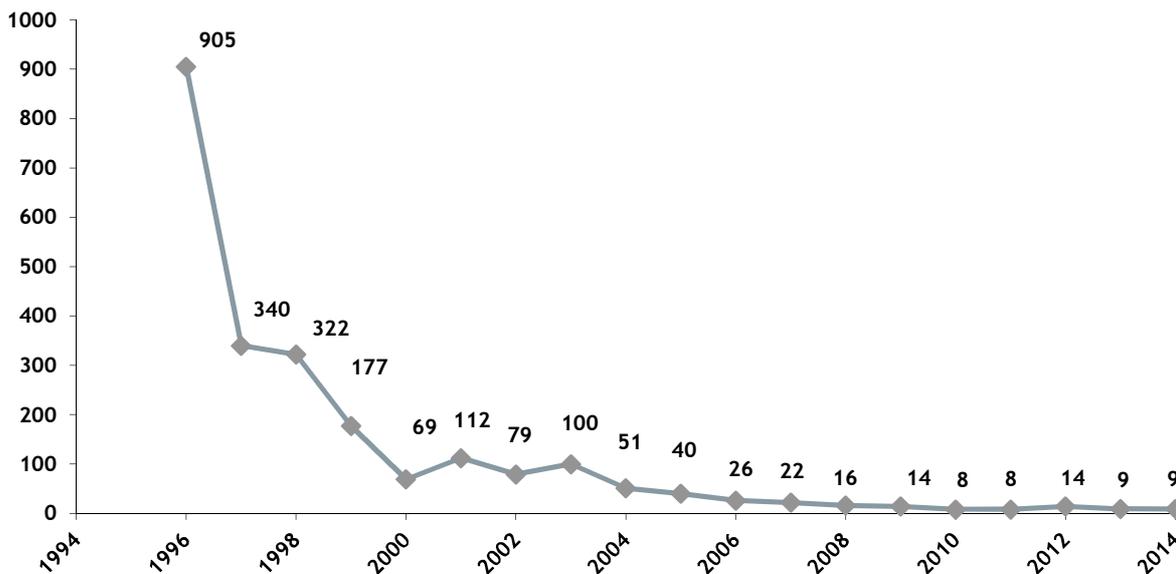


Figure 18 - Evolution, de 1996 à 2014, du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv

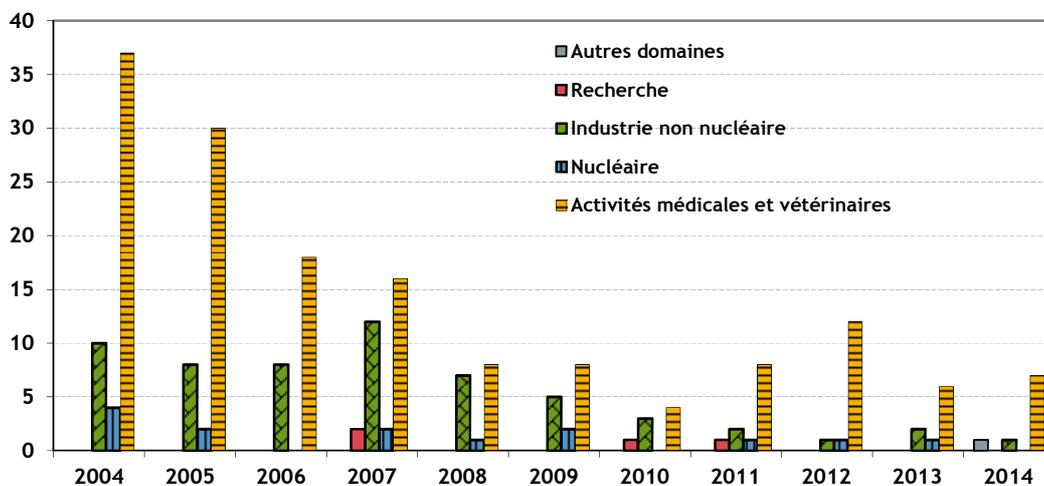


Figure 19 - Répartition par domaine d'activité du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (période 2004-2014)

## SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Parmi l'ensemble des événements recensés par l'IRSN en 2014, 246 concernent directement les travailleurs, soit une baisse de 4% par rapport à l'année 2013. La figure 20 illustre la répartition de ces événements selon les domaines d'activité. Ces

événements sont majoritairement intervenus dans le domaine nucléaire (63%) puis dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (17%), dans l'industrie non nucléaire (15%) et dans la recherche (5%).

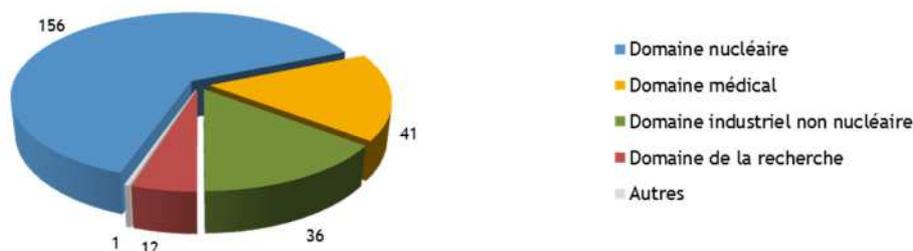


Figure 20 - Répartition des événements concernant des travailleurs suivant leur domaine d'activité

Parmi les 246 événements recensés comme concernant directement les travailleurs, 208 sont des événements déclarés selon les critères des guides de déclaration de l'ASN, notamment :

- le guide relatif aux modalités de déclaration et à la codification des critères relatifs aux événements significatifs impliquant la sûreté, la radioprotection ou l'environnement applicable aux

installations nucléaires de base et au transport de matières radioactives,

- le guide n° 11 relatif aux modalités de déclaration et à la codification des critères relatifs aux événements significatifs dans le domaine de la radioprotection hors installations nucléaires de base et transports de matières radioactives.

#### Evolution sur la période 2004 - 2014

Le tableau 8 reprend la répartition, selon les grands domaines d'activité, des événements ayant impliqué des travailleurs depuis 2004. Il ne montre pas d'évolution significative sur ces 10 années. Le domaine médical reste le principal pourvoyeur d'alertes de dépassement de limite réglementaire même si, pour la première fois, la proportion d'alertes de dépassement dans ce domaine (58% des alertes de dépassement tous domaines confondus) est inférieure à la proportion de l'effectif de ce domaine dans l'effectif global (63%). Il convient de noter que ces événements sont connus sans aucune démarche proactive des employeurs puisque les alertes sont déclenchées

par les laboratoires de dosimétrie et non par une déclaration systématique des employeurs comme le prévoit pourtant la réglementation. Si la culture de déclaration entre peu à peu dans les habitudes du domaine médical en ce qui concerne les événements impliquant des patients, il semblerait qu'il y ait peu d'évolution des pratiques déclaratives en ce qui concerne les événements affectant la radioprotection des travailleurs. Les domaines d'activité ayant historiquement une culture déclarative plus forte, à l'image du domaine nucléaire, affichent un nombre d'événements qui évolue peu d'année en année.

Tableau 8 - Evolution des événements concernant des travailleurs sur la période 2004 - 2014

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>Alertes de dépassements de limite réglementaire de dose</b>											
- activités médicales et vétérinaires	42	63	53	54	36	44	32	34	36	44	25
- industrie non nucléaire	11	17	13	18	17	13	5	12	4	11	13
- nucléaire	0	0	1	0	4	2	5	3	6	6	1
- recherche	2	2	1	0	0	0	0	0	3	0	3
- autres									3 <sup>(*)</sup>	0	1
<b>Total alertes de dépassements</b>	<b>55</b>	<b>82</b>	<b>68</b>	<b>72</b>	<b>57</b>	<b>59</b>	<b>42</b>	<b>49</b>	<b>52</b>	<b>61</b>	<b>43</b>
<b>Autres événements</b>											
- activités médicales et vétérinaires	2	8	9	10	7	11	13	17	22	12	16
- industrie non nucléaire						19	17	2	5	7	23
- nucléaire	193	182	170	169	183	137	137	132	148	167	155
- recherche						6	1	2	18 <sup>(**)</sup>	9	9
- autres									1	0	0
<b>Total autres événements</b>	<b>195</b>	<b>190</b>	<b>179</b>	<b>179</b>	<b>190</b>	<b>173</b>	<b>168</b>	<b>153</b>	<b>194</b>	<b>195</b>	<b>203</b>
<b>TOTAL</b>	<b>250</b>	<b>272</b>	<b>247</b>	<b>251</b>	<b>247</b>	<b>232</b>	<b>210</b>	<b>202</b>	<b>246</b>	<b>256</b>	<b>256</b>

(\*) Les événements concernant la catégorie « Autres » n'ont été comptabilisés dans le bilan qu'à partir de l'année 2012.

(\*\*) Les événements survenus dans les installations de recherche liées au nucléaire sont classés dans le domaine de la recherche à partir de l'année 2012 uniquement, ce qui explique l'augmentation du nombre d'événements dans ce domaine entre 2011 et 2012.

# DOMAINE DES ACTIVITES MEDICALES ET VETERINAIRES



## *SOMMAIRE*

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES	p 56
Dosimétrie corps entier	p 56
Dosimétrie des extrémités	p 60
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	p 61
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	p 61
Surveillance spéciale	p 62
Estimations dosimétriques	p 63
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	p 63
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	p 63
OPTIMISATION DE LA RADIOPROTECTION EN RADIOTHERAPIE	p 64

Le domaine des activités médicales et vétérinaires utilisant les rayonnements ionisants recouvre les secteurs de la radiologie médicale, de la médecine nucléaire, de la radiothérapie, de la médecine du travail, des soins dentaires, de la médecine vétérinaire, ainsi que les laboratoires d'analyses mettant en œuvre des techniques de radio-immunologie (RIA), et les activités de logistique et de maintenance sur les différentes installations.

La radiologie médicale regroupe les techniques de radiologie conventionnelle, de mammographie, de scanographie et de radiologie interventionnelle. Des installations de radiodiagnostic existent aussi dans les secteurs dentaire et vétérinaire.

## BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

### DOSIMETRIE CORPS ENTIER

Le nombre total de travailleurs suivis dans le domaine des activités médicales et vétérinaires est en augmentation de 1,4% par rapport à l'année 2013. Dans le même temps, la dose collective diminue de 34% entre 2013 et 2014. Cette évolution est cependant faussée par le cas exceptionnel de dépassement de la limite réglementaire de dose qui s'élevait à plus de 7 Sv, soit 31% de la dose collective de ce domaine en 2013. En excluant ce cas exceptionnel, la baisse de la dose collective entre 2013 et 2014 est de 4%. La dose individuelle annuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé (i.e. pour lequel au moins une dose est supérieure au seuil d'enregistrement) passe ainsi de 0,57 mSv en 2013 à 0,38 mSv en 2014. Il convient de nuancer également l'évolution de cet indicateur, dont les valeurs apparaîtraient quasi stables par rapport à 2013 (0,40 vs 0,38 mSv)

#### *Analyse suivant les activités professionnelles*

Le tableau 9 présente les résultats de la surveillance dosimétrique répartis par secteur d'activité (exposition aux photons et aux neutrons).

Tous les laboratoires ne sont pas encore en mesure de distinguer les données relatives aux activités de radiodiagnostic de celles concernant la radiologie interventionnelle. C'est la raison pour laquelle ces

- **226 013** travailleurs suivis
- dose collective annuelle :  
**15,64** homme.Sv
- dose individuelle annuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé :  
**0,38** mSv

s'il n'était pas tenu compte de cette valeur exceptionnelle de 2013, valeur qui compte tenu de son ampleur et du contexte global du cas est une valeur conservée qui ne peut correspondre à une réelle exposition du travailleur concerné.

données sont regroupées dans la catégorie « Radiologie ».

Un certain nombre -non quantifié précisément- de travailleurs sont enregistrés de façon inopportune en radiologie médicale ou en radiothérapie alors qu'ils interviennent en réalité en radiographie industrielle, notamment dans le cadre de prestations en INB.

Tableau 9 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine des activités médicales et vétérinaires

Secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total <sup>(a)</sup> (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé <sup>(b)</sup> (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Radiologie	117 426	9,53	0,08	0,45	96 404	19 170	1 591	227	25	4	5
Soins dentaires	49 668	2,10	0,04	0,23	40 639	8 816	204	5	3	0	1
Médecine du travail et dispensaires	3 742	0,17	0,05	0,25	3 059	661	22	0	0	0	0
Radiothérapie	7 019	0,96	0,14	0,64	5 520	1 329	127	36	4	2	1
Médecine nucléaire	3 957	1,02	0,26	0,70	2 509	1 082	361	5	0	0	0
Laboratoires d'analyses (RIA)	124	0,00	0,00	0,16	121	3	0	0	0	0	0
Médecine vétérinaire	20 051	0,44	0,02	0,19	17 777	2 238	33	3	0	0	0
Logistique et maintenance (prestataires)	130	0,01	0,06	0,30	106	23	1	0	0	0	0
Autres	23 896	1,41	0,06	0,28	18 800	4 906	181	7	2	0	0
<b>Total</b>	<b>226 013</b>	<b>15,64</b>	<b>0,07</b>	<b>0,38</b>	<b>184 935</b>	<b>38 228</b>	<b>2 520</b>	<b>283</b>	<b>34</b>	<b>6</b>	<b>7</b>

(a) Dose individuelle moyenne sur l'effectif total = dose collective / effectif total suivi.

(b) Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé = dose collective / effectif suivi pour lequel la dose est supérieure au seuil d'enregistrement.

Les effectifs, doses collectives et doses moyennes indiquées pour ces secteurs du domaine médical sont donc à considérer avec prudence. L'obligation faite aux employeurs de déclarer directement le secteur d'activité de leurs travailleurs dans SISERI permettra d'affiner la distinction des différents secteurs et de supprimer les erreurs de classification.

Pour chaque secteur d'activité, les données pour les travailleurs civils et ceux de la défense ont été regroupées. Les travailleurs des activités de défense (hôpitaux inter-armée) suivis par le SPRA se retrouvent ainsi dans les secteurs du radiodiagnostic, de la radiologie interventionnelle,

des soins dentaires, de la médecine du travail, de la radiothérapie, de la médecine nucléaire, de la médecine vétérinaire et de la maintenance. Ils représentent 0,7% de l'effectif total du domaine médical et vétérinaire, avec une contribution à la dose collective de 0,6%.

La dose individuelle annuelle maximale de ce domaine en 2014 a été enregistrée dans le secteur des soins dentaires. Cette dose est de 96,2 mSv ; 6 autres cas de dépassement de la limite réglementaire annuelle ont par ailleurs été observés dans ce domaine d'activité.

L'analyse de la répartition des effectifs en fonction de leur niveau d'exposition montre que la très grande majorité des travailleurs est non exposée (doses inférieures au seuil d'enregistrement) (cf. figure 21). C'est le cas pour 82% des travailleurs du secteur de la radiologie et des soins dentaires, et pour 89% de l'effectif du secteur de la médecine vétérinaire. Il est à noter que, pour ces trois secteurs qui recouvrent 83% de l'effectif total du domaine, le nombre de travailleurs non exposés est en augmentation (respectivement de 3%, 4% et 3%) par rapport à 2013.

ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement, tous secteurs confondus, plus de 93% sont exposés à moins de 1 mSv. Ce chiffre varie de 91% dans le secteur de la radiologie à environ 98% pour les secteurs des soins dentaires et de la médecine vétérinaire. Le reste de l'effectif exposé se concentre ensuite dans la classe de dose de 1 à 5 mSv, les expositions à plus de 5 mSv ne concernant que moins de 1% des travailleurs exposés, sauf dans le secteur de la radiologie (1,2%).

La figure 22 montre que, parmi les travailleurs du domaine des activités médicales et vétérinaires

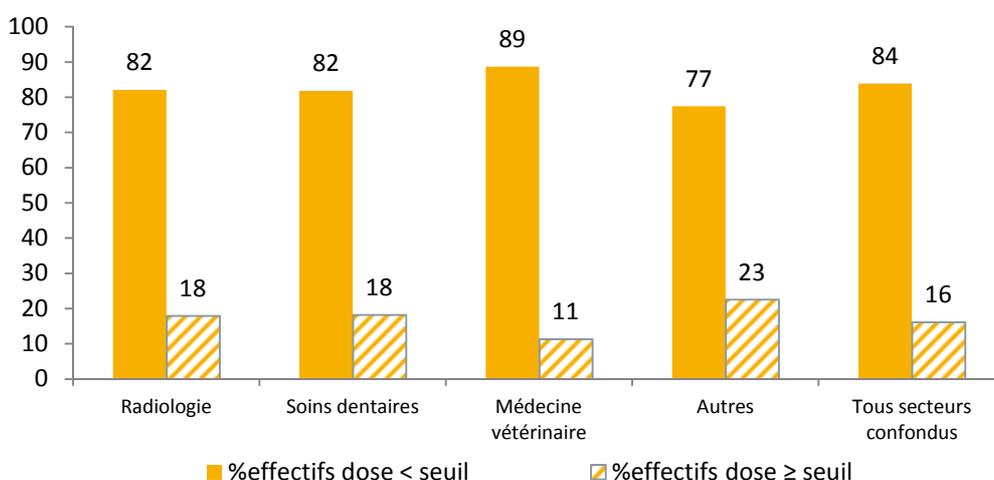


Figure 21 - Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis des principaux secteurs médicaux et vétérinaires, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose

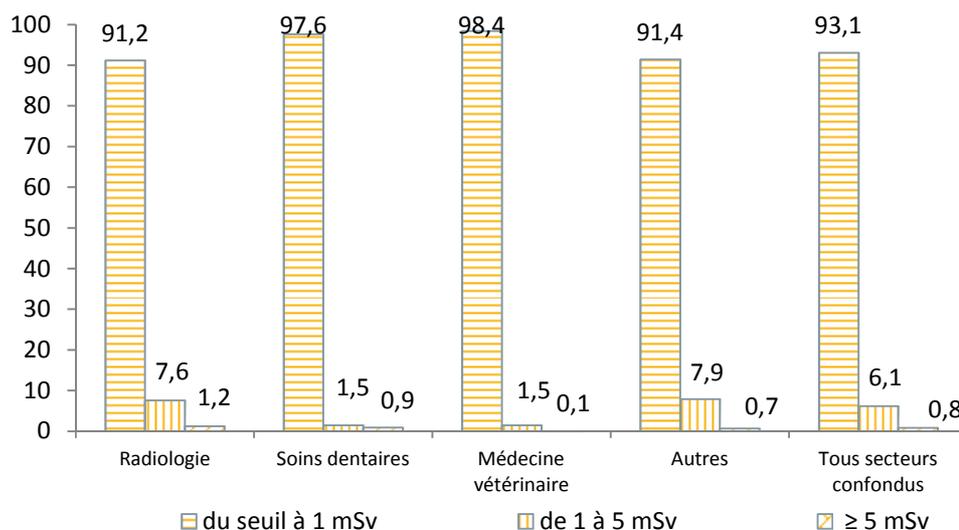


Figure 22 - Répartition (en pourcentages) de l'effectif exposé des principaux secteurs médicaux et vétérinaires, en fonction de différentes classes de dose externe corps entier

### Contribution des neutrons

3 195 travailleurs du domaine médical, soit 1,4% de l'effectif de ce domaine, ont un suivi pour l'exposition aux neutrons. Ce chiffre est en nette diminution, de 34%, par rapport à 2013. La dose collective correspondante est égale à 3,76 homme.mSv, en forte baisse par rapport à la dose de 52,4 homme.mSv enregistrée en 2013. La dose individuelle annuelle maximale enregistrée est inférieure à 1 mSv.

L'analyse des données conduit à penser que cette diminution serait due au reclassement d'une vingtaine de travailleurs du domaine de la radiologie, enregistrés l'an dernier dans la classe de dose de 1 à 6 mSv. Cette classe de dose n'est

plus représentée dans ce secteur en 2014, ce qui pourrait expliquer la différence de quelques dizaines d'homme.mSv observée en termes de dose collective. Si 68% de la dose collective provient encore du secteur de la radiologie médicale (82% en 2013), 7% provient du secteur de la radiothérapie et 2% du secteur des autres activités (ou activités médicales non précisées). Le domaine des activités médicales et vétérinaires n'est pas celui dans lequel le risque d'exposition aux neutrons est élevé. Les résultats pour 2014 semblent donc refléter un début d'amélioration dans l'affectation des secteurs d'activité des travailleurs par les laboratoires assurant leur suivi dosimétrique.

### Evolution sur la période 1996-2014

L'évolution de la dosimétrie entre 1996 et 2013 présente trois périodes distinctes (figure 23) : une première période (1996 - 2004) au cours de laquelle l'effectif évolue peu alors que la dose collective diminue, ce qui peut refléter un certain progrès dans les pratiques, avec une optimisation de la radioprotection entraînant une diminution progressive des doses reçues. Lors d'une seconde période (2005-2010), l'effectif et les doses collectives augmentent parallèlement. Enfin, depuis 2010, une tendance à la baisse de la dose collective est à nouveau observée alors que l'effectif suivi continue d'augmenter. Ceci traduit

la poursuite de l'optimisation des pratiques mais aussi le fait que l'augmentation des effectifs du domaine concerne en majorité des travailleurs qui sont très faiblement exposés. La valeur de la dose collective enregistrée en 2013 n'est pas représentative de l'exposition de l'ensemble de l'effectif suivi dans la mesure où les seuls dépassements de la limite réglementaire de dose comptent pour 32% de la dose collective totale. Hors dépassement, la dose collective observée serait inférieure à celle de 2012 dans le sens d'une tendance à la baisse confirmée en 2014.

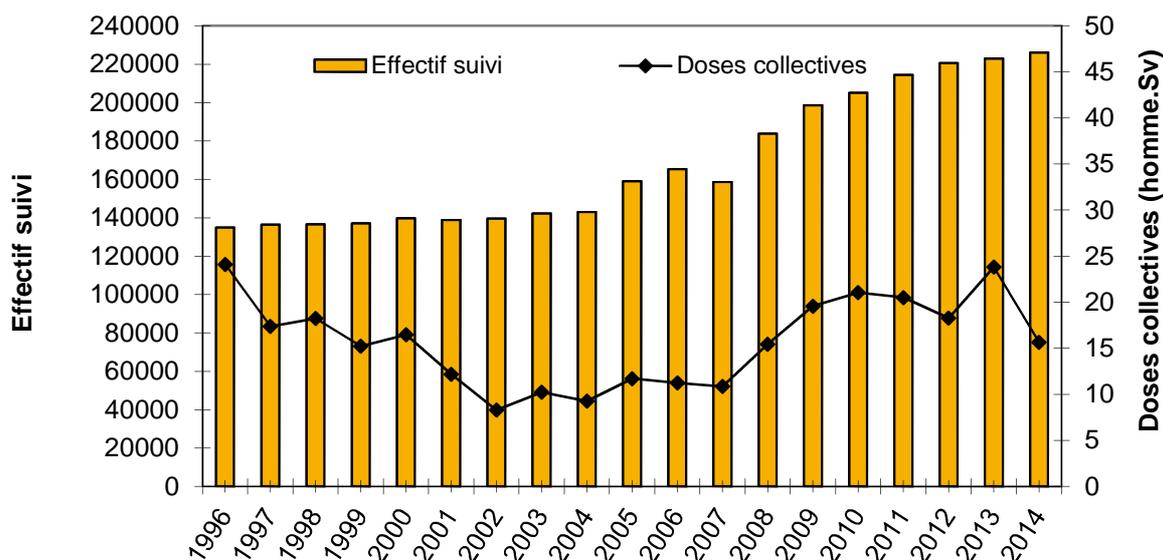


Figure 23 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (période 1996-2014)

## DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2014, 14 730 travailleurs exerçant dans le domaine médical et vétérinaire ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités, la dose totale

### *Dosimétrie par bague*

78% des travailleurs exerçant dans le domaine des activités médicales et vétérinaires, bénéficiant d'un suivi dosimétrique aux extrémités, portent un dosimètre bague, soit 11 465 travailleurs. La dose totale enregistrée par ces porteurs est de 82,69 Sv. La dose individuelle annuelle maximale enregistrée est de 1 373 mSv, reçue dans le secteur du radiodiagnostic. La figure 24 illustre la répartition des doses enregistrées en 2014 suivant les secteurs d'activité de ce domaine. C'est le secteur de la radiologie (sans distinction du radiodiagnostic et de la radiologie interventionnelle) qui contribue majoritairement aux expositions des extrémités,

enregistrée étant de 85 Sv et la dose individuelle moyenne de 5,8 mSv.

avec 68% des travailleurs suivis et 55% de la dose totale enregistrée.

Sur l'ensemble de l'effectif suivi aux extrémités par une bague, il apparaît que 50% des travailleurs n'ont pas été exposés, 49% des travailleurs ont reçu une dose comprise entre le seuil d'enregistrement et 150 mSv et moins de 1% des travailleurs ont reçu une dose comprise entre 150 et 500 mSv. Ces chiffres sont respectivement de 54%, 45% et moins de 1% pour le secteur de la radiologie et de 26%, 73% et 1% pour le secteur de la médecine nucléaire.

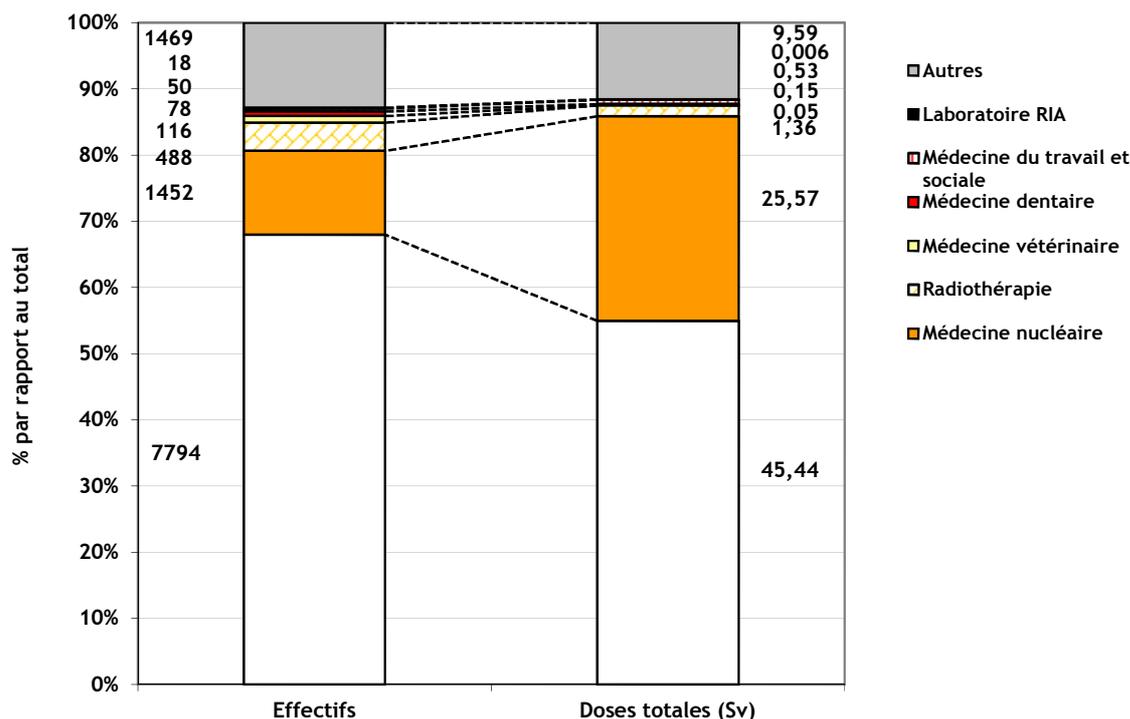


Figure 24 - Répartition des doses enregistrées pour la dosimétrie par badge en 2014 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires

### Dosimétrie au poignet

En 2014, la dose totale enregistrée dans le domaine des activités médicales et vétérinaires à l'aide de la dosimétrie au poignet a concerné 3 265 travailleurs. Elle s'élève à 2,28 Sv. Le secteur du radiodiagnostic contribue à lui seul à 76% de l'effectif suivi et à 78% de la dose totale enregistrée. C'est également dans ce secteur que la dose individuelle maximale de 129,8 mSv a été enregistrée.

Par rapport à l'effectif total suivi aux extrémités par un dosimètre poignet, 76% des travailleurs ont reçu une dose enregistrée inférieure au seuil d'enregistrement, 24% ont reçu une dose comprise entre le seuil et 150 mSv, aucun travailleur n'ayant reçu une dose supérieure à 150 mSv. Ces chiffres se retrouvent à l'identique dans le secteur de la radiologie.

## BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

### SURVEILLANCE DE ROUTINE, DE CHANTIER ET DE CONTROLE

Sur les 11 458 examens réalisés dans le cadre de la surveillance de routine, 11 040 sont des analyses radiotoxicologiques urinaires et concernent des travailleurs des secteurs de la médecine du travail ou des dispensaires, de la médecine nucléaire, des

laboratoires d'analyses médicales utilisant des techniques de radio-immunologie, de l'irradiation des produits sanguins et des travailleurs de médecine vétérinaire (tableau 10).

Sur l'ensemble des analyses urinaires réalisées, seules 0,3 % sont positives.

Les 418 autres examens réalisés sont des anthroporadiométries, dont 57 ont été positives.

**Tableau 10 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine des activités médicales et vétérinaires**

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs <sup>(*)</sup>
Médecine du travail et dispensaires	5	8	0
Médecine nucléaire	1 508	10 273	33
Laboratoire d'analyse médicale avec radio-immunologie	297	674	1
Irradiation de produits sanguins	12	58	0
Médecine vétérinaire	8	27	0
<b>Total</b>	<b>1 830</b>	<b>11 040</b>	<b>34</b>

(\*) Les examens considérés positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite d'interprétation opérationnelle définie au préalable avec le prescripteur, ou, à défaut, à la limite de détection (LD).

## SURVEILLANCE SPECIALE

Les examens réalisés dans le cadre d'une surveillance spéciale ont été très majoritairement faits pour le secteur de la médecine nucléaire, où

15% des examens se sont révélés positifs (tableau 11).

**Tableau 11 - Examens réalisés à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale) dans le domaine des activités médicales et vétérinaires**

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs <sup>(*)</sup>
Médecine nucléaire	172	259	25
Laboratoire d'analyse médicale avec radio-immunologie	3	3	0
Irradiation de produits sanguins	2	2	0
Médecine vétérinaire	1	1	0
<b>Total</b>	<b>178</b>	<b>265</b>	<b>25</b>

(\*) Les examens considérés positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite d'interprétation opérationnelle définie au préalable avec le prescripteur, ou, à défaut, à la limite de détection (LD).

## ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

2 travailleurs du domaine des activités médicales et vétérinaires ont été concernés par un calcul de

dose en 2014, la dose efficace engagée enregistrée étant inférieure à 1 mSv dans les deux cas.

## DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Concernant la dosimétrie du corps entier, 7 cas de dépassement de la limite de 20 mSv ont été recensés. La dose maximale enregistrée est égale à 96,2 mSv dans le secteur de la médecine dentaire. Les 6 autres cas de dépassement concernent le secteur de la radiologie interventionnelle ou du radiodiagnostic (1 dose comprise entre 20 et 25 mSv et 5 doses comprises entre 30 et 50 mSv).

de 1373 mSv, résultant du cumul de plusieurs valeurs au cours de l'année.

Concernant la dosimétrie à la peau, aucun cas de dépassement de la limite de 500 mSv n'a été recensé en 2014, dans le domaine des activités médicales et vétérinaires.

Concernant la dosimétrie aux extrémités, 1 cas de dépassement a été enregistré dans le secteur du radiodiagnostic, avec une dose annuelle au doigt

## SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Au cours de l'année 2014, 41 événements de radioprotection (ERP) ont été recensés dans le domaine des activités médicales et vétérinaires, dont la répartition par secteur d'activité est présentée dans le tableau 12.

Parmi ces 41 événements, 18 sont des événements déclarés selon les critères du guide n°11 de déclaration de l'ASN,

- 9 ERP ont été déclarés au titre du critère n°1 relatif à une exposition ou une situation mal ou non maîtrisée, ayant entraîné ou susceptible d'entraîner un dépassement de la limite de dose individuelle annuelle réglementaire associée au classement du travailleur ;

- 5 ERP ont été déclarés au titre du critère n°4 relatif aux sources radioactives :

- 1 perte de contrôle de sources,
- 2 cas de perte ou vol de sources,
- 1 cas de dispersion de radionucléide,
- 1 livraison non conforme à l'autorisation délivrée,

- 4 ERP ont été déclarés au titre du critère n°6 « Autres ».

Les autres événements, pour lesquels l'IRSN n'a pas de certitude sur leur déclaration auprès de l'ASN, sont des alertes de dépassement des limites annuelles réglementaires de dose. En effet, l'IRSN peut être alerté de ce type d'événement directement par l'organisme de dosimétrie ou le mettre en évidence à partir de l'analyse des données de SISERI.

**Tableau 12 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine des activités médicales et vétérinaires**

Activités médicales et vétérinaires	Nombre d'événements recensés
Radiodiagnostic	14
Radiologie interventionnelle	6
Soins dentaires	2
Radiothérapie	7
Médecine nucléaire	6
Irradiation de produits sanguins	1
Logistique et maintenance du médical	2
Transport de produits radio-pharmaceutiques	2
Autres	1
<b>Total</b>	<b>41</b>

## OPTIMISATION DE LA RADIOPROTECTION EN RADIOTHERAPIE

### CALCULS DE RADIOPROTECTION EN RADIOTHERAPIE

Les accélérateurs de particules utilisés en radiothérapie produisent des faisceaux d'électrons et de photons dans la gamme d'énergies de 4 à 25 MeV et délivrent des débits de dose allant jusqu'à  $24 \text{ Gy}\cdot\text{min}^{-1}$  à 1 mètre de la source. Les faisceaux de photons X d'énergie nominale supérieure à 10 MeV engendrent par ailleurs un rayonnement neutronique secondaire par interaction avec des matériaux lourds situés dans la tête de l'appareil ou dans les murs. L'énergie moyenne de cette composante neutronique est d'environ 500 keV et son intensité croît de façon exponentielle avec l'énergie du faisceau de photons. Un rayonnement  $\gamma$  est également produit par l'interaction des neutrons avec les murs de béton du bunker. Afin de protéger le personnel contre ces rayonnements, les accélérateurs médicaux sont installés dans des bunkers avec des parois généralement en béton de plus d'un mètre

d'épaisseur, une porte renforcée et une chicane permettant de limiter l'épaisseur de la porte.

Depuis plusieurs années l'IRSN fournit un support technique aux professionnels de radiothérapie, en particulier aux radiophysiciens, pour le dimensionnement de nouvelles installations ou le redimensionnement de bunkers existants lors d'un changement d'appareil. L'IRSN réalise également des prestations pour des centres de radiothérapie ou pour des sociétés mandatées par ceux-ci (cabinets d'architecte, entreprises du bâtiment...) et répond aux éventuelles demandes d'expertise de la part des autorités (ASN). Ces prestations ou avis d'expertise concernent généralement des installations non standard (type d'appareil, géométrie ou matériaux du bunker). Elles incluent la vérification du zonage et des protections envisagées et la proposition éventuelle de protections supplémentaires pour respecter la réglementation en radioprotection en vigueur. Les

évaluations se fondent sur l'estimation par calcul du débit d'équivalent de dose et de la dose efficace aux points d'intérêt, pour les champs de photons et de neutrons. Les calculs sont réalisés suivant des méthodes analytiques proposées dans la littérature internationale, en particulier les méthodes recommandées par le US-National Council of Radiation Protection (NCRP). Depuis 2011, dans le cas de configurations particulières pour lesquelles les approches analytiques n'ont pas été validées, des calculs par simulation de Monte Carlo sont également effectués. Ces calculs tiennent compte de la singularité d'une configuration donnée.

Les études réalisées par l'IRSN en 2014 concernent la tomothérapie. L'appareil de tomothérapie est caractérisé par un accélérateur linéaire d'électrons compact qui tourne autour du patient et produit un faisceau mince en forme d'éventail (fan beam ou slit beam), de taille maximale 40 cm x 5 cm à l'isocentre. Une translation longitudinale couplée de la table permet la réalisation d'une irradiation en hélice comme dans le cas du scanner (Figure 25). Le faisceau de traitement est un

rayonnement X de freinage d'énergie maximale de 6 MeV avec un débit d'environ  $8,5 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$  à l'isocentre, dont l'intensité est modulée par un collimateur multilames. Cette complexité d'irradiation permet d'obtenir des distributions de dose conformes aux volumes cibles prévisionnels, avec un fort gradient de dose permettant de protéger les organes à risque. La dernière génération d'appareil permet également une irradiation en mode statique, sans rotation continue de l'accélérateur, appelé mode topographique. L'énergie maximale du faisceau de photons étant de 6 MeV, il n'y a pas de production de neutrons à considérer pour la radioprotection. Par ailleurs, le faisceau primaire étant intercepté par un bouclier en plomb placé dans l'anneau de l'appareil en face de l'accélérateur et tournant avec celui-ci (Figure 25), les composantes principales à considérer pour le dimensionnement d'un bunker de tomothérapie sont les rayonnements X secondaires : le rayonnement X de fuite issu de la tête de l'accélérateur et le rayonnement X diffusé par le patient.

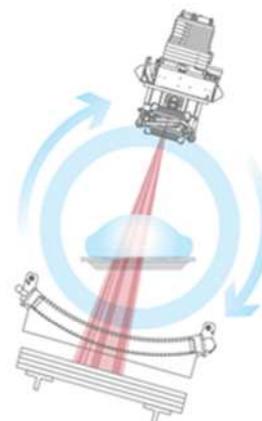


Figure 25 - Appareil de tomothérapie (gauche) et représentation schématique de l'accélérateur en rotation, du faisceau en éventail et du bouclier primaire (droite)

### Etude du rayonnement diffusé autour d'un appareil de tomothérapie

Aucune donnée n'étant disponible sur l'énergie du rayonnement diffusé en mode rotationnel (le plus courant en clinique) ni sur sa transmission dans les matériaux de protection, l'IRSN a réalisé une étude par simulation de Monte Carlo au moyen du logiciel RayXpert (TRAD, France). Des calculs de l'énergie moyenne du rayonnement diffusé en fonction de

l'angle de diffusion, en mode d'irradiation statique, ont permis de valider les simulations, par comparaison avec des données publiées par le National Council of Radiation Protection (NCRP). Ensuite, des calculs simulant le mode rotationnel ont abouti à l'obtention de données sur l'énergie moyenne du rayonnement diffusé et sur sa

transmission au travers du béton ordinaire et du plomb. Les valeurs obtenues varient de façon importante en fonction de la position angulaire par rapport à l'axe de rotation de l'appareil.

Par ailleurs, les données disponibles jusqu'à juin 2014 (littérature scientifique ou documentation du constructeur) relatives au débit de dose autour de l'appareil correspondaient à des appareils de générations antérieures. L'IRSN a donc réalisé des mesures de débit de dose autour d'un appareil de

dernière génération installé dans un Centre de Lutte Contre le Cancer. Les mesures concernent d'une part le débit dû au rayonnement de fuite et d'autre part celui dû au rayonnement diffusé par le patient. Les résultats des mesures, fonction de la position angulaire par rapport à l'axe de rotation de l'appareil, sont en bon accord avec les données les plus récentes fournies par le constructeur (guide d'installation de juillet 2014), elles-mêmes très différentes des données relatives aux générations antérieures d'appareils.

### *Calculs réalisés dans le cadre d'un projet d'installation d'un appareil de tomothérapie*

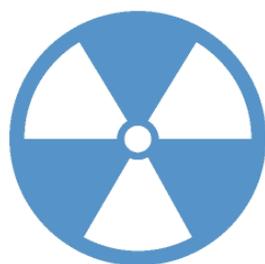
Dans le cadre d'un projet d'installation dans un centre hospitalier d'un appareil de tomothérapie de dernière génération dans un bunker utilisé jusque-là pour un appareil de cobalthérapie, l'IRSN a été sollicité par l'exploitant afin de valider le redimensionnement des protections. Une étude de radioprotection avait été réalisée en amont par le constructeur et fournie à l'exploitant à titre indicatif, se basant sur des hypothèses de calcul propres aux USA, notamment concernant les objectifs dosimétriques et les facteurs d'occupation des locaux. L'analyse de l'IRSN a consisté à proposer un zonage radiologique des locaux s'appuyant sur les pratiques d'exploitation dans des établissements similaires et sur la réglementation française en vigueur, à examiner la pertinence des protections envisagées par rapport

à ce zonage et proposer, le cas échéant, les renforts nécessaires.

Pour ses calculs, l'IRSN a utilisé les nouvelles données fournies par le constructeur pour les appareils de dernière génération, validées par l'étude par Monte Carlo évoquée ci-dessus, ainsi que les données issues de l'étude IRSN concernant l'énergie et la transmission du rayonnement diffusé.

Les résultats de l'analyse de l'IRSN ont conduit à proposer un nouveau classement des locaux, à recommander le renforcement de la protection au niveau du toit du bunker et à préciser l'épaisseur de blindage nécessaire au niveau de la porte d'entrée.

# DOMAINE NUCLEAIRE



## *SOMMAIRE*

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES	p 68
Dosimétrie corps entier	p 68
Dosimétrie des extrémités	p 72
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	p 73
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	p 74
Surveillance spéciale	p 77
Estimations dosimétriques	p 77
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	p 78
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	p 78

Le domaine nucléaire regroupe les activités industrielles civiles et les activités nucléaires militaires.

L'industrie nucléaire civile recouvre l'ensemble des étapes du cycle du combustible (principalement réalisées chez AREVA NC, agents et prestataires), l'exploitation des réacteurs de production d'électricité (EDF, agents et prestataires), les activités de transport effectuées dans ce domaine (transport de matières dangereuses de classe 7, matières radioactives), ainsi que les activités de démantèlement des installations nucléaires et de gestion des déchets.

Les activités militaires recouvrent la propulsion nucléaire, l'armement et les activités de la Direction des Applications Militaires du CEA.

## BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

### DOSIMETRIE CORPS ENTIER

Le nombre total de travailleurs suivis dans le domaine nucléaire augmente de 7% par rapport à l'année 2013. Dans le même temps, la dose collective diminue de 8%. En conséquence, la dose individuelle annuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé (i.e. pour lequel au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement a été mesurée) diminue également, de 1,27 mSv en 2013 à 1,16 mSv en 2014.

- **73 082** travailleurs suivis
- dose collective annuelle :  
**24,75** homme.Sv
- dose individuelle annuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé :  
**1,16** mSv

### Analyse suivant les activités professionnelles

Le tableau 13 présente les résultats de la surveillance dosimétrique répartis par secteur d'activité (exposition aux photons et aux neutrons).

Pour chaque secteur, les données pour les travailleurs civils et ceux de la défense ont été regroupées. Les travailleurs des activités de défense suivis par le SPRA se retrouvent ainsi dans les secteurs de la propulsion nucléaire, de l'armement, du transport et dans le secteur « Autres ». Ils représentent 5% de l'effectif total du domaine nucléaire, avec une contribution à la dose collective de 0,9%.

La part de l'effectif du domaine nucléaire pour lequel le secteur d'activité n'est pas connu reste

égale à 29%, comme en 2013. Il s'ensuit que les résultats présentés dans le tableau 13 doivent être considérés avec une certaine prudence, à l'exception des secteurs où l'activité est déjà bien caractérisée, à savoir les principales étapes du cycle du combustible nucléaire et le secteur des réacteurs de production d'énergie.

La dose individuelle annuelle maximale de ce domaine en 2014, égale à 14,35 mSv, a été enregistrée dans le secteur « autres activités du nucléaire », pour une activité non précisée. Aucun cas de dépassement de la limite réglementaire annuelle n'a été observé en 2014 dans ce domaine.

Tableau 13 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine nucléaire

Secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total <sup>(a)</sup> (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé <sup>(b)</sup> (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Propulsion nucléaire - équipage	2 529	0,17	0,07	0,19	1 601	921	7	0	0	0	0
Armement	2 587	0,25	0,10	0,34	1 845	680	62	0	0	0	0
Extraction et traitement de l'uranium	203	0,04	0,20	0,36	89	110	4	0	0	0	0
Enrichissement et conversion	1 490	0,13	0,08	0,40	1 177	291	22	0	0	0	0
Fabrication du combustible	1 663	1,78	1,07	2,72	1 010	273	231	149	0	0	0
Réacteurs de production d'énergie <sup>(c)</sup>	25 179	6,57	0,26	0,94	18 157	4 978	1 952	89	3	0	0
Retraitement	3 200	0,15	0,05	0,41	2 827	345	28	0	0	0	0
Démantèlement	2 378	0,18	0,18	0,50	2 019	309	50	0	0	0	0
Effluents, déchets	83	0,00	0,01	0,12	79	4	0	0	0	0	0
Logistique et maintenance (prestataires)	12 219	8,52	0,70	1,69	7 173	2 885	1 700	430	31	0	0
Transports	602	0,09	0,33	0,77	483	108	7	1	3	0	0
Autres	20 949	6,85	0,34	1,20	15 244	4 049	1 277	345	33	1	0
<b>Total</b>	<b>73 082</b>	<b>24,75</b>	<b>0,34</b>	<b>1,16</b>	<b>51 704</b>	<b>14 953</b>	<b>5 340</b>	<b>1 014</b>	<b>70</b>	<b>1</b>	<b>0</b>

(a) Dose individuelle moyenne sur l'effectif total = dose collective / effectif total suivi.

(b) Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé = dose collective / effectif suivi pour lequel la dose est supérieure au seuil d'enregistrement.

(c) A la différence des années précédentes, les données concernant l'exposition des personnels d'EDF aux neutrons ont pu être transmises par le laboratoire assurant leur surveillance dosimétrique. Ces données ont été confirmées par une extraction des données de SISERI.

L'analyse de la répartition des effectifs en fonction des niveaux de dose enregistrés (cf. figures 26 et 27) montre que certains secteurs comme le retraitement ou le démantèlement présentent une très forte proportion (plus de 85%) de travailleurs non exposés. La plupart des secteurs présentent une proportion de travailleurs non exposés comprise entre 70% et 80%. C'est le cas en particulier du secteur des réacteurs de production d'énergie. Les secteurs de la propulsion nucléaire, de la fabrication du combustible et des activités de prestation pour la logistique ou la maintenance se démarquent des autres avec une proportion de travailleurs exposés respectivement de 37%, 39% et 41%. Enfin, le secteur de l'extraction et du traitement de l'uranium est le seul où la part de l'effectif exposé dépasse 50%.

Concernant l'effectif ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement, deux cas sont à distinguer (cf. figure 27) :

Dans les secteurs de la propulsion nucléaire, de l'armement, de l'extraction et traitement de l'uranium, de l'enrichissement et de la conversion, du retraitement, des effluents et déchets, et des transports, les travailleurs sont

très majoritairement exposés (> 90%) à moins de 1 mSv par an et en tout état de cause, à moins de 6 mSv par an (sauf dans les transports où 3,4% des travailleurs exposés le sont avec une dose comprise entre 5 et 15 mSv, sachant que cela représente un effectif de 4 travailleurs en 2014). Les secteurs des réacteurs de production d'énergie et du démantèlement présentent également une proportion importante de travailleurs exposés à moins de 1 mSv/an, et une proportion de travailleurs ayant reçu des doses comprises entre 1 et 5 mSv, respectivement de 28% et 14%.

Pour le secteur des réacteurs de production d'énergie, la classe de dose « > 5 mSv » représente un peu plus de 1% de l'effectif exposé, alors que dans le démantèlement, aucun travailleur n'est exposé à plus de 5 mSv en 2014. Le secteur de la fabrication du combustible se distingue également des autres secteurs, par une proportion de travailleurs exposés à plus de 1 mSv majoritaire (58%). Cette situation était déjà observée en 2013. Il en résulte que la dose individuelle moyenne des travailleurs exposés de ce secteur s'élève à 2,72 mSv, soit plus de deux fois la dose individuelle moyenne de l'ensemble des travailleurs du domaine du nucléaire.

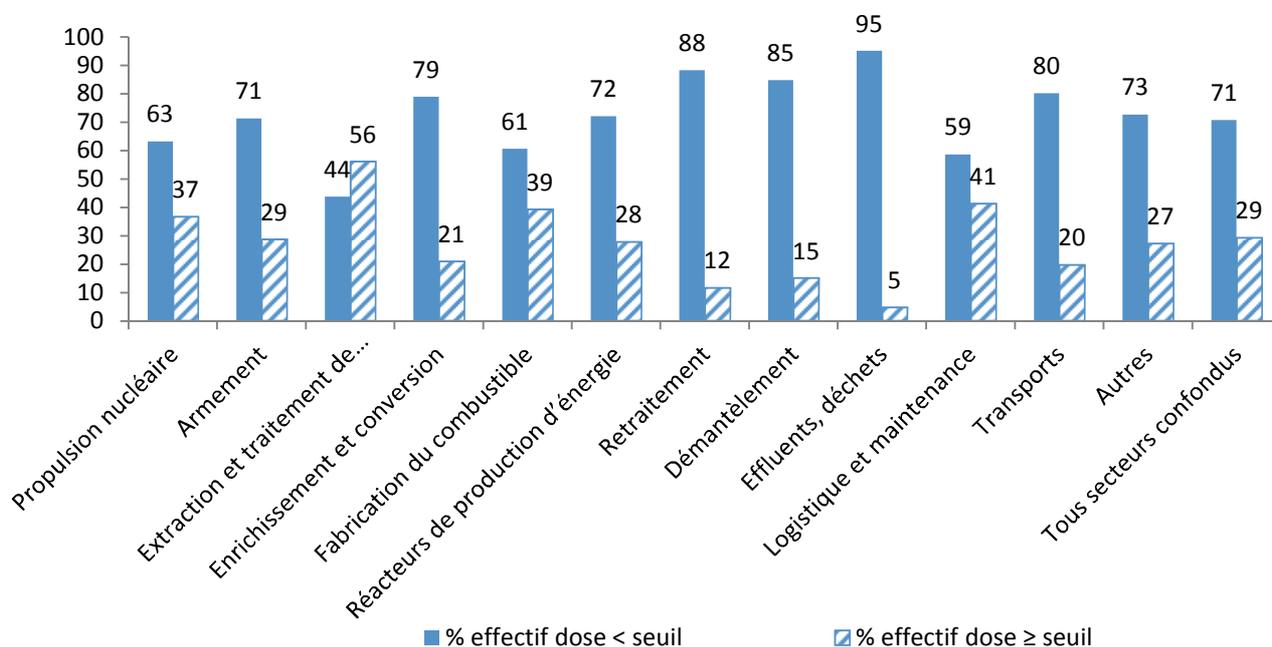


Figure 26 - Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis des principaux secteurs de l'industrie nucléaire, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose

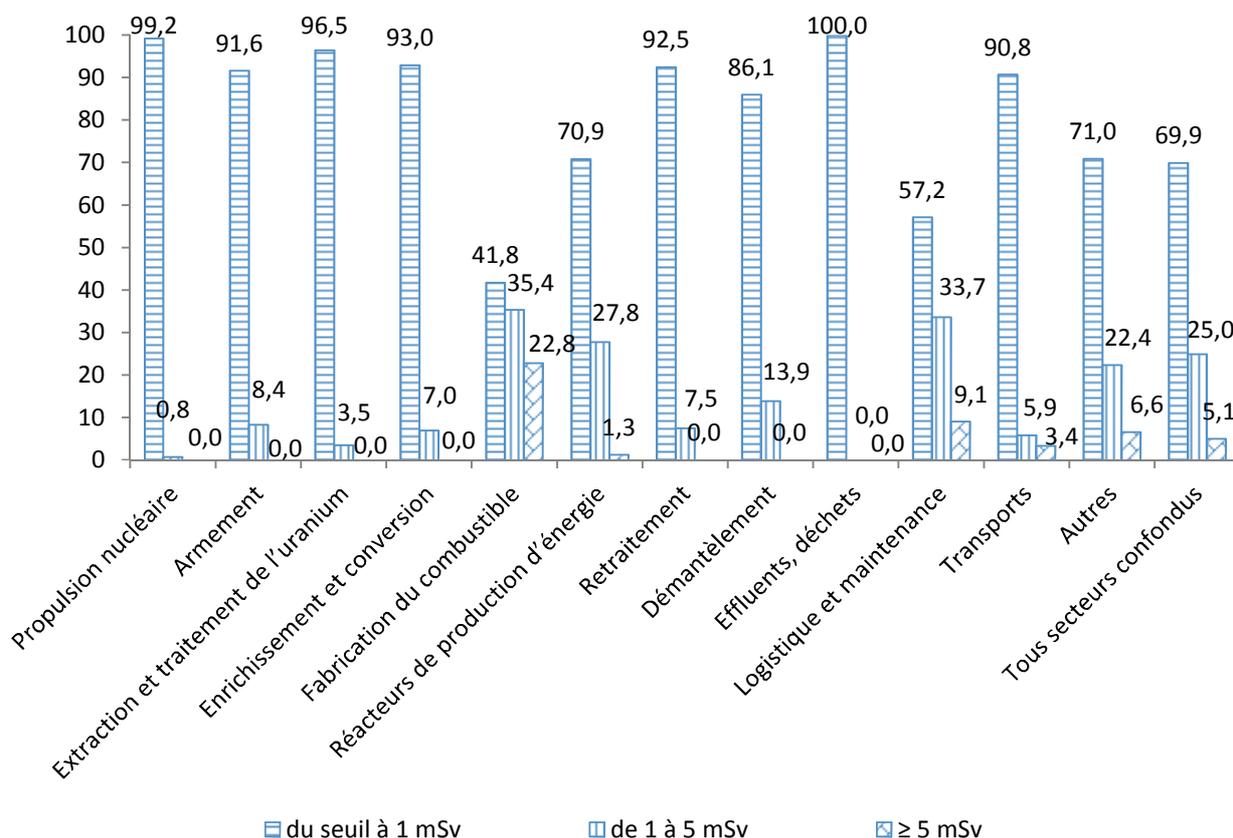


Figure 27 - Répartition de l'effectif exposé des principaux secteurs de l'industrie nucléaire, en fonction de différentes classes de dose externe corps entier

### Contribution des neutrons

34 300 travailleurs du domaine nucléaire ont eu une surveillance de l'exposition aux neutrons (soit la moitié de l'effectif de ce domaine). La dose collective correspondante s'élève à 1,78 mSv, soit 7,2% de la dose collective totale dans ce domaine. L'effectif des travailleurs de ce domaine suivis pour une exposition aux neutrons est en augmentation de 10% par rapport à 2013. Dans le même temps, la dose collective correspondante diminue de 7%.

La figure 28 présente pour l'année 2014 la répartition des effectifs et des doses collectives dues aux neutrons. 62% de cette dose collective sont enregistrés dans le secteur de la fabrication du combustible - pour la quasi-totalité au sein de l'établissement MELOX - et 32% dans le secteur de la logistique et de la maintenance. Ces chiffres sont voisins de ceux de 2013 (respectivement 58% et 34%).

### Evolution sur la période 1996-2014

La figure 29 présente l'évolution de l'effectif suivi et de la dose collective entre 1996 et 2014 dans le nucléaire. Il est possible de distinguer deux périodes : jusqu'en 2006, la dose collective diminue globalement pendant que l'effectif suivi connaît des variations plus aléatoires ; entre 2006

et 2012, l'effectif suivi augmente assez régulièrement alors qu'une relative stabilité de la dose collective est observée. La dose collective moyenne sur cette période 2006-2012 est ainsi de 24,0 homme.Sv.

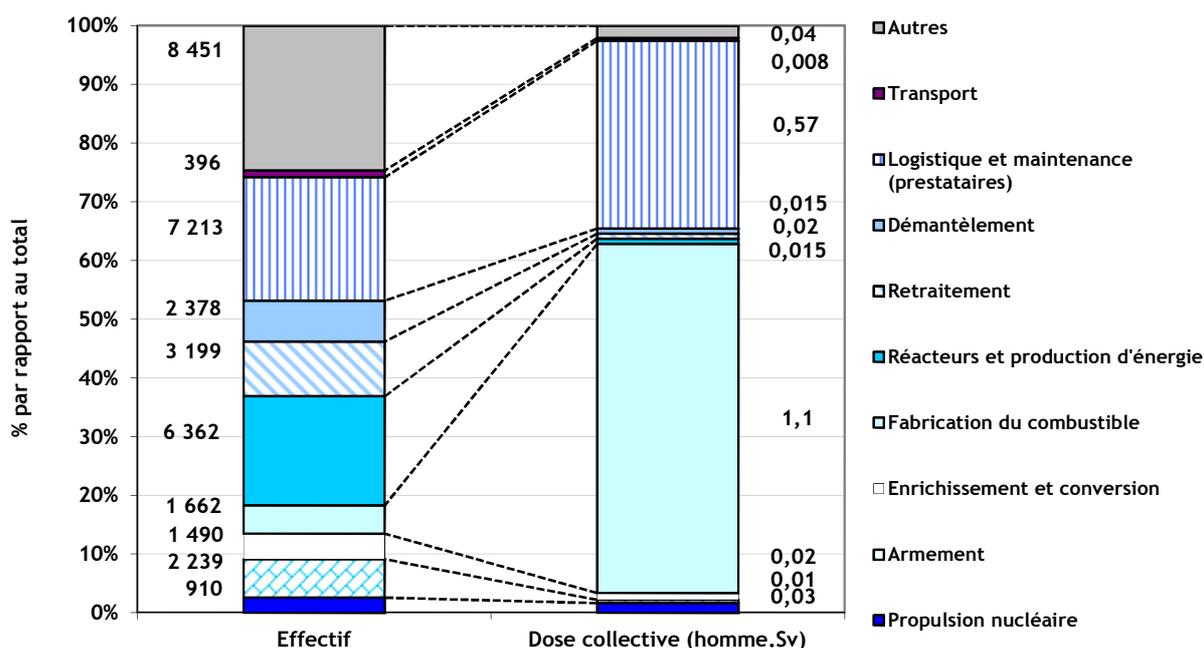


Figure 28 - Répartition des effectifs et des doses enregistrées en 2014 pour la dosimétrie neutron dans le nucléaire civil et militaire

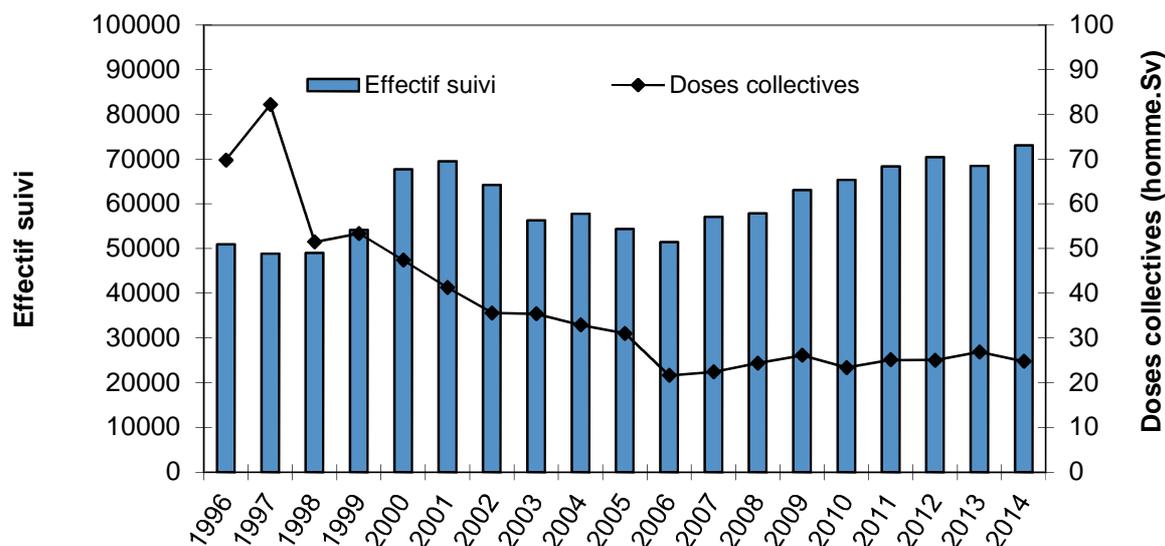


Figure 29 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le nucléaire civil et militaire (période 1996-2014)

## DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2014, 6 999 travailleurs du domaine nucléaire ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités, la dose totale enregistrée étant de 33,90 Sv et la dose individuelle moyenne de

4,8 mSv. L'exposition aux extrémités marque une légère baisse dans ce domaine par rapport à 2013 (6 844 travailleurs pour une dose totale de 38,60 Sv et une dose individuelle moyenne de 5,6 mSv).

### Dosimétrie par bague

La proportion des travailleurs portant un dosimètre bague pour leur suivi de l'exposition des extrémités semble se stabiliser en 2014, atteignant 16% de l'ensemble des travailleurs suivis aux extrémités, contre 2% en 2008, 17% en 2009, 21% en 2010, 16% en 2011, 15% en 2012 et 14% en 2013.

La dose totale enregistrée par ces porteurs est de 1,06 Sv, et la dose individuelle maximale est égale à 60 mSv.

### Dosimétrie au poignet

La dose totale enregistrée pour les 5 906 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet est de 32,8 Sv (contre 5 888 travailleurs suivis en 2013, pour une dose totale de 37,6 Sv). De même, la

dose individuelle moyenne enregistrée au poignet dans le domaine nucléaire diminue en 2014 : 5,6 mSv contre 6,4 mSv en 2013.

## BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

Le tableau 14 indique dans quel secteur d'activité les établissements intervenant dans le domaine nucléaire ont été classés par les organismes assurant la surveillance de l'exposition interne de

leurs travailleurs. Le classement qui en résulte reste macroscopique.

**Tableau 14 - Secteur d'activité de rattachement des établissements intervenant dans le domaine nucléaire (exposition interne)**

Secteur d'activité	Etablissements
Propulsion Nucléaire	AREVA TA
Armement	CEA DAM Valduc
Enrichissement et conversion	AREVA NC Pierrelatte, CEA Pierrelatte, COMURHEX Malvesi, COMURHEX Pierrelatte, EURODIF, SET GB II
Fabrication du combustible	AREVA FBFC Romans, MELOX
Réacteurs de production d'énergie	EDF
Retraitement	AREVA NC La Hague
Démantèlement des installations nucléaires	AREVA NC Cadarache, AREVA NC Marcoule, CEA Fontenay-aux-Roses, CEA Grenoble, STMI Cadarache
Effluents, déchets et matériaux récupérables	CENTRACO, STMI TRIADE Pierrelatte, SOCATRI
Logistique et maintenance (prestataires)	AREVA NP Jeumont, AREVA NC Intercontrôle, entreprises extérieures d'AREVA NC Marcoule, de MELOX, du CEA Cadarache, du CEA DAM Ile-de-France, d'AREVA FBFC Romans, SOMANU
Installations de recherche liées au nucléaire (*)	CEA Cadarache, CEA DAM Ile-de-France, CEA Marcoule, CEA Saclay
Transport (nucléaire)	TN International
Autres (nucléaire)	AREVA NC siège, AREVA NP Chalon, AREVA BG Mines, ANP Bagnol sur Cèze, ANP E&P St-Quentin

(\*) Ce secteur est comptabilisé dans le domaine de la recherche et non dans le domaine nucléaire ; la ligne est conservée dans ce tableau pour donner l'information sur les établissements concernés.

Dans le nucléaire, les risques de contamination proviennent principalement des produits de fission et d'activation, des actinides et du tritium. 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  $\alpha$  ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ , ...). Les analyses fécales sont pratiquées essentiellement pour la mesure des actinides.

## SURVEILLANCE DE ROUTINE, DE CHANTIER ET DE CONTROLE

D'après les données collectées pour établir le bilan 2014, il apparaît que ce sont les examens anthroporadiométriques qui sont majoritairement réalisés dans le domaine nucléaire puisqu'ils représentent 54,5% des 282 817 examens réalisés en surveillance de routine dans ce domaine. Viennent ensuite les analyses radiotoxicologiques de prélèvements nasaux (34%), urinaires (8%) et de selles (3,5%). Les analyses sur le mucus nasal sont généralement réalisées pour vérifier la non-contamination en sortie de zone et elles sont

complétées par d'autres examens en cas de détection d'une contamination.

Le tableau 15 présente les résultats de la surveillance faite par analyses radiotoxicologiques urinaires, en 2014. Les deux secteurs effectuant majoritairement ces analyses sont celui du retraitement et celui de l'armement, avec respectivement 35% et 29%. Le pourcentage d'analyses radiotoxicologiques urinaires qui sont positives est de 4,2% (contre 3,7% en 2013).

Tableau 15 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine nucléaire

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs <sup>(*)</sup>
Propulsion nucléaire	349	1 099	0
Armement	nc	6 810	781
Enrichissement et conversion	2 231	1 728	5
Fabrication du combustible	813	32	9
Réacteurs de production d'énergie	130	346	118
Retraitement	4 919	8 199	19
Démantèlement des installations nucléaires	1 579	3 460	43
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	870	1 811	21
Autres activités (nucléaire)	13	30	0
<b>Total</b>	<b>nd</b>	<b>23 515</b>	<b>996</b>

(\*) Les examens considérés positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite d'interprétation opérationnelle définie au préalable avec le prescripteur, ou, à défaut, à la limite de détection (LD).

nc : non communiqué, nd : non déterminé

Le tableau 16 présente le nombre d'analyses radiotoxicologiques des selles pour les différents secteurs. En 2014, le secteur des réacteurs de production d'énergie est celui pour lequel le nombre d'examen est le plus élevé (29% des analyses de selles réalisées dans ce domaine), suivi des secteurs du démantèlement et de la logistique

et maintenance du nucléaire (22% des analyses de selles) et du secteur du retraitement (12% des analyses de selles).

Tous secteurs confondus, le pourcentage d'analyses radiotoxicologiques fécales qui sont positives est de 2,2% (contre 3,7% en 2013).

**Tableau 16 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de selles dans le domaine nucléaire**

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs <sup>(*)</sup>
Propulsion nucléaire	12	24	0
Armement	nc	898	6
Enrichissement et conversion	1 700	133	0
Fabrication du combustible	565	505	6
Réacteurs de production d'énergie	252	2 875	145
Retraitement	727	1 212	8
Démantèlement des installations nucléaires	1 508	2 166	35
Effluents, déchets et matériaux récupérables	nc	4	0
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	1 658	2 145	23
<b>Total</b>	<b>nd</b>	<b>9 962</b>	<b>223</b>

(\*) Les examens considérés positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite d'interprétation opérationnelle définie au préalable avec le prescripteur, ou, à défaut, à la limite de détection (LD).

nc : non communiqué, nd : non déterminé

Le tableau 17 présente le bilan des analyses radiotoxicologiques de prélèvements nasaux réalisées en 2014. Le nombre important d'analyses s'explique par le fait qu'il s'agit d'une surveillance faite à chaque sortie de locaux classés en zone contrôlée. Les nombres d'examens indiqués sous-estiment la réalité puisque pour plus de 3 000 travailleurs suivis, ceux du secteur de la logistique et de la maintenance du nucléaire, le nombre d'examens réalisés n'a pas été communiqué à l'IRSN.

Le tableau 18 présente la répartition des examens anthroporadiométriques réalisés en 2014. Pour 82% d'entre eux, ces examens sont réalisés par EDF sur les sites des centrales nucléaires, pour les travailleurs d'EDF ainsi que pour les prestataires. Une baisse du nombre d'examens de 27% est enregistrée dans ce secteur entre 2013 et 2014. Cette baisse a deux origines d'ordre méthodologique :

- jusqu'en 2013, tous les examens étaient comptabilisés alors que dans le cas d'une contamination interne il peut être

nécessaire de faire plusieurs examens avant de pouvoir conclure à un résultat significatif. Pour le bilan 2014, un seul examen par événement a été comptabilisé (ainsi que les éventuels examens de suivi en cas de contamination avérée) ;

- du fait de l'installation de nouveaux portiques de détection plus sensibles, une nouvelle procédure a été mise en place en 2014 dans un certain nombre de CNPE (Centres Nucléaires de Production d'Electricité), qui supprime les examens

anthroporadiométriques systématiques d'entrée de site. Cette procédure sera étendue aux autres CNPE courant 2015 et il faut donc s'attendre à une nouvelle baisse du nombre de ces examens dans ce secteur.

Le retraitement est le deuxième secteur en nombre d'examen réalisés (7,8% des examens anthroporadiométriques du domaine nucléaire). Ces pourcentages sont comparables à ceux de 2013.

**Tableau 17 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de prélèvements nasaux dans le domaine nucléaire**

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs <sup>(*)</sup>
Propulsion nucléaire	586	nd	nd
Armement	nc	48 204	1
Réacteurs de production d'énergie	820	21 736	863
Démantèlement des installations nucléaires	1 396	25 139	7
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	3 066	nd	nd
<b>Total</b>	<b>nd</b>	<b>95 079</b>	<b>871</b>

(\*) Les examens considérés positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite d'interprétation opérationnelle définie au préalable avec le prescripteur, ou, à défaut, à la limite de détection (LD).

nc : non communiqué, nd : non déterminé

**Tableau 18 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques dans le domaine nucléaire**

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs <sup>(*)</sup>
Propulsion nucléaire	3 623	3 881	0
Armement	85	1 483	0
Fabrication du combustible	131	121	0
Réacteurs de production d'énergie (**)	49 388	126 618	110
Retraitement	7 778	11 967	12
Démantèlement des installations nucléaires	2 263	2 394	0
Effluents, déchets et matériaux récupérables	166	171	0
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	4 723	5 356	11
Transport (nucléaire)	63	37	0
Autres activités (nucléaire)	1 089	2 233	0
<b>Total</b>	<b>69 309</b>	<b>154 261</b>	<b>133</b>

(\*) Les examens considérés positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite d'interprétation opérationnelle définie au préalable avec le prescripteur, ou, à défaut, à la limite de détection (LD).

(\*\*) Cette ligne inclut, sans moyen de les distinguer, les prestataires intervenant dans les centrales nucléaires d'EDF, qui ne peuvent donc pas être comptabilisés dans le secteur « Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires) ».

nc : non communiqué, nd : non déterminé

## SURVEILLANCE SPECIALE

Les examens réalisés dans le cadre d'une surveillance spéciale (tableau 19) se répartissent majoritairement entre les travailleurs des centra-

les nucléaires d'EDF (63% des examens), ceux du secteur du retraitement (14% des examens) et ceux du démantèlement (11%).

## ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

Dans le domaine nucléaire, 543 travailleurs ont fait l'objet d'un calcul de dose interne en 2014. Les trois secteurs d'activité les plus concernés sont la fabrication du combustible (375 travailleurs), le secteur de la logistique et de la maintenance (81 travailleurs) et les réacteurs de production d'énergie (44 travailleurs).

Pour 2 travailleurs, la dose efficace engagée estimée dépasse 1 mSv, avec une valeur maximale de 11,1 mSv enregistrée pour 1 travailleur du secteur du démantèlement.

**Tableau 19 - Examens réalisés à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale) dans le domaine nucléaire**

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs <sup>(*)</sup>
Propulsion nucléaire	42	90	6
Armement	121	180	12
Enrichissement et conversion	181	265	3
Fabrication du combustible	54	148	75
Réacteurs de production d'énergie (**)	1 797	2 104	512
Retraitement	91	921	126
Démantèlement des installations nucléaires	101	413	56
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	85	202	34
<b>Total</b>	<b>2 472</b>	<b>4 323</b>	<b>824</b>

(\*) Les examens considérés positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite d'interprétation opérationnelle définie au préalable avec le prescripteur, ou, à défaut, à la limite de détection (LD).

(\*\*) Cette ligne inclut, sans moyen de les distinguer, les prestataires intervenant dans les centrales nucléaires d'EDF, qui ne peuvent donc pas être comptabilisés dans le secteur « Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires) »

## DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Aucun dépassement des limites annuelles de dose n'a été enregistré en 2014 dans ce domaine, que ce soit la limite de 20 mSv en dose efficace ou la

limite de 500 mSv en dose équivalente à la peau ou aux extrémités.

## SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

En 2014, 156 événements de radioprotection (ERP) recensés ont impliqué des personnes travaillant dans le nucléaire (tableau 20), en majorité (71%) dans les réacteurs de production d'énergie, secteur reconnu pour sa culture déclarative développée.

L'un d'entre eux n'a pas fait l'objet d'une déclaration connue de l'IRSN. Il s'agit d'une alerte de dépassement de limite réglementaire de dose. Parmi les événements déclarés, 4 ont été classés

au niveau 1 de l'échelle INES (dont celui faisant l'objet d'un focus page 82).

La répartition des ERP concernant les INB de l'industrie nucléaire, déclarés selon les critères de déclaration ASN (tableau 21), montre que 29% d'entre eux relèvent du critère « zonage » et que 46% n'ont pas été véritablement déclarés selon un critère précis, mais au titre du critère 10.

**Tableau 20 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine nucléaire**

Secteurs d'activité	Nombre d'événements recensés
Armement	2
Enrichissement et conversion	7
Fabrication du combustible	3
Réacteurs de production d'énergie	110
Retraitement	10
Démantèlement des installations nucléaires	11
Effluents, déchets et matériaux récupérables	7
Logistique et maintenance du nucléaire (Prestataires)	2
Autres (domaine nucléaire)	4
<b>Total</b>	<b>156</b>

**Tableau 21 - Répartition des événements recensés dans le domaine nucléaire en fonction des critères de déclaration ASN**

Critères de déclaration radioprotection INB	Nombre d'événements recensés
2 - Dépassement du quart d'une limite annuelle de dose individuelle	4
3 - Propreté radiologique	17
4 - Analyse de radioprotection formalisée	2
6 - Source	5
7 - Zonage	45
9 - Contrôle périodique d'appareil de surveillance radiologique	3
10 - Tout autre écart significatif pour l'ASN ou l'exploitant	79
<b>Total</b>	<b>155</b>

## FOCUS

## Incident survenu en fond de piscine d'un CNPE

L'année 2014 a été marquée par un incident survenu lors d'une opération réalisée en fond de piscine dans un CNPE d'EDF qui a conduit à l'exposition de 2 intervenants respectivement à des doses efficaces de 5,3 mSv et 3,1 mSv pour cette seule opération. Cet événement a été classé au niveau 1 de l'échelle INES.

L'opération impliquait la présence de deux opérateurs en fond de piscine supervisés par un troisième opérateur.

L'analyse des circonstances de cet incident révèle que plusieurs barrières de protection ont été défaillantes. En premier lieu, les parades définies lors de l'analyse des risques (analyse générique pour ce type d'intervention), validée 6 mois auparavant en comité ALARA, n'ont pas été appliquées par les intervenants, ni actualisées en fonction du contexte radiologique. En effet, alors que les nouvelles cartographies (mesures de débits de dose), réalisées préalablement à l'intervention, révèlent des niveaux d'exposition supérieurs à ceux prévus initialement, l'intervention ne fait pas l'objet d'une réévaluation de l'analyse de risque. De plus, les intervenants n'entendent pas les alarmes de leurs dosimètres se déclencher du fait de l'environnement sonore ambiant. Le défaut de perception des alarmes des dosimètres opérationnels est une problématique connue par EDF et l'une des parades préconisées est l'utilisation de la télédosimétrie. Cependant, le dispositif de télédosimétrie était inopérant ce jour-là (batterie déchargée et batterie de secours non disponible au magasin) ; les opérateurs s'équipent néanmoins de phonies (types talkie-walkie) récupérées au magasin, mais, compte tenu d'un approvisionnement insuffisant (seulement deux phonies disponibles) le superviseur ne peut pas en disposer. Malgré l'état dégradé de ces différentes barrières de protection, ils décident tout de même d'engager l'intervention. Une difficulté technique non prévue les oblige à allonger la durée d'intervention : le surveillant de sécurité, ne disposant pas de phonie n'a donc pas pu les alerter suffisamment rapidement de la durée anormalement longue de leur intervention.

# DOMAINE INDUSTRIEL NON NUCLEAIRE



## *SOMMAIRE*

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES	p 82
Dosimétrie corps entier	p 82
Dosimétrie des extrémités	p 84
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	p 85
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	p 85
Surveillance spéciale	p 86
Estimations dosimétriques	p 87
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	p 87
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	p 87
ZOOM SUR LA GAMMAGRAPHIE	p 88

L'industrie non nucléaire regroupe toutes les activités industrielles hors nucléaire mettant en jeu des sources de rayonnements ionisants : contrôles non destructifs (gammagraphie), étalonnage, irradiation industrielle, fabrication de produits radiopharmaceutiques et autres activités utilisant des sources radioactives telles que les humidimètres et les gamma-densitomètres, les jauges d'épaisseur ou de niveau, les ioniseurs, etc.

## BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

### DOSIMETRIE CORPS ENTIER

En 2014, le nombre total de travailleurs suivis dans le domaine de l'industrie non nucléaire est stable par rapport à 2013. La dose collective est, dans le même temps en baisse de 11%. La diminution de la dose collective se répercute sur la dose individuelle annuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé (i.e. pour lequel au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement a été enregistrée) qui diminue de 10% par rapport à 2013.

- **33 631** travailleurs suivis
- dose collective annuelle :  
**14,71** homme.Sv
- dose individuelle annuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé :  
**1,45** mSv

### Analyse suivant les activités professionnelles

Le tableau 22 présente les résultats de la surveillance dosimétrique répartis par secteur d'activité (exposition aux photons et aux neutrons).

L'industrie non nucléaire est le domaine où l'activité professionnelle des travailleurs suivis est la moins bien répertoriée : 84% des travailleurs n'ont pas pu être classés suivant la nomenclature des activités (catégorie « Autres »), effectif qui enregistre 87% de la dose collective de ce domaine. Rappelons qu'il est probable qu'une fraction non négligeable de l'effectif attribué à l'industrie non nucléaire soit en réalité des travailleurs d'entreprises classées dans ce domaine mais qui interviennent en sous-traitance des exploitants nucléaires. Pour ces raisons, les résultats en termes d'effectifs et de doses détaillés par secteur d'activité (tableau 22) sont à considérer avec une certaine prudence.

Pour chaque secteur, les données pour les travailleurs civils et ceux de la défense ont été regroupées. Les travailleurs des activités de défense suivis par le SPRA se retrouvent ainsi dans les secteurs du contrôle utilisant des gammagraphes et des générateurs X, dans le secteur des opérations de logistique et de maintenance par des prestataires et dans le secteur « Autres ». Ils représentent 2,8% de l'effectif total du domaine nucléaire, avec une contribution à la dose collective de 0,2%.

La dose individuelle annuelle maximale enregistrée en 2014 est de 24,7 mSv et constitue le seul cas de dépassement de la limite réglementaire annuelle dans ce domaine.

L'analyse de la répartition des effectifs en fonction des niveaux d'exposition montre que, tous secteurs confondus, 70% des travailleurs sont non exposés. Le nombre important de travailleurs pour lesquels le secteur d'activité n'est pas précisément connu

représente 84% de l'effectif de l'industrie non nucléaire. Par conséquent une analyse plus poussée de la répartition des effectifs par classe

de dose dans chaque secteur n'est pas pertinente à partir des données disponibles actuellement.

Tableau 22 - Surveillance de l'exposition externe dans l'industrie non nucléaire

Secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total <sup>(a)</sup> (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé <sup>(b)</sup> (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Contrôles utilisant des sources de rayonnements	3 117	1,76	0,57	1,67	2 061	624	330	89	12	0	1
Contrôles : utilisation de gamma-graphes et générateurs X	1 206	0,04	0,03	0,17	967	234	5	0	0	0	0
Soudage par faisceau d'électron	189	0,01	0,04	0,38	169	18	2	0	0	0	0
Production et conditionnement de radio-isotopes	609	0,11	0,18	0,85	479	103	22	5	0	0	0
Logistique et maintenance (prestataires)	209	0,01	0,05	0,29	174	33	2	0	0	0	0
Autres	28 301	12,78	0,45	1,47	19 607	5 553	2 386	698	55	2	0
<b>Total</b>	<b>33 631</b>	<b>14,71</b>	<b>0,44</b>	<b>1,45</b>	<b>23 457</b>	<b>6 565</b>	<b>2 747</b>	<b>792</b>	<b>67</b>	<b>2</b>	<b>1</b>

(a) Dose individuelle moyenne sur l'effectif total = dose collective / effectif total suivi.

(b) Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé = dose collective / effectif suivi pour lequel la dose est supérieure au seuil d'enregistrement.

### Contribution des neutrons

La surveillance de l'exposition aux neutrons a concerné 8 914 travailleurs de l'industrie non nucléaire en 2014 (contre 8 713 en 2013), soit 27% de l'effectif de ce domaine. Là encore, la très grande majorité de ces travailleurs (91%) ne sont pas classés suivant leur secteur d'activité ; 8% de l'effectif suivi appartient au secteur des contrôles utilisant des sources de rayonnement. L'importance de l'effectif suivi pour l'exposition aux neutrons est un indice supplémentaire en

faveur d'une erreur de classification de ces travailleurs par rapport au domaine nucléaire.

La dose collective associée à cet effectif est de 48,6 homme.mSv, ce qui correspond à une contribution à la dose collective totale du domaine de 0,3%. Cette dose collective associée à l'exposition aux neutrons est en baisse 26% par rapport à 2013. La dose individuelle maximale de 2,6 mSv.

### Evolution sur la période 1996-2014

La figure 30 présente l'évolution de l'effectif suivi et des doses collectives dans l'industrie non nucléaire entre 1996 et 2014.

Les effectifs plus importants observés entre 2004 et 2008 s'expliquent par le fait que les travailleurs dont l'activité n'était pas connue étaient par défaut inclus dans les effectifs de l'industrie non nucléaire. Depuis l'introduction de la nouvelle nomenclature en 2009, ce n'est plus le cas. Même

si cette nouvelle classification ne permet pas encore de détailler précisément les résultats par secteur d'activité dans ce domaine, les statistiques obtenues grâce à sa mise en place montrent que l'effectif de l'industrie non nucléaire et la dose collective associée ne connaissent pas de variation significative depuis 2009. La tendance à la baisse des doses reçues enregistrée en 2013 pour ce domaine semble toutefois se confirmer en 2014.

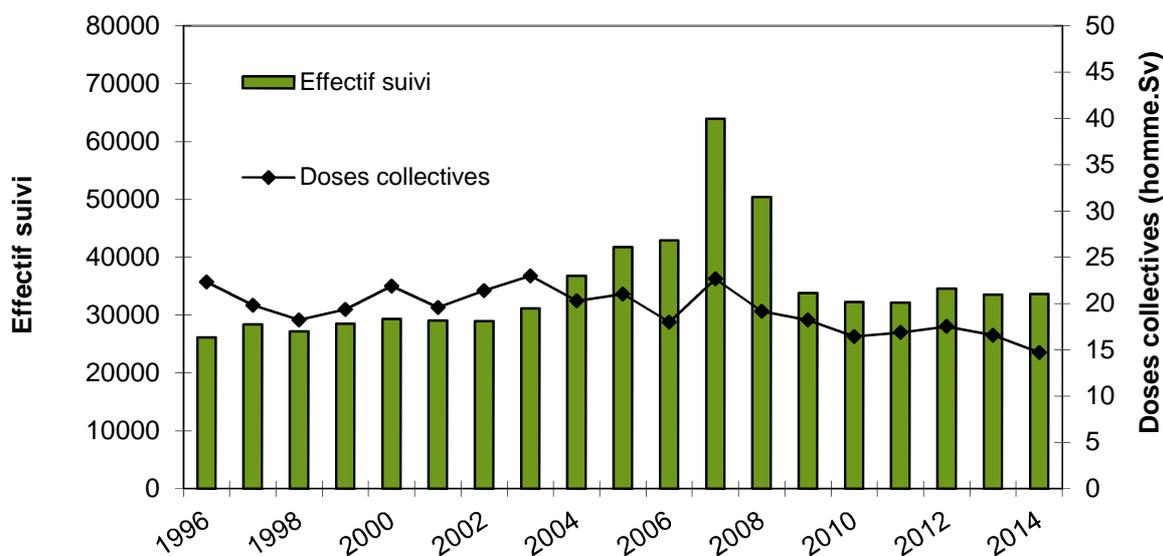


Figure 30 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans l'industrie non nucléaire (période 1996-2014)

## DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2014, 2 687 travailleurs de l'industrie non nucléaire ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités, la dose totale enregistrée étant de 4,50 Sv et la dose individuelle moyenne de 1,6 mSv. Cette dernière était de 1,5 mSv en 2013 pour 2 628 travailleurs suivis. Il apparaît que 64%

des travailleurs de ce domaine sont non exposés, les 36% restants ayant été exposés à moins de 84 mSv, dose individuelle maximale enregistrée dans ce domaine.

### Dosimétrie par bague

Comme en 2013, 55% des effectifs de l'industrie non nucléaire ayant un suivi dosimétrique des extrémités portaient un dosimètre bague en 2014. La dose totale enregistrée pour les 1 480 travailleurs bénéficiant d'une dosimétrie par bague atteint 3,91 Sv, dose reçue à 94% par des travailleurs dont le secteur d'activité n'est pas

connu. Sur l'effectif total suivi aux extrémités par une bague, 63% des travailleurs n'ont pas été exposés ; les 37% restants ont reçu une dose inférieure à 84 mSv, dose individuelle maximale enregistrée dans ce domaine.

### Dosimétrie au poignet

La dose totale enregistrée pour les 1 207 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet atteint 0,59 Sv. L'activité de 74% des travailleurs est inconnue (cumulant 82% de la dose totale). Par rapport à l'effectif total suivi par un dosimètre poignet, les deux tiers des travailleurs ne sont pas

exposés ou ont reçu une dose aux extrémités inférieure au seuil d'enregistrement et les autres ont reçu une dose inférieure ou égale à 65 mSv, dose individuelle maximale enregistrée dans ce domaine.

## BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

### SURVEILLANCE DE ROUTINE, DE CHANTIER ET DE CONTROLE

L'industrie non nucléaire est le domaine où sont pratiqués le moins d'examens de surveillance de l'exposition interne. Ceci s'explique par le peu d'activités industrielles mettant en jeu des sources non scellées. Le nombre d'examens réalisés dans le cadre d'une surveillance de routine est de 1 277 en 2014 (vs 956 en 2013). L'augmentation observée concerne principalement les examens anthroporadiométriques, dont la part augmente de 7% à 42% entre 2013 et 2014. Les 58% restants sont des analyses radiotoxicologiques des urines.

Le tableau 23 détaille la répartition des analyses radiotoxicologiques urinaires par secteur. En 2014, le principal utilisateur de ces analyses est le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes avec un nombre d'analyses stable entre 2013 et 2014. L'utilisation des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le secteur des contrôles pour la sécurité des personnes et des biens et le secteur des opérations de logistique et de maintenance par des prestataires reste, quant à

elle, du même ordre de grandeur qu'en 2013 avec respectivement 51 et 38 analyses.

Environ 1% de l'ensemble des analyses réalisées se sont révélées positives.

Le nombre d'examens anthroporadiométriques dans le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes est du même ordre qu'en 2013 (52 examens en 2014 vs. 59 en 2013). En revanche un nombre important d'examens est enregistré pour des travailleurs du domaine industriel dont l'activité n'est pas connue plus précisément. Sachant que des erreurs de classement des travailleurs par domaine d'activité, il est possible qu'un certain nombre de ces examens soient en réalité réalisés pour des travailleurs d'autres domaines, notamment du domaine du nucléaire, sans qu'il soit possible d'en déterminer le nombre exact en l'état actuel des méthodes utilisées pour ce recensement.

**Tableau 23 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans l'industrie non nucléaire**

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs <sup>(*)</sup>
Production et conditionnement de radio-isotopes	34	562	0
Contrôles pour la sécurité des personnes et des biens	30	51	0
Logistique et maintenance dans l'industrie non nucléaire (prestataires)	34	38	17
Autres activités (industrie non nucléaire)	36	84	1
<b>Total</b>	<b>134</b>	<b>735</b>	<b>18</b>

(\*) Les examens considérés positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite d'interprétation opérationnelle définie au préalable avec le prescripteur, ou, à défaut, à la limite de détection (LD).

## SURVEILLANCE SPECIALE

En 2014, 46 examens ont été réalisés dans le cadre d'une surveillance spéciale (contre 30 en 2013). Pour les secteurs de l'industrie non nucléaire dont l'activité est identifiée, cette surveillance a

concerné le secteur des contrôles pour la sécurité des biens et des personnes et celui de la logistique et de la maintenance. 22% des examens réalisés se sont révélés positifs (tableau 24).

**Tableau 24 - Examens réalisés à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale) dans l'industrie non nucléaire**

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs <sup>(*)</sup>
Contrôles pour la sécurité des personnes et des biens	1	1	1
Logistique et maintenance dans l'industrie non nucléaire (prestataires)	3	3	0
Autres activités (industrie non nucléaire)	13	42	9
<b>Total</b>	<b>17</b>	<b>46</b>	<b>10</b>

(\*) Les examens considérés positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite d'interprétation opérationnelle définie au préalable avec le prescripteur, ou, à défaut, à la limite de détection (LD).

## ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

Un seul travailleur de l'industrie non nucléaire a été concerné par un calcul de la dose interne en 2014. La dose engagée calculée pour ce travailleur d'une entreprise de recyclage d'anciens détecteurs

de fumée contenant de l'américium 241 est égale à 13,3 mSv et constitue la dose engagée la plus importante estimée en 2014.

## DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Un cas de dépassement de la limite de dose efficace de 20 mSv a été recensé en 2014 pour un travailleur du secteur du contrôle par des sources de rayonnements ionisants. La dose enregistrée est de 24,7 mSv.

Aucun dépassement de la limite de 500 mSv aux extrémités ou à la peau n'a été enregistré en 2014 dans ce domaine.

## SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Au cours de l'année 2014, 36 événements de radioprotection (ERP) ayant impliqué des personnes travaillant dans l'industrie non nucléaire ont été recensés par l'IRSN (tableau 25). La majorité d'entre eux se sont produits dans le secteur des contrôles industriels utilisant des sources de rayonnements.

Parmi ces 36 événements, l'IRSN a eu connaissance de 26 déclarations (au titre de la radioprotection selon le guide ASN n°11 concernant les critères de déclaration des événements hors INB et hors transport).

Trois événements ont été classés au niveau 1 de l'échelle INES, et 2 événements au niveau 2 :

- 4 événements ont eu lieu lors de chantiers de contrôle radiographique au moyen d'appareils de gammagraphie ;
- 1 événement concerne des défaillances d'enceintes blindées utilisées pour la production de fluor 18 remettant en cause le confinement de la matière radioactive (cf. Focus page suivante).

*Tableau 25 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans l'industrie non nucléaire*

Secteurs d'activité	Nombre d'événements recensés
Contrôles utilisant des sources de rayonnements	20
Production et conditionnement de radio-isotopes	14
Contrôles pour la sécurité des biens et des personnes	1
Autres usages industriels et de services hors transport	1
<b>Total</b>	<b>36</b>

**FOCUS****Fuite du conduit de rejet d'un cyclotron de production de radio-pharmaceutiques**

Un site de production de produits radio-pharmaceutiques utilisés en TEP (fluor 18 essentiellement) a déclaré un événement significatif lié à des rejets gazeux supérieurs aux tendances quotidiennes sans qu'une limite fixée dans l'autorisation d'exploitation ne soit dépassée. Ces rejets font suite à un échec de synthèse de fluorométhylcholine (FCH) sur sa ligne de production. Ce même jour, les personnes compétentes en radioprotection du Centre de Lutte Contre le Cancer (CLCC) ont détecté de manière fortuite des débits d'équivalent de dose anormaux dans leurs locaux (vestiaires, locaux techniques), voisins du site de production de FCH. Les investigations ont rapidement montré l'existence de fuites importantes sur la canalisation de rejet de la société de production de FDG dans ses propres locaux et dans ceux du CLCC qu'elle traverse. Une évaluation de l'impact dosimétrique des fuites de la canalisation de rejet sur le personnel des deux entités a été réalisée par l'IRSN. Les doses estimées sont faibles (< 1 mSv) mais néanmoins notables pour du personnel en principe non exposé (secrétariat).

**ZOOM SUR LA GAMMAGRAPHIE**

L'année 2014 a été marquée par plusieurs incidents de radioprotection lors d'activités de gammagraphie (secteur de la radiographie industrielle). Au-delà de cette actualité, la gammagraphie est identifiée comme une activité à enjeux en termes de radioprotection. En effet, l'activité élevée des sources utilisées (jusqu'à plusieurs terabecquerels) et les conditions d'utilisation de ces sources, notamment sur des chantiers, font que la manipulation des appareils de gammagraphie n'est pas sans risque d'exposition importante des travailleurs. Les opérateurs sont d'ailleurs soumis à l'obtention du CAMARI (Certificat d'Aptitude à la Manipulation des Appareils de Radiologie Industrielle), examen dont l'organisation des épreuves est confiée à l'IRSN depuis 2008. Face à ces enjeux, une étude spécifique est apparue nécessaire pour obtenir des

données plus précises que celles collectées au moyen de la méthodologie d'établissement du bilan national, notamment du fait de la forte part des travailleurs du domaine de l'industrie non nucléaire dont le secteur d'activité n'est pas précisément connu (84% en 2014).

Le présent chapitre propose dans un premier temps, de dresser à partir des résultats établis pour l'année 2014, un panorama des expositions professionnelles dans le secteur de la radiographie industrielle en soulignant la particularité de la gammagraphie. Il revient dans un second temps sur les incidents intervenus en cours d'année, dans une mise en perspective qui permet de dresser une typologie des événements spécifiques à l'activité de gammagraphie.

***L'exposition des travailleurs en radiographie industrielle***

Un premier bilan a pu être établi d'après des données extraites de SISERI pour les travailleurs des entreprises du secteur du contrôle non destructif utilisant des sources de rayonnements (radiographie industrielle) pour lesquels un suivi dosimétrique (dosimétrie externe passive) a été réalisé en 2014.

Un second bilan a été établi, toujours d'après les données extraites de SISERI, mais cette fois en ne considérant que les travailleurs titulaires d'un CAMARI valide en 2014.

### Exposition dans les entreprises du secteur du contrôle non destructif utilisant des sources de rayonnements

L'analyse des données extraites de SISERI fait état d'un effectif total de 5 728 travailleurs pour lequel la dose collective est de 4,06 homme.Sv en 2014. On note que ces chiffres sont supérieurs à ceux issus des données transmises directement par les laboratoires via le questionnaire annuel : 1,80 homme.Sv pour 4 323 travailleurs (tableau 22). Il est très probable qu'une partie de l'effectif n'ait pas une activité précisément identifiée au niveau du laboratoire de dosimétrie et que les travailleurs de ce secteur se trouvent classés dans le secteur « Autres » de ce domaine.

Les résultats ont pu être détaillés suivant le type de sources pour lesquelles les entreprises détiennent une autorisation (information SIGIS) : source de rayons X et/ou appareils de gammagraphie, cette étude n'incluant pas de

données concernant l'utilisation d'accélérateurs (figure 31) :

- tous types d'utilisations des sources confondus (RX, GAM et RX+GAM), l'effectif total suivi est de 5 728 travailleurs. L'effectif ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement (effectif exposé) représente 39% de l'effectif total et a reçu en moyenne en 2014 une dose individuelle de 1,83 mSv;
  - pour les entreprises n'utilisant que des sources émettant des rayons X (RX), l'effectif total suivi est de 1 050 travailleurs. L'effectif exposé ne représente plus que 14% de l'effectif total et a reçu en moyenne dose individuelle de 0,82 mSv;
  - pour les entreprises utilisant uniquement des appareils de gammagraphie (GAM), l'effectif total est de 933 travailleurs. L'effectif exposé représente 50% de l'effectif total et a reçu en moyenne dose individuelle de 2,10 mSv.
- Il apparaît donc que l'activité de gammagraphie est à l'origine de la plus grande part de l'exposition des travailleurs de ce secteur.

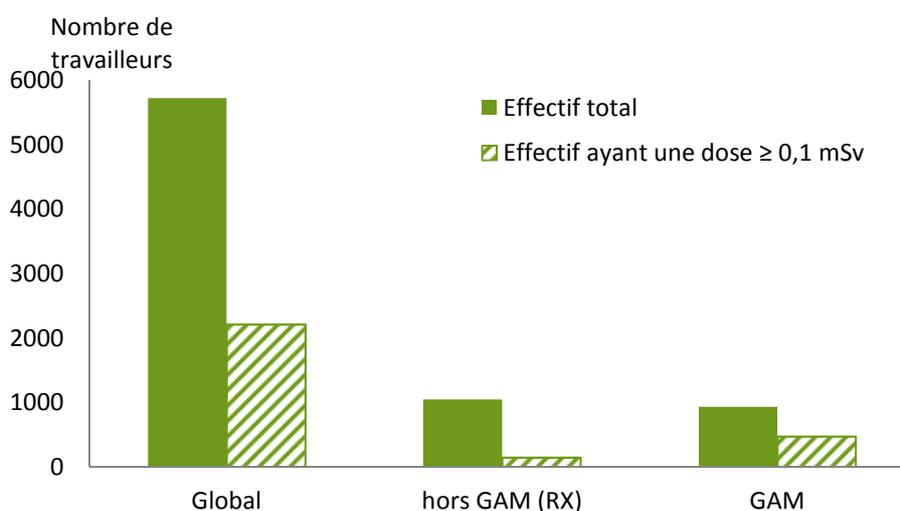


Figure 31 - Proportion de travailleurs ayant une dose supérieure au seuil d'enregistrement dans les entreprises du secteur du contrôle non destructif, en fonction du type de source utilisé

### Exposition les travailleurs titulaires du CAMARI

Un effectif total de 1 771 travailleurs a été identifié. La dose collective est de 2,11 homme.Sv en 2014. Ce chiffre est inférieur à celui obtenu dans le premier bilan (5 728 travailleurs) qui

considérait l'ensemble des travailleurs d'une entreprise du secteur, sans distinguer précisément leur métier. Ce second bilan s'intéresse uniquement aux travailleurs habilités à manipuler les sources.

Les résultats ont pu être détaillés suivant l'option du CAMARI obtenu par le titulaire (figure 32) : utilisation d'appareils à rayons X (RX), utilisation

d'appareils de gammagraphie (GAM), utilisation d'accélérateurs de particules (ACC).

- tous types d'utilisations des sources confondues (RX, GAM et ACC), l'effectif ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement (effectif exposé) représente 46% de l'effectif total de 1 771 travailleurs. La dose individuelle moyenne pour l'effectif exposé est de 2,59 mSv en 2014;
- pour les entreprises n'utilisant pas d'appareils de gammagraphie (RX+ACC), l'effectif total recensé est de 747 travailleurs. L'effectif exposé ne représente plus que 16% de l'effectif total et la dose individuelle moyenne pour ces travailleurs est de 1,70 mSv;
- pour les entreprises utilisant uniquement des appareils de gammagraphie (GAM), l'effectif total recensé est de 340 travailleurs. L'effectif exposé représente 72% de l'effectif total et la dose individuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé est de 3,83 mSv.

Là encore l'activité de gammagraphie apparaît comme étant la principale source d'exposition des travailleurs titulaires du CAMARI. Les niveaux d'exposition observés pour les « camaristes » sont plus importants que ceux relevés pour l'ensemble des travailleurs du secteur : les doses individuelles moyennes pour l'effectif exposé, toutes utilisations de sources confondues, sont respectivement de 2,59 mSv et de 1,83 mSv. En effet, dans le bilan réalisé à partir de la liste des entreprises détentrices de sources, qui porte sur travailleurs, c'est l'ensemble des 5 728 travailleurs suivis qui est considéré et non la seule population des titulaires du CAMARI, estimée à 1 771 travailleurs. Ces derniers étant les seuls habilités à manipuler les sources, se trouvent en moyenne exposés de façon plus importante.

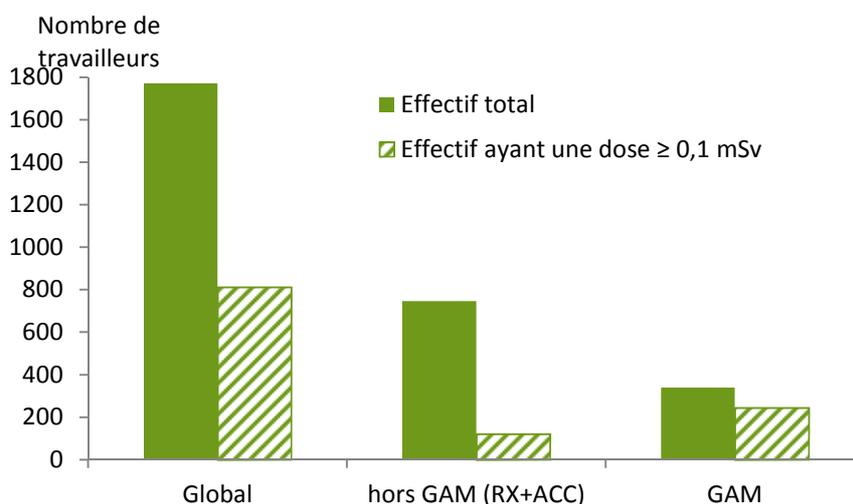


Figure 32 - Proportion de travailleurs ayant une dose supérieure au seuil d'enregistrement parmi les titulaires du CAMARI, en fonction de l'option validée

### Typologie des événements en gammagraphie et illustration par les événements recensés en 2014

Durant l'année 2014, l'IRSN a eu connaissance de la survenue de 17 événements significatifs en radioprotection dans le cadre d'activités de radiographie industrielle par gammagraphie, en enceinte dédiée ou sur chantiers. Les interventions concernées ont été effectuées au moyen de sources d'Iridium 192, d'activités comprises entre 0,4 TBq et 2,62 TBq. La majorité de ces événements s'est déroulée dans des installations industrielles hors INB (11 événements). Les autres

événements ont eu lieu lors d'activités de maintenance ou de contrôles dans les centrales nucléaires (6 événements).

Conformément aux procédures de déclarations, chaque événement significatif fait l'objet d'un classement sur l'échelle INES. La répartition des événements significatifs en gammagraphie survenus en 2014 est la suivante :

- 13 événements de niveau 0 ;

- 2 événements de niveau 1 ;
- 2 événements de niveau 2.

Deux événements ont eu des conséquences dosimétriques significatives sur les intervenants. Le premier a conduit au dépassement d'une limite de dose annuelle réglementaire de 20 mSv (en dose efficace) ; le second a eu pour conséquence l'intégration, en une seule opération, du quart de la même limite annuelle réglementaire de dose. Aucun des autres événements n'a conduit à des expositions non maîtrisées des travailleurs ou du public. Cependant, compte tenu des activités des sources utilisées, la majeure partie des événements auraient pu conduire, à des expositions significatives.

Les deux principales causes caractérisant ces événements sont, d'une part la perte de contrôle de la source lors d'un tir, d'autre part des défauts d'application de dispositions opérationnelles réglementaires.

### **Perte du contrôle de la source**

La problématique de la perte du contrôle de source de gammagraphie a été analysée par l'IRSN en 2013, lors d'un recensement exhaustif des scénarii de perte de contrôle de source en gammagraphie, incluant 39 scénarii analysés. Ce recensement a été effectué dans le cadre d'un groupe de travail initié par l'ASN, regroupant notamment les entreprises utilisatrices d'appareils de gammagraphies et la société CEGELEC, afin d'élaborer des solutions techniques de récupération et d'identification des contraintes techniques associées aux déploiements de chacune de ses solutions. En particulier, il est établi que pour tout type de défaillance matérielle, dès la détection d'une anomalie, les opérateurs ne sont plus autorisés à manipuler le gammagraphe. Toute tentative de mise en sécurité sans analyse préalable peut en effet engendrer des expositions importantes des opérateurs, notamment au niveau des mains, et constituer des obstacles supplémentaires pour mener les opérations ultérieures de récupération de la source.

Deux types de défaillances matérielles ont été à l'origine des événements recensés en 2014 : des blocages de la source dans la gaine d'éjection ou dans le projecteur et des ruptures du doigt d'obturateur lors de la réintégration de la source dans le projecteur.

### **Blocage de la source**

Durant l'année 2014, 3 blocages de source ont été recensés par l'IRSN : 2 blocages dans la gaine d'éjection et 1 blocage dans le projecteur.

Un seul événement a conduit à une exposition significative suite au blocage de la source à l'intérieur de la gaine d'éjection. Les opérateurs ont constaté le blocage de la source avant que celle-ci n'atteigne sa position d'irradiation et ont réalisé qu'il était impossible de la réintégrer en position de sécurité dans l'appareil à l'aide de la télécommande. Une opération manuelle visant à repousser la source dans l'appareil, réalisée sans analyse préalable du risque encouru, a conduit à ce que l'un des opérateurs reçoive une dose efficace évaluée par dosimétrie passive à environ 22 mSv. Cet incident a été classé au niveau 2 de l'échelle INES.

Le second blocage de source a été causé par la présence d'un corps étranger dans le projecteur qui a empêché de replacer, à l'issue de l'opération, la source radioactive dans sa position de sécurité. Cet événement n'a pas eu de conséquence dosimétrique sur les opérateurs et a été classé au niveau 1 de l'échelle INES. Cependant, les mesures enregistrées par le dosimètre opérationnel corps entier de l'opérateur n'étant pas représentatives de la dose à laquelle sa main a été exposée, une estimation de la dose aux extrémités a été demandée en inspection réactive. Le troisième événement concerne le blocage de la source dans les deux sens dans la gaine d'éjection lors de sa réintégration dans le projecteur. Cette intervention se déroulant dans une enceinte sécurisée, la condamnation immédiate des accès a permis d'éviter toute exposition non maîtrisée.

### **Rupture du doigt d'obturateur lors de la réintégration de la source dans le projecteur**

Environ 500 appareils de type Gam80/120 sont utilisés en France. Les appareils ont été construits il y a plusieurs dizaines d'années et jusqu'à présent, aucun suivi au cours du temps n'a été réalisé pour le remplacement des doigts d'obturateur. Une recrudescence de ce type d'événement a été observée durant l'année 2014. En effet, 6 événements ont été recensés par l'IRSN alors que ce type d'événement n'est pas courant (1 ESR en 1984 et 1 ESR en 2013). Selon une expertise

menée par CEGELEC à la suite d'un événement, les ruptures récentes des doigts d'obturateur seraient causées par un processus chimique de fragilisation au cours du temps.

Aucune rupture de doigt d'obturateur survenue en 2014 n'a eu de conséquence dosimétrique sur les opérateurs. Les anomalies ont été détectées lors de la réintégration de la source dans le projecteur. En fonction des situations, différents signaux ont permis d'alerter les opérateurs lors des vérifications de sécurité : voyant rouge à point blanc, course de la manivelle anormalement longue lors de l'exécution du coup de sécurité, débit d'équivalent de dose élevé devant le projecteur après le retour de la source...

La détection de l'anomalie peut cependant être assez tardive si l'une de ces vérifications de sécurité n'est pas réalisée par les intervenants (un cas répertorié en 2014).

### **Défaut d'application des dispositions opérationnelles réglementaires**

L'utilisation d'un gammagraphe nécessite de baliser une zone d'opération autour de l'appareil. Son accès est interdit aux personnes non habilitées. La zone d'opération doit être délimitée de manière visible et continue et l'accès, notamment pour changer les films radiographiques, doit faire l'objet de précautions particulières telles que le contrôle du débit équivalent de dose à l'aide d'un radiamètre. Durant l'année 2014, parmi les événements recensés par l'IRSN, 6 correspondent à des défauts de mise en place du balisage et 2 relèvent du non-respect des règles relatives à l'entrée en zone d'opération.

### **Défaut de mise en place du balisage**

La majorité de ce type d'événements sont des défauts de balisage permettant l'accès à la zone d'opération lors de chantiers programmés dans des centrales nucléaires (4 événements). Aucun d'entre eux n'a eu des conséquences sur l'exposition des intervenants.

Pour 3 événements, des contrôles du balisage, avant et pendant les tirs, ont permis d'identifier ces écarts (absence de rubalise) et d'éviter des franchissements des zones de tirs. Cependant, pour l'un des événements plusieurs tirs ont été réalisés avant que l'écart de balisage ne soit détecté. Cet accès faute de balisage, bien qu'il ne soit pas

évident (succession de plusieurs crinolines), aurait pu permettre à un intervenant de se rendre dans la zone d'opération. Celui-ci aurait alors pu être victime d'une exposition à des débits d'équivalent de dose importants lors de l'éjection de la source.

Seul un franchissement involontaire d'un intervenant extérieur a été recensé suite à un défaut de balisage de la zone d'opération. La rubalise était déposée et l'intervenant s'est aperçu qu'il était dans la zone de tir après l'avoir refixée. La conduite à tenir lors d'un constat de dépose de balisage de tirs n'a pas été respectée. L'opérateur n'a pas subi d'exposition incidentelle vu que la source n'était pas éjectée durant sa présence dans la zone d'opération.

### **Non-respect des règles relatives à l'entrée en zone d'opération**

En ce qui concerne le non-respect des règles relatives à l'entrée en zone d'opération, 2 événements ont été recensés durant l'année 2014. L'un d'eux concerne l'entrée dans la zone d'opération d'un intervenant extérieur non-habilité. Lors du changement du film radiographique, l'intervenant a suivi les opérateurs dans la zone d'exclusion. Il n'a pas subi d'exposition du fait de la mise en sécurité de la source dans le projecteur.

Le deuxième événement est survenu lors du retrait du film radiographique. Croyant le tir terminé, l'opérateur s'est approché de la source en position d'irradiation sans utiliser de radiamètre, malgré le déclenchement de l'alarme sonore de son dosimètre opérationnel, et en dépit des signalisations spécifiant que la source était en position d'irradiation. L'exposition a duré environ une minute, et la dose enregistrée par le dosimètre opérationnel de l'opérateur est d'environ 5 mSv. Cet incident a été classé au niveau 2 de l'échelle INES. Bien que ce type d'événement reste peu fréquent, il s'est déjà produit en 2009 dans des conditions et des conséquences dosimétriques similaires.

# DOMAINE DE LA RECHERCHE ET DE L'ENSEIGNEMENT



## *SOMMAIRE*

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES	p 94
Dosimétrie corps entier	p 94
Dosimétrie des extrémités	p 96
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	p 97
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	p 97
Surveillance spéciale	p 98
Estimations dosimétriques	p 98
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	p 98
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	p 98

Le domaine des activités de recherche et d'enseignement recouvre les travaux effectués au sein de laboratoires pharmaceutiques, de centres universitaires, de laboratoires des organismes nationaux de recherche (INSERM, INRA, CNRS,...), ainsi que dans des établissements suivis par le SPRA. Les travaux de recherche du CEA sont en majorité effectués pour l'industrie nucléaire. Cependant une partie d'entre eux concerne d'autres thématiques : sciences du vivant, étude des matériaux, applications médicales, applications militaires, etc, et sont donc inclus dans ce domaine.

## BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

### DOSIMETRIE CORPS ENTIER

L'effectif suivi dans le domaine de la recherche et de l'enseignement est stable par rapport à 2013 avec 13 122 travailleurs vs 13 158 en 2013. Les niveaux d'exposition des travailleurs concernés sont aussi restés stables. Si la dose collective augmente de 5% en passant de 0,38 à 0,40 homme.Sv, la dose individuelle annuelle moyenne de 0,25 mSv, calculée sur l'effectif exposé (i.e. pour lequel au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement a été enregistrée) de ce domaine, reste proche de celle enregistrée en 2013 (0,24 mSv).

- **13 122** travailleurs suivis
- dose collective annuelle :  
**0,40** homme.Sv
- dose individuelle annuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé :  
**0,25** mSv

#### *Analyse suivant les activités professionnelles*

Le tableau 26 présente les résultats de la surveillance dosimétrique répartis par secteur d'activité (exposition aux photons et aux neutrons).

Comme en 2013, il apparaît qu'un tiers des effectifs (34%) appartient au secteur des activités de recherche liées aux installations nucléaires et que les deux tiers (65%) interviennent dans les activités d'enseignement et de recherche autre que médicale ou nucléaire. Cependant, le faible effectif observé pour la recherche médicale, pharmaceutique et vétérinaire (0,5%), ainsi que l'incohérence avec les effectifs bénéficiant d'une surveillance de l'exposition interne dans ce domaine (tableau 27 par exemple), laisse à penser qu'une partie des travailleurs de ce secteur est enregistrée par erreur dans celui de l'enseignement et la recherche (hors recherche médicale et nucléaire).

Pour chaque secteur d'activité, les données pour les travailleurs civils et ceux de la défense ont été regroupées. Les travailleurs des activités de

défense suivis par le SPRA représentent 6% de l'effectif total du domaine de la recherche et de l'enseignement, avec une contribution à la dose collective de 4%. Ils interviennent dans le secteur de la recherche (autre que nucléaire et médicale) et de l'enseignement.

La dose individuelle annuelle maximale de ce domaine en 2014 est de 7,7 mSv, enregistrée dans le secteur de la recherche liée aux installations nucléaires.

Dans tous les secteurs principaux de ce domaine, la proportion de travailleurs dont la dose est en dessous du seuil d'enregistrement est de 88% en 2014, comme en 2013 (87% dans le secteur de la recherche liée aux installations nucléaires). L'analyse de l'effectif exposé montre que l'ensemble des travailleurs, sauf deux, sont exposés à moins de 5 mSv. Plus de 95% des travailleurs sont exposés à moins de 1 mSv quel que soit le secteur. Ces chiffres sont stables par rapport à 2013.

Tableau 26 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine de la recherche et de l'enseignement

Secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total <sup>(a)</sup> (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé <sup>(b)</sup> (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Recherche (autre que nucléaire et médical) et enseignement	8576	0,23	0,02	0,20	7525	1025	26	0	0	0	0
Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique	65	0,004	0,07	0,28	57	8	0	0	0	0	0
Installations de recherche liées au nucléaire	4481	0,14	0,04	0,32	3910	545	24	2	0	0	0
<b>Total</b>	<b>13 122</b>	<b>0,40</b>	<b>0,03</b>	<b>0,25</b>	<b>11 492</b>	<b>1 578</b>	<b>50</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

(a) Dose individuelle moyenne sur l'effectif total = dose collective / effectif total suivi.

(b) Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé = dose collective / effectif suivi pour lequel la dose est supérieure au seuil d'enregistrement.

### Contribution des neutrons

La surveillance de l'exposition aux neutrons a été mise en place pour 4 063 travailleurs du domaine de la recherche en 2014 (soit 31% de l'effectif de ce domaine). Cet effectif est en progression de 10% par rapport à 2013. La dose collective associée est de 19,6 homme.mSv (contre 26,4 homme.mSv en 2013) soit 4% de la dose collective totale du

domaine et la dose individuelle maximale enregistrée de 0,5 mSv. La majorité de ces travailleurs (67%) intervient dans les activités de recherche liées aux installations nucléaires ; ils reçoivent 87% de la dose collective neutron de ce domaine.

### Evolution sur la période 1996-2014

Avant 2008, la nomenclature appliquée au domaine de la recherche et de l'enseignement était imprécise et couvrait parfois des activités ne relevant pas strictement du domaine. A partir de 2009, l'application de la nouvelle nomenclature des activités a permis de corriger progressivement ce problème. Ainsi entre 2008 et 2009, la sortie de l'ensemble des travailleurs du CEA exerçant dans des secteurs autres que la recherche a entraîné une nette diminution de l'effectif (figure 33). Par

la suite, l'augmentation de l'effectif entre 2009 et 2010 s'explique par le rassemblement en un domaine unique de toutes les activités de recherche et d'enseignement qui pouvaient parfois être dispersées auparavant dans différents domaines, comprenant ainsi la recherche médicale, la recherche liée au nucléaire, toute autre recherche et l'enseignement.

Même si l'effectif de ce domaine a connu des fluctuations depuis 1996, il apparaît que la dose

collective a régulièrement diminué au cours des années pour atteindre des valeurs faibles, inférieures à 1 homme.Sv pour l'ensemble du domaine depuis 2006.

Alors que depuis 2010 les effectifs étaient plutôt stables, l'année 2014 confirme la baisse observée en 2013.

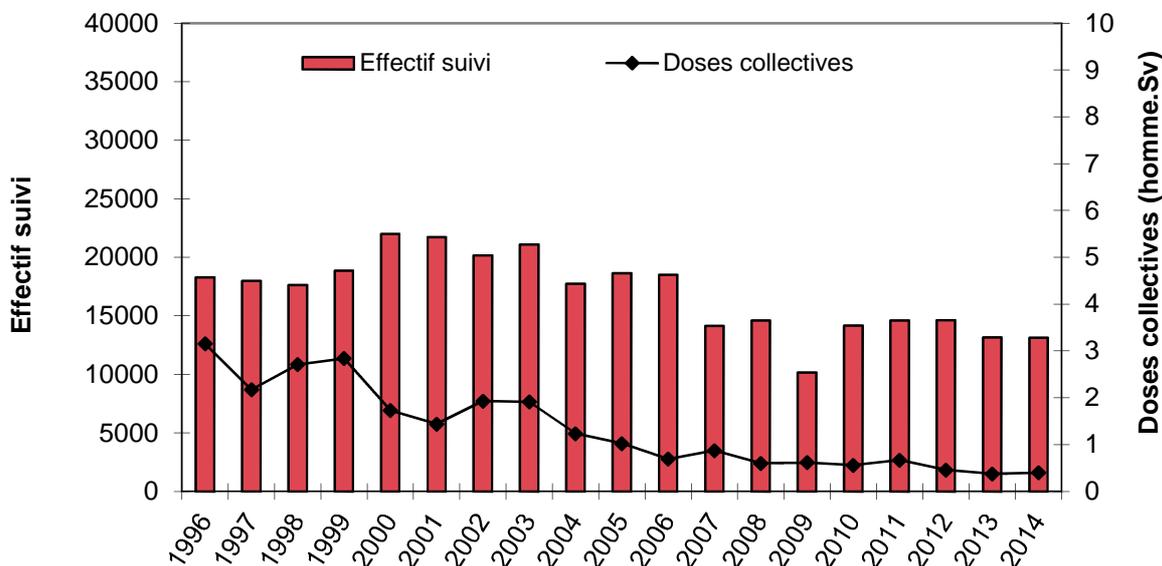


Figure 33 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le domaine de la recherche et de l'enseignement (période 1996-2014)

## DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2014, 1 808 travailleurs du domaine de la recherche ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités, la dose totale enregistrée étant de

2,24 Sv et la dose individuelle moyenne de 1,2 mSv. Sur l'ensemble de l'effectif, 78% sont non exposés et 22% sont exposés à moins de 150 mSv.

### Dosimétrie par bague

63% des effectifs ayant une dosimétrie des extrémités en 2014 portent un dosimètre bague. La dose totale enregistrée auprès de ces 1 134 travailleurs atteint 2,17 Sv. Cette dose est reçue à 83% par des travailleurs du secteur de la recherche (hors médical et nucléaire) et de l'enseignement et à 16% par des travailleurs exerçant des activités de recherche au sein des installations nucléaires. Les travailleurs identifiés comme intervenant dans le secteur de la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique ont reçu moins de 1% de cette

dose, mais leur faible effectif rend les statistiques associées peu représentatives de ce secteur.

Par rapport à l'effectif total suivi aux extrémités par une bague, 70% des travailleurs des installations de recherche liées au nucléaire sont non exposés et les 30% restants ont reçu une dose inférieure à 60 mSv. Pour le secteur de la recherche et de l'enseignement hors secteurs nucléaire et médical, 76% des travailleurs sont non exposés et les 24% restants ont reçu une dose

inférieure ou égale à 148 mSv, dose individuelle maximale enregistrée dans ce domaine.

### Dosimétrie au poignet

La dose totale enregistrée auprès des 674 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet atteint 0,07 Sv, dose reçue à parts égales au sein des installations de recherche liées au nucléaire et dans le secteur de la recherche (hors médical et nucléaire) et de l'enseignement.

Sur l'effectif total de ce domaine, 88% des travailleurs suivis pour une dosimétrie poignet sont non exposés et les 12% restants ont reçu une dose inférieure ou égale à 16,7 mSv, dose individuelle maximale enregistrée au poignet dans le domaine de la recherche.

## BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

### SURVEILLANCE DE ROUTINE, DE CHANTIER ET DE CONTROLE

Dans le domaine de la recherche, près de la moitié des 9 120 examens réalisés dans le cadre de la surveillance de routine sont des analyses radiotoxicologiques urinaires (47%), suivies par les examens anthroporadiométriques (45%). Les analyses radiotoxicologiques de selles et de prélèvements nasaux représentent respectivement 5% et 3% des examens réalisés dans ce domaine. Les analyses radiotoxicologiques urinaires sont mises en œuvre majoritairement (81%) dans le secteur des installations de recherche liée au

nucléaire (tableau 27) mais c'est seulement dans le secteur de la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique que sont relevées des analyses positives, en l'occurrence 10, soit 0,2% de l'ensemble des analyses urinaires.

En 2014, la réalisation d'examens anthroporadiométriques a concerné exclusivement le secteur des installations de recherche liées au nucléaire. Aucun examen anthroporadiométrique ne s'est révélé positif.

**Tableau 27 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine de la recherche et de l'enseignement**

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs <sup>(*)</sup>
Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique	247	669	10
Installations de recherche liées au nucléaire	1 264	3 475	0
Recherche (autre que nucléaire et médical) et enseignement	44	125	0
<b>Total</b>	<b>1 555</b>	<b>4 269</b>	<b>10</b>

(\*) Les examens considérés positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite d'interprétation opérationnelle définie au préalable avec le prescripteur, ou, à défaut, à la limite de détection (LD).

## SURVEILLANCE SPECIALE

Les 774 examens réalisés dans le cadre d'une surveillance spéciale l'ont été en grande majorité dans le secteur des installations de recherche liées

au nucléaire (72%), et la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique (21%) (tableau 28). 8 examens ont été considérés positifs.

**Tableau 28 - Examens réalisées à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale) dans le domaine de la recherche et de l'enseignement**

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs(*)
Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique	70	159	2
Installations de recherche liées au nucléaire	204	560	5
Recherche (autre que nucléaire et médical) et enseignement	16	55	1
<b>Total</b>	<b>290</b>	<b>774</b>	<b>8</b>

(\*) Les examens considérés positifs sont ceux dont le résultat est supérieur à la limite d'interprétation opérationnelle définie au préalable avec le prescripteur, ou, à défaut, à la limite de détection (LD).

## ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

En 2014, 6 travailleurs de la recherche (dont 5 dans le secteur des installations de recherche liées au nucléaire et 1 dans le secteur de la recherche médicale) ont été l'objet d'un calcul de dose

interne. Pour l'un d'entre eux (secteur des installations de recherche liées au nucléaire), la dose efficace engagée calculée s'est avérée supérieure à 1 mSv, avec une valeur de 2,8 mSv.

## DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Aucun dépassement de limite annuelle réglementaire de dose n'a été enregistré en 2014 dans le domaine de la recherche et de l'enseignement.

## SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Au cours de l'année 2014, 12 événements ont été recensés dans le domaine de la recherche :

- 6 ERP survenus dans des établissements de recherche (autre que nucléaire et médical) et d'enseignement ;

- 5 ERP survenus dans des installations de recherche liées au nucléaire ;

- 1 ERP survenu dans un établissement de recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique.

Parmi les événements déclarés, 1 événement a été classé au niveau 1 de l'échelle INES. Il s'agit d'une découverte de source, ce classement ayant été motivé par une défaillance dans la gestion des sources radioactives au sein de l'établissement concerné.

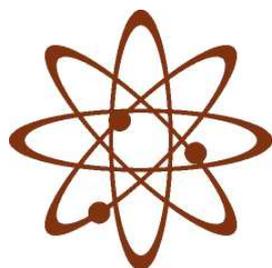
L'ensemble des événements recensés dans ce domaine ont fait l'objet d'une déclaration au titre de la radioprotection, selon les critères de l'ASN. Leur répartition en fonction du critère de déclaration est détaillée dans le tableau 29.

**Tableau 29 - Répartition des événements recensés dans le domaine de la recherche en fonction des critères de déclaration ASN**

Critères de déclaration radioprotection INB	Nombre d'événements recensés
1 – Dépassements de doses travailleur (réel ou potentiel)	1
4.2 – Découverte de sources	6
10 - Tout autre écart significatif pour l'ASN ou l'exploitant	5
<b>Total</b>	<b>12</b>



# EXPOSITION A LA RADIOACTIVITE NATURELLE



## *SOMMAIRE*

EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE	p 102
EXPOSITION AUX MATERIAUX NORM OU AU RADON D'ORIGINE GEOLOGIQUE	p 103
Evaluation du risque sur les lieux de travail	p 103
Données concernant la surveillance des travailleurs	p 105

## EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE

L'année 2014 constitue une période de transition entre les deux dispositifs de suivi dosimétrique des personnels navigants : au 31 décembre 2014, 8 compagnies avaient adhéré à SIEVERT PN, conduisant à un total de 18 000 personnels navigants suivis par ce nouveau dispositif (16 compagnies avaient un abonnement à SIEVERT PN en 2013, comptabilisant un total de 22 800 personnels navigants); 5 autres compagnies étaient en cours d'adhésion début 2015. Par ailleurs, la mise en place de la nouvelle réglementation a amené 10 autres compagnies à contacter l'IRSN en vue d'une évaluation des doses susceptibles d'être reçues par leurs personnels navigants ou pour exprimer des difficultés pour répondre à ces exigences réglementaires (manque de ressources humaines ou financières). Notamment, 5 d'entre elles seraient en dehors du champ d'application du texte, les doses annuelles estimées pour leurs personnels restant inférieures à 1 mSv.

Parmi les compagnies ayant adhéré au nouveau dispositif, seules des doses calculées pour les

personnels navigants d'Air France pour l'ensemble de l'année 2014 ont été envoyées à SISERI par SIEVERT PN. Le tableau 30 en présente le bilan. Selon celui-ci, 15% des doses individuelles annuelles en 2014 sont inférieures à 1 mSv et 85% des doses sont supérieures ou égales à 1 mSv. Cette répartition des doses est comparable à celle observée en 2012 et 2013 et reste 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 1,8 mSv (1,9 mSv en 2013). La dose individuelle annuelle maximale atteint 4,2 mSv, soit une valeur légèrement inférieure à celle de 2013 (4,5 mSv).

Le tableau 31 présente un bilan des doses établies pour les personnels navigants de l'aviation militaire. A la différence du bilan présenté dans le tableau 30, ces doses ne sont pas le résultat d'un calcul, mais sont issues de mesures de l'équivalent de dose  $H_p(10)$  à l'aide de dosimètres individuels (composantes photonique et neutronique incluses).

**Tableau 30 - Bilan 2014 des doses individuelles annuelles des personnels navigants de l'aviation civile (compagnie Air France)**

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		
18 110	2 770 (15,3%)	7 334 (40,5%)	7 281 (40,2%)	724 (4,0%)	1 (-)	1,8	4,2

**Tableau 31 - Bilan 2014 des doses individuelles annuelles des personnels navigants de l'aviation militaire**

Effectif	Répartition des doses individuelles annuelles (mSv)		Dose moyenne (mSv)	Dose maximale (mSv)
	< 1	≥ 1		
460	460 (100%)	0	0,25	0,7

## EXPOSITION AUX MATERIAUX NORM OU AU RADON D'ORIGINE GEOLOGIQUE

### EVALUATION DU RISQUE SUR LES LIEUX DE TRAVAIL

#### 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 filiation des uraniums et du thorium) non utilisés en raison de leurs propriétés radioactives. La manipulation et la transformation de ces matières qualifiées de « NORM » ou « TENORM » peuvent entraîner une augmentation notable de l'exposition des travailleurs par rapport à leur exposition due à la radioactivité naturelle de l'environnement.

Cette problématique dite des « expositions à la radioactivité naturelle renforcée » 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 2007-1570 et définies plus précisément par l'arrêté du 25 mai 2005 relatif aux activités professionnelles mettant en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides non utilisés en raison de leurs propriétés radioactives. Cet arrêté précise la liste des activités ou des catégories d'activités professionnelles concernées et impose aux chefs d'établissements concernés de réaliser une évaluation des doses pour les travailleurs et la population. Une évolution de cette réglementation, et éventuellement de la liste des activités concernées, est attendue dans le cadre de la transposition de la directive européenne 2013/59/EURATOM.

L'IRSN a été chargé de centraliser les évaluations de doses réalisées par les industriels dans le cadre de l'application de l'arrêté du 25 mai 2005, afin d'établir une cartographie des doses reçues en France dans les différents secteurs industriels concernés. Pour ces évaluations, l'arrêté du

25 mai 2005 impose de tenir compte de l'exposition externe, de l'exposition interne par inhalation de poussières ainsi que de l'exposition interne par inhalation du radon et de ses descendants pour évaluer les doses efficaces.

L'IRSN a analysé en 2009 les doses efficaces présentées par les industriels dans les 77 dossiers présentés. Cette analyse mettait en évidence une hétérogénéité des approches retenues par les industriels en termes de prise en compte des voies d'exposition et du bruit de fond radiologique. Malgré ces hétérogénéités, une tendance générale se dégageait sur les niveaux d'exposition moyens dans les principaux secteurs industriels concernés par la présence de source naturelle de radioactivité.

- les doses efficaces ajoutées relatives à la combustion de charbon en centrale thermique, à la production d'engrais phosphatés et à la fabrication d'acide phosphorique ainsi qu'au traitement de terres rares et à la production de pigments en contenant sont inférieures à 1 mSv/an. L'IRSN relevait toutefois le faible nombre de données relatives aux deux dernières catégories d'activités professionnelles ;
- la quasi-totalité des doses efficaces ajoutées relatives à la production de céramiques réfractaires et aux activités de verrerie, fonderie, sidérurgie et métallurgie sont inférieures à 1 mSv/an. Ceci est cohérent avec les données publiées dans la littérature ;
- de nombreuses doses efficaces ajoutées pour les catégories relatives à la production de zircon et de baddeleyite, aux activités de fonderie et métallurgie en mettant en œuvre et au traitement des minerais d'étain, d'aluminium, de cuivre, de titane, de niobium, de bismuth et de thorium sont de l'ordre de 2 mSv/an à 3 mSv/an ;

- les évaluations de doses efficaces relatives à la production ou l'utilisation de composés contenant du thorium sont rares mais mettent en évidence que dans certains cas, ces doses peuvent atteindre plusieurs dizaines de mSv/an du fait de l'inhalation de poussières ;

- Les évaluations de doses efficaces relatives aux établissements thermaux et aux installations de filtration d'eau souterraine sont, quant à elles, trop peu nombreuses pour qu'une tendance puisse être esquissée.

Compte-tenu de l'ensemble des études reçues jusqu'à ce jour, ce sont plus de 400 doses aux postes de travail qui ont été évaluées par les industriels. La figure 34 présente leur distribution. Il apparaît qu'environ 15% d'entre elles sont supérieures à la limite de 1 mSv/an, limite au-delà de laquelle les travailleurs sont considérés comme « professionnellement exposés » au sens du code

du travail et doivent faire l'objet d'une surveillance dosimétrique individuelle et d'une surveillance médicale renforcée.

En 2014, une nouvelle étude produite en application de cet arrêté a été transmise à l'IRSN, concernant le secteur de la combustion de charbon en centrale thermique. Les doses estimées par l'exploitant sur la base de scénarii d'exploitation et de mesures réalisées sur ses propres sites sont comprises entre 0,02 mSv/an et 0,313 mSv/an. Les travailleurs les plus exposés sont ceux intervenant sur les stocks de cendres. Ces résultats sont cohérents avec l'étude générique réalisée par EDF et analysée par l'IRSN en 2007 [11] et plus généralement avec tous les résultats présentés dans les études relatives à la combustion de charbon en centrale thermique.

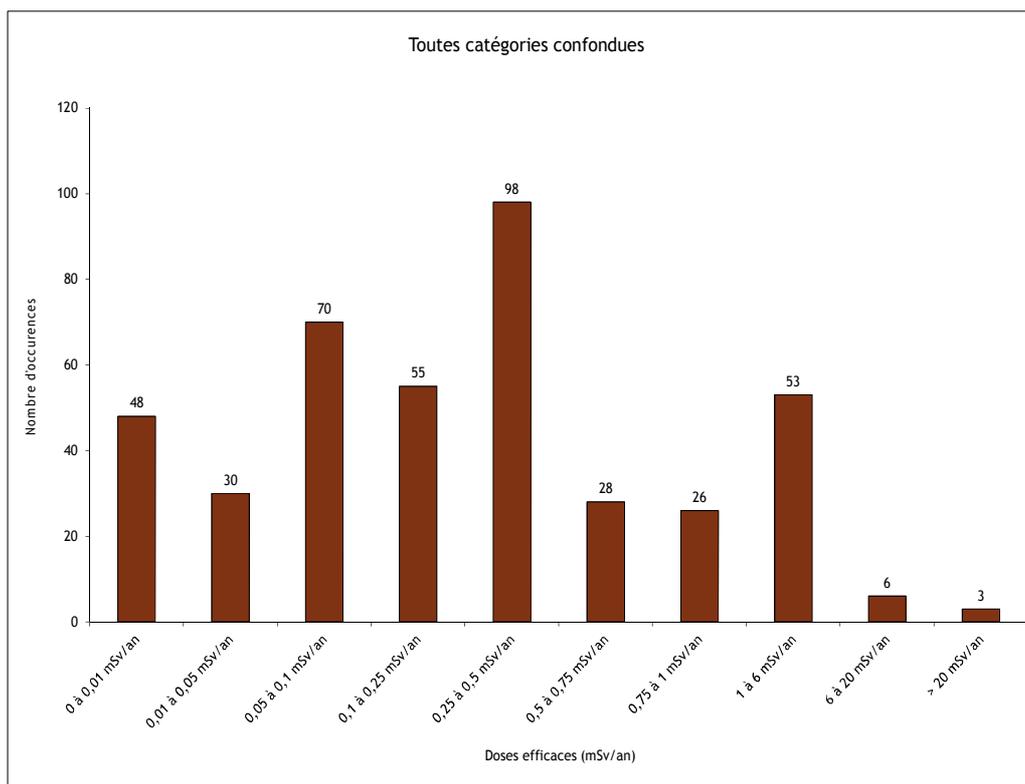


Figure 34 - Distribution des doses efficaces calculées par les industriels pour les travailleurs, toutes catégories d'activités professionnelles confondues (période 2005-2014)

**RADON**

Suite à la mise en place de la réglementation relative à l'exposition des travailleurs au radon en 2008 (arrêté du 7 août 2008 et décision n°2008-DC-0110 de l'ASN homologuée par l'arrêté du 8 décembre 2008) et conformément à deux décisions de l'ASN (décisions n° 2009-DC-0135 et n° 2009-DC-0136 du 7 avril 2009, homologuées par l'arrêté du 5 juin 2009), l'IRSN dispense depuis fin 2009, trois cursus de formation destinés aux organismes désirant obtenir les agréments Niveau 1 option A (mesure dans tous types de bâtiment), Niveau 1 option B (mesure dans les cavités et ouvrages souterrains) et Niveau 2 (identification des sources, des voies d'entrées et de transfert de radon) de l'ASN. Pour l'année 2014, trois sessions de formation ont été organisées, une pour chaque type d'agrément.

A l'issue de la commission d'agrément de juillet 2014, 49 organismes disposent de l'agrément niveau 1 option A, 9 organismes du niveau 1 option B et 8 organismes du niveau 2.

Depuis la mise en place de la réglementation, des dépistages du radon dans les lieux de travail ont été réalisés par l'IRSN ou par des organismes agréés. Au total, ce sont 72 rapports de dépistage que l'IRSN a reçus, dont 26 en 2014 portant sur des établissements thermaux, des cavités ou des ouvrages souterrains.

Enfin, dans une démarche d'harmonisation des textes méthodologiques de référence pour le dépistage réglementaire du radon (code de la santé publique et code du travail), l'IRSN a initié en 2010 la transposition des guides méthodologiques relatifs au mesurage du radon dans les bâtiments souterrains, les établissements thermaux et dans les cavités et les ouvrages souterrains en norme AFNOR. A l'issue de ce travail réalisé dans le cadre d'un groupe de travail de la commission M60.3 du Bureau de Normalisation des Equipements Nucléaires, deux normes ont été produites : la norme AFNOR NF M60-771 relative au dépistage du radon dans tous types de bâtiment publiée en 2011 et la norme NF M60-772 relative au dépistage du radon dans les cavités et ouvrages souterrains en 2012. Par ailleurs, initiée en 2008 au sein du groupe de travail n°17 du comité technique TC85/SC2 de l'ISO, l'IRSN participe à la transposition internationale du corpus des normes AFNOR relatives à la mesure du radon dans l'air. Les normes AFNOR NF M60-763 à NF M60-769 ont ainsi été remplacées en octobre 2012 par les normes NF ISO 11665-1 à NF ISO 11665-7. La norme AFNOR NF M60-771 relative au dépistage du radon dans tous types de bâtiment a quant à elle été remplacée par la norme NF ISO 11665-8 en janvier 2013.

**DONNEES DE SURVEILLANCE DES TRAVAILLEURS**

Les données transmises par le laboratoire agréé pour les mesures des expositions aux radionucléides naturels descendants de l'uranium et du thorium permettent d'établir un bilan de l'exposition externe mesurée à l'aide de dosimètres TLD (tableau 32) et de l'exposition interne mesurée à l'aide du dosimètre alpha individuel (tableau 33).

Les 121 travailleurs suivis en dosimétrie externe exercent dans les secteurs suivants : recherche et développement dans les secteurs de la minéralurgie et de la métallurgie, de la production d'éponges de zirconium, de la recherche et du développement dans le domaine des activités

minières et des prestations d'exploitation et de maintenance dans certaines de ces activités.

Les 164 travailleurs suivis pour leur exposition interne exercent dans les secteurs cités ci-dessus, ainsi que dans des lieux entraînant une exposition particulière au radon (cavités et installations souterraines).

A l'heure actuelle, ce bilan ne peut être considéré comme exhaustif, notamment pour les expositions au radon d'origine géologique. En effet, d'après les rapports de dépistage reçus par l'IRSN, un certain nombre de lieux de travail présentent une exposition potentielle au radon impliquant la mise

en œuvre d'une surveillance individuelle, et il s'avère que toutes les entreprises concernées ne sont pas incluses dans le bilan présenté ici.

d'entre eux reçoivent des doses supérieures à 1 mSv par an, tant par exposition externe que par exposition interne.

Ce bilan montre que les expositions des travailleurs sont faibles en moyenne mais qu'une fraction

**Tableau 32 - Données relatives à l'exposition externe aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium**

Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total <sup>(a)</sup> (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé <sup>(b)</sup> (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
				< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
121	0,026	0,21	0,23	8	110	3	0	0	0	0

**Tableau 33 - Données relatives à l'exposition interne aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium**

Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total <sup>(a)</sup> (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé <sup>(b)</sup> (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
				< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
164	0,028	0,17	0,25	53	104	7	0	0	0	0

(a) Dose individuelle moyenne sur l'effectif total = dose collective / effectif total suivi.

(b) Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé = dose collective / effectif suivi pour lequel la dose est supérieure au seuil d'enregistrement.

# ENJEUX ACTUELS EN RADIOPROTECTION

Un certain nombre de questions de radioprotection des travailleurs font aujourd'hui l'objet de réflexions et de travaux. Ces travaux ont pour objectifs de bien cerner les problématiques posées, de développer des approches méthodologiques pour en évaluer au mieux les enjeux, notamment dans le contexte des évolutions technologiques, réglementaires ou normatives, de définir des doctrines permettant d'optimiser et d'harmoniser les pratiques en France, mais aussi à une plus large échelle. Ces travaux mobilisent les experts et les chercheurs de l'IRSN, en fonction de leur complexité ou de leur degré d'avancement. Pour l'année 2014, ces travaux ont notamment porté sur la transposition des BSS (« Basic Safety Standards ») et l'exposition du cristallin. Un point sur l'avancée du projet européen ESOREX est également présenté dans ce chapitre.

## TRANSPOSITION DES BSS (« BASIC SAFETY STANDARDS »)

La directive 2013/59/Euratom du 5 décembre 2013, publiée le 17 janvier 2014, présente une mise à jour des normes européennes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants.

Elle abroge et regroupe les dispositions de cinq anciennes directives relatives à la protection de la population, des patients et des travailleurs en matière d'exposition aux rayonnements ionisants : outre la directive 96/29/Euratom fixant les normes de base en vigueur jusqu'à aujourd'hui, elle reprend également les dispositions de la directive 89/618/Euratom relative aux situations d'urgence radiologique, de la directive 90/641/Euratom sur l'exposition des travailleurs extérieurs intervenant en zone contrôlée, de la directive 97/43/Euratom relative aux expositions à des fins médicales et de la directive 2003/122/Euratom traitant des sources scellées de haute activité et des sources orphelines.

L'objectif de ce nouveau texte est ainsi de couvrir l'ensemble des situations d'exposition telles qu'elles sont définies dans les recommandations de la CIPR 103 publiées en 2007 (situations existantes, planifiées et d'urgence) et les 3 catégories de personnes que sont la population, les patients et les travailleurs. En matière de protection des

travailleurs, le texte entérine la réduction de la limite d'exposition au cristallin, de 150 à 20 mSv/an ou à 100 mSv sur 5 ans pour autant que la dose sur une année ne dépasse pas 50 mSv. Une attention particulière est également portée dans cette nouvelle directive aux cas des expositions à la radioactivité d'origine naturelle, notamment au radon. La mise à jour des normes de base européennes a été réalisée en parallèle de celles de l'AIEA (version provisoire publiée en 2011 et version définitive en 2014).

La France dispose d'un délai de quatre ans pour transposer la directive 2013/59/Euratom en droit national. L'échéance est ainsi fixée au 6 février 2018 au plus tard. Même si la réglementation française avait en partie anticipé les évolutions introduites par la directive 2013/59/Euratom, la Direction Générale du Travail (DGT) a engagé des réflexions sur diverses thématiques (zonage radiologique des locaux de travail, classification et suivi dosimétrique des travailleurs...) afin de pouvoir proposer, dans le cadre des travaux de transposition, une évolution réglementaire prenant en compte les nouvelles attentes des acteurs de la radioprotection.

L'IRSN a été fortement impliqué dans les travaux préliminaires à la transposition de cette nouvelle directive et notamment pour les questions de surveillance dosimétrique. Ainsi l'Institut a-t-il participé activement à un groupe de travail mis

en place par la DGT. Ce groupe de travail co-piloté par la DGT, l'ASN et l'IRSN avait pour finalité d'analyser les atouts et les lacunes de l'organisation actuelle du suivi dosimétrique des travailleurs, à partir du retour d'expérience national et international. Quatre ateliers ont été mis en place avec pour missions de traiter respectivement les aspects généraux de la surveillance dosimétrique, la dosimétrie externe, la dosimétrie interne et les modalités d'enregistrement et d'exploitation des données qui en découlent. A l'issue des travaux de ces 4 ateliers, un livre blanc de la « Surveillance radiologique des expositions des travailleurs » a été rédigé.

Les principes édictés dans ce livre blanc reposent sur la nécessaire harmonisation des dispositions du Code du travail en regard des différentes classes de risques auxquels sont exposés les travailleurs, notamment avec les CMR (cancérogène, mutagène et reprotoxique). Au moment de la rédaction de ce rapport, le contenu du livre blanc n'a pas encore été rendu public. Celui-ci devrait être publié au début de l'été 2015.

## RECENTS TRAVAUX CONCERNANT L'EXPOSITION DU CRISTALLIN

---

Le cristallin de l'œil est un tissu radiosensible. Il peut être affecté par les rayonnements ionisants. Il développe alors des opacités pouvant conduire à une cataracte. Si le risque est connu de longue date, il est aujourd'hui au cœur de l'actualité. En 2011, la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) a revu drastiquement à la baisse ses recommandations pour les travailleurs, ramenant la limite annuelle d'exposition de 150 à 20 mSv. Si ces recommandations n'ont pas valeur d'obligation, elles sont souvent suivies à la lettre par les autorités. Cette nouvelle valeur a été reprise dans les normes de base en radioprotection (Basic safety standards ou BSS) de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) en 2011 et dans la directive Euratom (la Communauté européenne de l'énergie atomique) en décembre 2013. Cette dernière devra être transposée en droit français d'ici au 6 février 2018.

Les cardiologues interventionnels présentent près de quatre fois plus d'opacités cristalliniennes que la population générale. Ce résultat de l'étude

O'CLOC menée par l'IRSN confirme et précise le risque encouru par certains professionnels. Pour approfondir les connaissances de ce domaine, l'IRSN participe au projet européen EURALOC qui a débuté en décembre 2014 pour une durée de 3 ans. Ce projet, piloté par le SCK-CEN (Belgique) et réunissant épidémiologistes et dosimétristes est le premier du genre d'une telle envergure. L'objectif est de bâtir une étude à long terme sur une cohorte européenne de cardiologues interventionnels afin d'établir la relation dose-effet. EURALOC s'appuie en particulier sur l'expérience d'O'CLOC et sur les travaux du projet européen ELDO qui avait permis de mettre au point en 2013 un protocole uniformisé pour ce type d'étude épidémiologique, phase préliminaire à la mise en place d'une cohorte au niveau européen.

L'IRSN a également participé à la première intercomparaison européenne de dosimètres passifs pour le cristallin (cf. Focus ci-après).

## FOCUS

## Organisation de la première intercomparaison européenne de dosimètres passifs pour le cristallin

Dans le contexte de l'abaissement de la limite de dose au cristallin à 20 mSv/an suite à la parution de la récente directive européenne 2013/59/EURATOM, l'EURADOS (European Radiation Dosimetry Group) a organisé pour la première fois une intercomparaison de dosimètres passifs pour le cristallin. Cette intercomparaison, coordonnée par l'IRSN, a regroupé au total 20 laboratoires de dosimétrie individuelle de 15 pays différents. Les dosimètres fournis par les participants étaient tous composés de matériaux thermoluminescents de différents types. Les irradiations en Hp(3) sur un fantôme cylindrique ont été réalisées courant de l'été 2014 auprès de 4 laboratoires d'étalonnage (SCK-CEN, Belgique ; UPC, Espagne ; CEA, France ; IRSN, France). Le rapport final regroupant l'ensemble des résultats de façon anonyme sera disponible ultérieurement mais les premières conclusions indiquent que parmi les 20 participants, 17 obtiennent 90% de résultats conformes aux exigences de la norme ISO 14146 [18] et 14 d'entre eux obtiennent 100% de résultats conformes à ces exigences. Au-delà de ces aspects dosimétriques, il faut souligner que ces résultats concernent une diversité de dosimètres et de modalités de port, illustrée par la photographie ci-dessous.



*Les différents dosimètres utilisés par les participants à l'intercomparaison EURADOS de 2014*

## PLATEFORME EUROPEENNE D'INFORMATION ET D'ECHANGES SUR LES EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES AUX RAYONNEMENTS IONISANTS (ESOREX)

Dans la continuité des travaux initiés en 1997 par la Commission Européenne à travers l'étude ESOREX (European Study on Occupational Radiation Exposure), un projet de développement d'une plateforme d'information et d'échanges entre les experts sur les expositions professionnelles aux rayonnements ionisants a démarré en décembre 2012. Fort de son expérience dans le domaine, c'est l'IRSN qui a été choisi à l'issue de l'appel d'offre lancé par la Commission européenne pour mener à bien ce projet.

Le développement de cette plateforme ESOREX a pour principaux objectifs de :

- faciliter le partage d'informations entre experts du domaine, notamment ceux en charge des registres nationaux dédiés aux expositions professionnelles aux rayonnements ionisants ;
- présenter un panorama à jour des dispositions prises dans les différents pays en matière de radioprotection des travailleurs et plus particulièrement de suivi de l'exposition des travailleurs;

- constituer une base de données des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants des pays participant, en harmonisant les formats de présentation de ces données ;
- disposer d'un outil permettant une analyse comparative des dispositions nationales prises en application de la nouvelle directive européenne de décembre 2013.

A ces objectifs, s'ajoute l'opportunité avec la plateforme ESOREX de promouvoir la coopération entre experts de tous horizons au niveau international.

La structure de la plateforme ainsi que les données à y enregistrer ont été définies lors d'une première phase du projet, au sein d'un groupe de travail restreint impliquant les représentants de 6 pays (Allemagne, Grèce, Irlande, Slovaquie, Suisse et France), un représentant de la Commission Européenne et un observateur de l'UNSCEAR. L'implication du secrétariat de l'UNSCEAR était capitale pour garantir une cohérence entre les données européennes produites au travers de la plateforme ESOREX et celles présentées dans le cadre des bilans de l'UNSCEAR au niveau mondial. Le groupe de travail a validé la liste des secteurs d'activité et des métiers à considérer, ainsi que le type et le format de données dosimétriques à enregistrer dans la base de la plateforme ESOREX, à la fois pour la surveillance des expositions du corps entier, des extrémités, de la peau et du cristallin.

Le groupe a également déterminé les données que chaque pays doit renseigner dans la partie informative de la plateforme qui décrit les dispositions prises au plan national pour appliquer la réglementation en matière de surveillance des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants. Les rubriques suivantes ont été retenues : autorité compétente du pays, réglementation nationale, registre national des doses, passeport dosimétrique, laboratoires de dosimétrie agréés, dosimétrie externe, exposition des personnels navigants, surveillance de l'exposition interne, exposition au radon.

Un prototype de plateforme a été développé par l'IRSN en conformité avec les choix faits par le groupe de travail, puis les membres du groupe ont été sollicités pour en tester les fonctionnalités. Le prototype a ensuite été présenté aux participants d'un workshop européen dédié, à Paris en Septembre 2014. Les participants de chaque pays ont été invités à désigner un administrateur ESOREX en charge d'ouvrir des comptes pour le ou les correspondant(s) devant fournir les données de leur pays pour alimenter la plateforme, tant sur le volet informatif que sur le plan des statistiques dosimétriques par secteur d'activité et par métier.

Au-delà des fonctionnalités offertes aux experts désignés de chaque pays participant, la plateforme présente également une partie ouverte au public permettant la consultation des données informatives de chaque pays et des graphes présentant les résultats généraux de l'exposition des travailleurs.

Mi-2015, ce sont 22 pays qui ont désigné un administrateur ESOREX. Au moins 14 d'entre eux ont également renseigné la partie informative et/ou des données dosimétriques. En tant que participant, la France s'est livrée à l'exercice de renseigner la partie informative ainsi que les tables de données pour les années 2010 à 2013 pour la dosimétrie corps entier et la dosimétrie d'extrémité. La figure 35 est un exemple de graphe, présentant l'effectif suivi en 2013 dans les 11 pays ayant saisi jusqu'ici des données, et parmi ces travailleurs, l'effectif exposé à une dose supérieure au seuil d'enregistrement et l'effectif ayant reçu une dose supérieure à 1 mSv.

Les enjeux liés à ce projet sont, d'une part d'atteindre une large participation pour obtenir des données qu'il sera intéressant de comparer d'un pays à l'autre à l'échelle de l'Europe, par domaine, secteur d'activité ou métier, d'autre part, de construire une plateforme qui soit pérenne pour permettre également une analyse longitudinale de ces données dans un contexte réglementaire en évolution.

Monitored and measurably exposed workers per countries

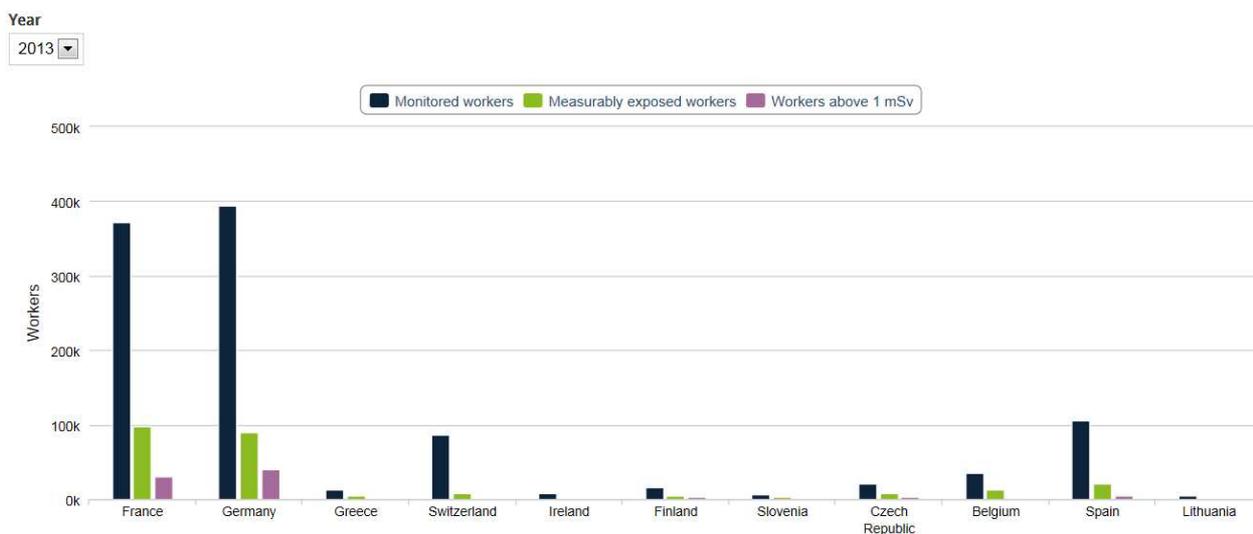


Figure 35 - Exemple de graphe présenté sur le site internet de la plateforme ESOREX

# CHIFFRES CLEFS DE LA SURVEILLANCE DES EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

## Bilan de l'année 2014

### Bilan de la surveillance de l'exposition externe par dosimétrie passive (hors radioactivité naturelle)

- Effectif total suivi : 359 646 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 56,28 homme.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'ensemble des travailleurs suivis : 0,16 mSv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'ensemble des travailleurs suivis ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement : 0,74 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 1 mSv : 13 072 travailleurs (soit 3,6% de l'effectif total suivi par dosimétrie passive)
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 20 mSv : 9 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle aux extrémités > 500 mSv : 1 travailleur

### Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'exams de routine réalisés : 306 220 exams (dont moins de 1% considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 553 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée > 1 mSv : 5 travailleurs

### Bilan de la surveillance de l'exposition au rayonnement cosmique (aviation civile)

- Dose collective pour 18 110 personnels navigants : 32,6 homme.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne : 1,8 mSv

## Evolution sur les 5 dernières années (hors radioactivité naturelle) (dosimétrie externe passive corps entier)

	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose moyenne sur l'effectif total (mSv)	Dose moyenne sur l'effectif exposé (mSv)	Part de l'effectif ayant un dose $\geq$ 1mSv	Effectif ayant une dose $\geq$ 20mSv
2010	330 618	62,40	0,19	0,82	4,2%	8
2011	343 998	64,20	0,19	0,88	4,1%	8
2012	354 665	62,35	0,18	0,86	3,9%	14
2013	352 082	68,47 (*)	0,19 (*)	0,88 (*)	3,9%	9
2014	359 646	56,28	0,16	0,74	3,6%	9 (**)

(\*) En excluant le cas de dépassement exceptionnel rencontré en 2013, ces chiffres sont de : 61,01 homme.Sv / 0,17 mSv / 0,79 mSv

(\*\*) Au 07/04/2015

## 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'activités 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) ainsi que des travailleurs de la défense et de ceux exposés à des sources naturelles de rayonnement ionisants sur leur lieu de travail.

Les chiffres clefs pour l'année 2014 sont résumés ci-contre. La méthode d'établissement des statistiques nationales de l'exposition des travailleurs étant stabilisée depuis plusieurs années, il est possible d'observer les tendances de façon fiable. Globalement, on retient sur la période 2010-2014 une légère progression du nombre de travailleurs suivis, qui semble toutefois se stabiliser sur les 3 dernières années (+3%, -0,7% puis +2%).

La dose collective enregistrée en 2014 est en baisse par rapport à celle des quatre années précédentes. Notons que la valeur indiquée pour 2013 (68,47 Sv) tient compte d'un cas exceptionnel de dépassement de la limite réglementaire de dose, à savoir plus de 7 Sv enregistré dans le domaine médical. Sans tenir compte de cette valeur, une diminution de 8% de la dose collective est tout de même enregistrée entre 2013 et 2014, concernant principalement les domaines du nucléaire et de l'industrie non nucléaire.

La part de l'effectif ayant enregistré une dose annuelle supérieure à 1 mSv (limite annuelle réglementaire pour le public) a également tendance à diminuer ; elle représente 3,6% de l'effectif total en 2014. Dans le même temps, le nombre des dépassements de la limite annuelle réglementaire (20 mSv pour les travailleurs exposés, toutes voies d'exposition confondues) fluctue, sans tendance marquée, entre 8 et 14, avec 9 cas en 2014.

L'analyse des résultats montre des différences suivant les domaines d'activité, notamment en termes de dose moyenne calculée sur l'effectif ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement. En 2014, comme sur les cinq dernières années, c'est dans l'industrie non nucléaire et dans le domaine nucléaire que les doses annuelles sont les plus élevées en moyenne, soit respectivement 1,45 mSv et 1,16 mSv. Dans les activités médicales et vétérinaires, ainsi que dans la recherche, la dose annuelle moyenne reste inférieure à 0,5 mSv (respectivement 0,38 mSv et 0,25 mSv).

Ces situations contrastées entre les différents secteurs d'activité ou catégories de travailleurs, restent à mieux caractériser pour identifier les situations où l'optimisation de la radioprotection doit tout particulièrement être renforcée. L'entrée en vigueur de l'arrêté du 17 juillet 2013 relatif à la carte individuelle de suivi médical et au suivi dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants fournit aujourd'hui le cadre réglementaire pour atteindre ce résultat. Les évolutions introduites sont en effet de nature à améliorer fortement la fiabilité et la complétude de l'information sur l'activité des travailleurs et permettre, dans les prochaines années, l'utilisation exclusive de SISERI pour établir le bilan annuel lorsque l'ensemble de ces informations aura effectivement été renseigné par les employeurs. Les statistiques nationales des expositions professionnelles s'en trouveront plus précises, que ce soit en termes d'activité, de métier ou de statut des travailleurs.

Au-delà de son ancrage réglementaire, ce bilan national peut désormais s'inscrire dans une perspective plus large : dans la mesure où les classes de dose selon lesquelles sont répartis les effectifs suivis correspondent à celles retenus aux niveaux international et européen, les statistiques établies pour l'année 2014 peuvent également être collectées pour l'UNSCEAR ou pour la plateforme ESOREX.

## REFERENCES

- [1] Norme ISO 20553 (juillet 2006). Surveillance professionnelle des travailleurs exposés à un risque de contamination interne par des matériaux radioactifs
- [2] Recommandations de bonne pratique. Surveillance médico-professionnelle de l'exposition interne aux radionucléides en installations nucléaires de base (juillet 2011). Société Française de Médecine du travail. <http://www.chu-rouen.fr/sfmt/pages/Recommandations.php>
- [3] Norme CEI 62387-1 (juillet 2007). Instrumentation pour la radioprotection, systèmes dosimétriques intégrés passifs pour la surveillance de l'environnement et de l'individu
- [4] Norme ISO 21909 (décembre 2005). Dosimètres individuel passifs pour les neutrons. Exigences de fonctionnement et d'essai
- [5] Norme ISO 12790-1 (mars 2002). Radioprotection, les critères de performance pour l'analyse radiotoxicologique
- [6] 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
- [7] 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
- [8] La radioprotection des travailleurs - Bilan 2004 - IRSN - Rapport DRPH/2005-09 du 15/11/05 - Alain RANNOU et Olivier COUASNON
- [9] 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
- [10] 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
- [11] 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
- [12] La radioprotection des travailleurs - Bilan 2008 de la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants en France - IRSN - DRPH/DIR/2009-16 du 02/10/09 - Juliette FEUARDENT, Roselyne AMEON, James BERNIERE, Isabelle CLAIRAND, Johnny DUMEAU, Gwenaëlle LORIOT, Nathalie PIRES, Jean-Luc REHEL, Pascale SCANFF, Antoine TALBOT, Maylis TELLE-LAMBERTON
- [13] La radioprotection des travailleurs - Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2009 - IRSN - DRPH/DIR/2010-14 du 09/09/10 - Juliette FEUARDENT, Roselyne AMEON, Ben-Mekki AYADI, Isabelle CLAIRAND, Sylvie DERREUMAUX, Gwenaëlle LORIOT, Baptiste LOUIS, Nathalie PIRES, Françoise RANCILLAC, Jean-Luc REHEL, Pascale SCANFF
- [14] La radioprotection des travailleurs - Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2010 - IRSN - DRPH/DIR/2011-19 du 23/09/11 - Juliette FEUARDENT, Roselyne AMEON, Ben-Mekki AYADI, Olivier CHABANIS, Cécile CHALLETON-DE VATAHAIRE, Isabelle CLAIRAND, Danièle CRESCINI, Gwenaëlle LORIOT, Jean-Luc REHEL, Pascale SCANFF

[15] La radioprotection des travailleurs - Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2011 - IRSN - PRP-HOM/2012-007 du 26/06/12 - Juliette FEUARDENT, Roselyne AMEON, Ben-Mekki AYADI, David CELLIER, Cécile CHALLETON-DE VATAHAIRE, Isabelle CLAIRAND, Danièle CRESCINI, Sylvie DERREUMAUX, Gwenaëlle LORIOT, Pascale SCANFF

[16] La radioprotection des travailleurs - Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2012 - IRSN - PRP-HOM/2013-008 du 03/07/13 - Juliette FEUARDENT, Ben-Mekki AYADI, Charlotte CAZALA, Isabelle CLAIRAND, Sylvie DERREUMAUX, Jérôme GUILLEVIC, Nora HOCINE, Jean-Luc REHEL, Pascale SCANFF

[17] La radioprotection des travailleurs - Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2013 - IRSN - PRP-HOM/2014-007 du 07/07/14 - Bruno CESSAC, Juliette FEUARDENT, Ben-Mekki AYADI, Isabelle CLAIRAND, Sylvie DERREUMAUX, Nora HOCINE, Laurent MARIE, Jean-Luc REHEL, Hervé ROY, Pascale SCANFF

[18] Norme ISO 14146 (juin 2000). Critères et limites d'habilitation pour l'évaluation périodique des exploitants de dosimètres individuels pour les rayons X et gamma

*Annexe : Nomenclature des secteurs d'activité*

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

1308020	<i>Maintenance</i>
1309000	Autres
<b>Sources naturelles</b>	
1401000	Aviation
1402000	Mines et traitement des minerais
1403000	Manipulation et stockage de matières premières contenant des éléments des familles naturelles du thorium et de l'uranium
1404000	Activités s'exerçant dans un lieu entraînant une exposition professionnelle au radon et à ses descendants
1404010	<i>Sources thermales et établissements thermaux</i>
1404020	<i>Captage et traitement des eaux</i>
1404030	<i>Autres</i>
1405000	Industries du gaz, du pétrole et du charbon
1406000	Autres
<b>Nucléaire</b>	
1501000	Propulsion nucléaire
1501010	<i>Equipage</i>
1501020	<i>Maintenance à terre</i>
1501030	<i>Intervention et préparation à l'intervention</i>
1502000	Armement
1502010	<i>Maintenance des installations</i>
1502020	<i>Transport</i>
1502030	<i>Intervention et préparation à l'intervention</i>
1503000	Extraction et traitement du minerai d'uranium
1504000	Enrichissement et conversion
1505000	Fabrication du combustible
1506000	Réacteurs de production d'énergie
1507000	Retraitement
1508000	Démantèlement des installations nucléaires
1509000	Effluents, déchets et matériaux récupérables (y compris ne provenant pas du cycle)
1509010	<i>Traitement des effluents</i>
1509020	<i>Traitement et conditionnement des déchets</i>
1509030	<i>Entreposage</i>
1509040	<i>Stockage</i>
1510000	Logistique et maintenance du Nucléaire (Prestataires)
1510010	<i>Logistique</i>
1510011	Logistique dont le personnel est attaché aux sites
1510012	Logistique dont le personnel est itinérant
1510020	<i>Maintenance</i>
1510021	Maintenance dont le personnel est attaché aux sites
1510022	Maintenance dont le personnel est itinérant
1511000	Installations de recherche liées au Nucléaire
1512000	Autres
<b>Autres</b>	
1601000	Recherche (autre que nucléaire et médical) et Enseignement
1601010	<i>Centre d'enseignement et formation</i>
1601020	<i>Etablissements de recherche (autre que nucléaire et médical)</i>
1602000	Situations de crise (pompiers, protection civile...)
1603000	Organismes d'inspection et de contrôle
1603010	<i>Organismes d'inspection et de contrôle publics</i>
1603020	<i>Organismes de contrôle privés</i>
1604000	Activités à l'étranger
1605000	Activités sécurité-radioprotection-environnement

