

**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 2013

PRP-HOM/2014-007

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 2013 dans le cadre des activités soumises à autorisation ou à déclaration est en légère diminution par rapport à 2012, avec 352 082 travailleurs, alors que les années précédentes avaient été marquées par une augmentation régulière du nombre de travailleurs suivis. Parallèlement, la dose collective<sup>1</sup> mesurée par dosimétrie externe passive connaît une très légère baisse en 2013. Cette évolution est cependant masquée par un cas exceptionnel de dépassement individuel de la limite réglementaire de dose atteignant plus de 7 Sv et dont la contribution représente à lui seul 11% de la dose collective totale. La dose individuelle moyenne sur l'ensemble de l'effectif suivi subit de fait une augmentation de 0,18 mSv en 2012 à 0,19 mSv en 2013). Parmi les 13 892 travailleurs ayant reçu plus de 1 mSv (limite annuelle réglementaire fixée pour la population générale), 1 894 travailleurs ont reçu une dose supérieure à 6 mSv<sup>2</sup>, nombre en hausse par rapport à l'année précédente. Une dose externe annuelle supérieure à 20 mSv (limite réglementaire de la dose efficace fixée pour les travailleurs) a été enregistrée pour 9 travailleurs.

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 0,6 mSv. Les travailleurs du nucléaire et de l'industrie non nucléaire, représentant ensemble 29% des effectifs suivis, reçoivent les doses individuelles moyennes les plus élevées (respectivement 1,27 et 1,62 mSv).

Pour ce qui concerne le suivi de l'exposition interne, 354 878 examens ont été réalisés en 2013. Ce nombre d'examens est en augmentation, comme en 2012. La répartition entre les différents types d'examen (42% d'analyses radiotoxicologiques des excréta et 58% d'anthroporadiométries) est comparable à celle observée en 2012. Le nombre de cas avérés de contamination interne reste faible : en 2013, 18 travailleurs ont eu une dose efficace engagée<sup>4</sup> supérieure à 1 mSv, avec une dose engagée maximale égale à 9 mSv.

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 de 18 979 travailleurs de 2 compagnies aériennes. La dose individuelle moyenne de cette population est stable (1,9 mSv comme en 2012) et la dose individuelle maximale s'élève à 4,5 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> Conformément au code du travail, les travailleurs exposés à plus de 6 mSv/an sont classés en catégorie A, ceux exposés à moins de 6 mSv/an en catégorie B.

<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**

The annual statistics of occupational exposure to ionising radiation includes all civilian or military activities under authorisation or declaration (i.e. medical and veterinary activities, nuclear industry, defence, non-nuclear industry and research), as well as activities concerned by the enhanced exposure to natural radiation.

The number of workers monitored in activities under authorisation or declaration has slightly decreased compared to 2012, with to 352 082 workers in the year 2013 whereas the previous years had been marked by a steady increase in the number of monitored workers. In the same time, the collective dose of workers monitored with passive dosimetry has slightly decreased in 2013. This evolution is however masked by an exceeding of more than 7 Sv of the regulatory limit of dose, which contribution to the total collective dose is almost 11%. The average annual individual dose also slightly increased to 0.19 mSv. Among the 13 892 workers who received more than 1 mSv (legal dose limit for the public), 1 894 workers received more than 6 mSv, which is a little more compared to 2012. Nine workers received more than 20 mSv (dose limit for the workers in the French regulation). Important differences are observed between the occupational activities: in the medical and veterinary field (63% of the monitored workers) and in the research field (4% of the monitored workers) the average doses<sup>5</sup> are less than 0.6 mSv; the average doses in the nuclear field and in the non-nuclear industry (representing together 29% of the monitored workers) are higher, respectively 1.27 and 1.62 mSv.

Concerning the monitoring of internal dosimetry, 354 878 examinations have been performed in 2013. The distribution between the different types of examination (42% of radiotoxicological analysis of excreta and 58% of body countings) is nearly the same than in the year 2012. In 2013, 18 workers had a committed effective dose higher or equal to 1 mSv, the maximum dose being of 9 mSv.

The annual statistics also consider the results of aircrew dosimetry: in 2013, 18 979 aircrew members of 2 civilian airline companies received an averaged dose of 1.9 mSv, the maximum individual dose being equal to 4.5 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 superior to the dosimeters recording 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 24</li> <li>- Centralisation des résultats de la surveillance individuelle dans SISERI p 25</li> <li>• MOYENS ET ACTIONS DE L'IRSN p 28</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 86</li> <li>• DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE P 88</li> <li>• SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION 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 90</li> <li>• BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES P 94</li> <li>• DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE P 95</li> <li>• SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION P 95</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 62</li> <li>• DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE P 63</li> <li>• SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION P 64</li> <li>• OPTIMISATION DE LA RADIOPROTECTION EN RADIOTHERAPIE P 65</li> </ul>	<p><b>EXPOSITION A LA RADIOACTIVITE NATURELLE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE P 98</li> <li>• EXPOSITION AUX MATERIAUX NORM OU AU RADON D'ORIGINE GEOLOGIQUE P 99</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 74</li> <li>• DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE P 79</li> <li>• SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION P 79</li> </ul>	<p><b>ENJEUX ACTUELS EN RADIOPROTECTION</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• LES NOUVELLES NORMES DE BASE EUROPEENNES RELATIVES A LA PROTECTION SANITAIRE CONTRE LES DANGERS DES RAYONNEMENTS IONISANTS p 103</li> <li>• RECHERCHES ET RECOMMANDATIONS DE RADIOPROTECTION EN MATIERE D'EXPOSITION DU CRISTALLIN P 104</li> <li>• UNE NECESSAIRE EVOLUTION DU SYSTEME D'INFORMATION SISERI p 106</li> </ul> <p>CHIFFRES CLEFS p 108</p> <p>CONCLUSIONS p 109</p> <p>REFERENCES p 112</p> <p>ANNEXE p 114</p>

# TABLE DES ILLUSTRATIONS

## TABLEAUX

Tableau 1 - Valeurs limites d'exposition	p 12
Tableau 2 - Panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2013	p 16
Tableau 3 - Limites de détection des principales techniques de dosimétrie interne mises en œuvre en France en 2013	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 2013	p 48
Tableau 6 - Exposition interne : surveillance spéciale dans les différents domaines d'activité en 2013	p 49
Tableau 7 - Dépassements des limites annuelles réglementaires de doses : bilan 2013	p 51
Tableau 8 - Evolution des événements concernant des travailleurs sur la période 2004 - 2013	p 54
Tableau 9 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine des activités médicales et vétérinaires	p 58
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 médical et vétérinaire	p 63
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 70
Tableau 14 - Secteur d'activité de rattachement des établissements intervenant dans le domaine nucléaire (exposition interne)	p 74
Tableau 15 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine nucléaire	p 75
Tableau 16 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de selles dans le domaine nucléaire	p 76
Tableau 17 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de prélèvements nasaux dans le domaine nucléaire	p 77
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 80
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 87
Tableau 24 - Examens réalisés à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale) dans l'industrie non nucléaire	p 87
Tableau 25 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans l'industrie non nucléaire	p 88
Tableau 26 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine de la recherche et de l'enseignement	p 91
Tableau 27 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine de la recherche et de l'enseignement	p 94

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 95
Tableau 29- Répartition des événements recensés dans le domaine de la recherche (recherche liée aux installations nucléaires) en fonction des critères de déclaration ASN	p 96
Tableau 30 - Bilan 2013 des doses individuelles annuelles des personnels navigants de l'aviation civile (compagnies Air France, Air Calédonie International)	p 98
Tableau 31 - Bilan 2013 des doses individuelles annuelles des personnels navigants de l'aviation militaire	p 98
Tableau 32 - Données concernant l'exposition externe aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium	p 102
Tableau 33 - Données concernant l'exposition interne aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium	p 102

## 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 - Le système SISERI	p 26
Figure 5 - Progression du nombre de personnes compétentes en radioprotection (PCR) et de médecins du travail (MDT) ayant accès à SISERI depuis sa mise en service	p 28
Figure 6 - Fantôme anthropomorphe IGOR	p 30
Figure 7 - Vues du laboratoire mobile d'anthroporadiométrie LMA	p 35
Figure 8 - Répartition des effectifs suivis par rapport au seuil d'enregistrement de la dose	p 43
Figure 9 - Répartition de l'effectif exposé en fonction de différentes classes de dose efficace corps entier	p 43
Figure 10 - Répartition de l'effectif exposé tous domaines confondus, pour des doses comprises entre le seuil d'enregistrement et 1 mSv	p 43
Figure 11 - Répartition des effectifs suivis et des doses collectives pour la dosimétrie des neutrons en 2013	p 44
Figure 12 - Evolution des effectifs suivis et de la dose collective (photons + neutrons), de 1996 à 2013	p 45
Figure 13- Evolution des effectifs suivis et des doses collectives « neutrons » de 2005 à 2013	p 45
Figure 14 - Répartition des effectifs suivis et des doses enregistrées aux extrémités en 2013	p 46
Figure 15 - Importance relative de la surveillance de l'exposition aux extrémités par dosimétrie par bague ou au poignet en 2013, 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 2013 (surveillance de routine)	p 49
Figure 17 - Evolution, de 2006 à 2013, du nombre de travailleurs ayant une dose engagée supérieure à 1 mSv	p 50
Figure 18 - Evolution, de 1996 à 2013, 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 2004-2013)	p 52
Figure 20 - Répartition des événements concernant des travailleurs selon leur domaine d'activité	p 53
Figure 21 - Répartition des effectifs suivis des principaux secteurs médicaux et vétérinaires, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose	p 59
Figure 22 - répartition de l'effectif exposé des principaux secteurs médicaux et vétérinaires, en fonction de différentes classes de dose efficace corps entier	p 59
Figure 23 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (période 1996-2013)	p 60
Figure 24 - Répartition des doses enregistrées pour la dosimétrie par bague en 2013 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires	p 61
Figure 25 - Répartition des effectifs suivis des principaux secteurs de l'industrie nucléaire, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose	p 71
Figure 26 - Répartition de l'effectif exposé des principaux secteurs de l'industrie nucléaire, en fonction de différentes classes de dose efficace corps entier	p 71
Figure 27 - Répartition des doses enregistrées en 2013 pour la dosimétrie neutron dans le nucléaire civil et militaire	p 72
Figure 28 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le nucléaire civil et militaire (période 1996-2013)	p 73
Figure 29 - Répartition des effectifs suivis des principaux secteurs de l'industrie non nucléaire, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose	p 84
Figure 30 - répartition de l'effectif exposé des principaux secteurs de l'industrie non nucléaire, en fonction de différentes classes de dose efficace corps entier	p 84
Figure 31 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans l'industrie non nucléaire (période 1996-2013)	p 85
Figure 32 - Répartition des effectifs suivis des secteurs de la recherche et de l'enseignement, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose	p 91
Figure 33 - Répartition de l'effectif exposé de la recherche et de l'enseignement, en fonction de différentes classes de dose externe (corps entier)	p 92
Figure 34 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le domaine de la recherche et de l'enseignement (période 1996-2013)	p 93
Figure 35 - Distribution des doses efficaces calculées par les industriels pour les travailleurs, toutes catégories d'activités professionnelles confondues (période 2005-2012)	p 100
Figure 36 - Principe de la démarche conduisant à définir les modalités de la surveillance dosimétrique du cristallin.	p 105



## 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

## PRINCIPALES ABREVIATIONS

AFNOR : Association française de normalisation  
 AP-HP : Assistance Publique - Hôpitaux de Paris  
 ASN : Autorité de Sûreté Nucléaire  
 CEA : Commissariat à l'Energie Atomique et aux énergies alternatives  
 CEI : Commission Electrotechnique Internationale  
 CIPR : Commission Internationale de Protection Radiologique  
 CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique  
 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  
 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 dosemeter  
 SIEVERT : Système Informatisé d'Evaluation par Vol de l'Exposition au Rayonnement cosmique dans les Transports aériens  
 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

# 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 2013, 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 2), 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 rayonnements cosmiques.

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 3/10èmes 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 Euratom 2013/59 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 récemment 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. Cet arrêté abroge l'arrêté du 30 décembre 2004 à compter du 1<sup>er</sup> juillet 2014, date d'entrée en vigueur de ce 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 ce gaz dans l'ambiance de travail révèlent une activité moyenne annuelle supérieure à 1 000 Bq/m<sup>3</sup> (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 sécurisés 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 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, pour ce qui concerne les doses de rayonnement cosmique reçues en vol par les personnels navigants, au moyen du système SIEVERT ou, dans certains cas pour les travailleurs exposés à la radioactivité naturelle ;

- 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

<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 32.

isotopes 222 et 220 du radon et/ou émetteurs  $\alpha$  à vie longue des chaînes de l'uranium et du thorium), la dose est déterminée à partir des mesures réalisées sur un dosimètre spécifique.

En application de l'article R. 4451-64 du code du travail (à l'exclusion des activités impliquant la radioactivité naturelle), 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 est venu actualiser la norme d'accréditation applicable aux laboratoires de biologie médicale. Il simplifie 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 2013, 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 sur le site internet SISERI :

[www.irsn.fr/SISERI/index.php?page=information/agrement](http://www.irsn.fr/SISERI/index.php?page=information/agrement)

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 2013. Les techniques utilisées en 2013 sont décrites ci-après.

neutrons moyennant l'utilisation de matériaux appropriés.

#### 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

#### 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 2013**

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 cette dernière n'est pas encore mise concrètement en œuvre, faute de dispositifs parfaitement adaptés.

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 seuil 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). Dans le domaine nucléaire, 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 2013, 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 9 : AREVA NC La Hague, CEA Cadarache, CEA DAM Ile-de-France, CEA DAM Valduc, CEA Grenoble, CEA Marcoule, CEA Saclay, EDF Saint-Denis et le Service de Protection Radiologique des Armées (SPRA). 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 radiotoxiques**

Seule la spectrométrie  $\alpha$  permet de réaliser une analyse isotopique de l'échantillon, à l'aide d'un détecteur composé d'une diode en silicium ou d'un compteur à gaz. Pour cela, l'échantillon d'excréta subit préalablement un traitement radiochimique comprenant la minéralisation de l'échantillon, une purification chimique (chromatographie de partage ou résine anionique) et une fabrication des sources en couche mince, indispensable pour minimiser l'atténuation énergétique des particules  $\alpha$  que l'on cherche à détecter. Certains laboratoires utilisent également des méthodes non radiométriques (techniques de mesures pondérales ou spectrométrie de masse pour la mesure de l'uranium notamment) qui sont des méthodes

### *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 anthropométriques et/ou radiotoxiques 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).

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 radiotoxiques 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  $f_1$  de 0 à 1 et diamètre aérodynamique médian en activité (DAMA) de 1 ou de 5  $\mu\text{m}$ . *In fine*, l'établissement d'un scénario de contamination le plus réaliste possible, tenant compte des différentes mesures de contamination mises en œuvre dans le programme de surveillance du travailleur exposé et des conditions dans lesquelles a eu lieu la contamination, peut permettre d'adapter 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 2013, 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 mesures ne font pas à l'heure actuelle l'objet de procédures standardisées entre les laboratoires, même si des initiatives sont en cours.

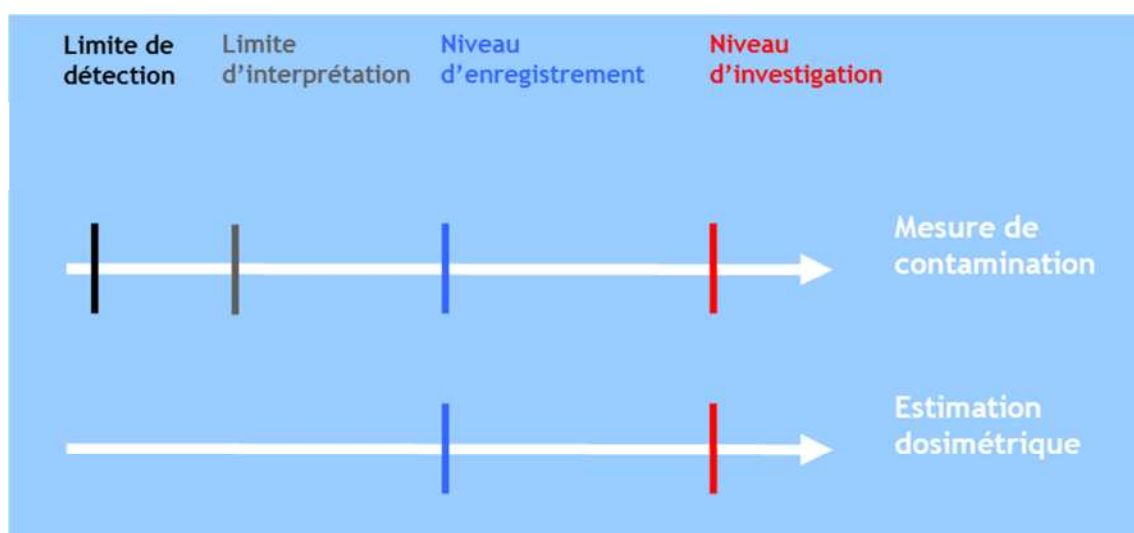


Figure 3 - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs

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'examens 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 LD (ou le cas échéant, la limite d'interprétation), 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 2013**

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) $^3\text{H}$ $^{14}\text{C}$	de 0,1 à 4 $\mu\text{g/L}$ de 0,0002 à 0,01 Bq de 0,0002 à 0,002 Bq
	$\beta$	$^{32}\text{P}$ $^{35}\text{S}$ $^{36}\text{Cl}$ $^{90}\text{Sr}$ $\beta$ totaux	de 15 à 1 850 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
	$\gamma/X$	tous radionucléides	de 0,12 Bq/L à 0,4 Bq/L 1 à 75 Bq/L
Anthroporadiométrie corps entier	$\gamma/X$	$^{137}\text{Cs}$ $^{60}\text{Co}$	de 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

En France, l'arrêté du 8 décembre 2003 fixant les modalités de mise en œuvre de la protection contre les rayonnements ionisants des travailleurs affectés à l'exécution de tâches à bord d'aéronefs en vol a été abrogé et les dispositions concernant la surveillance de l'exposition au rayonnement cosmique sont désormais définies dans l'arrêté du 17 juillet 2013 relatif à la carte de suivi médical et de suivi dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants. 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, conformément à la réglementation. Les doses sont évaluées en fonction des paramètres du vol. Un modèle est utilisé pour élaborer les cartographies de débits de dose de rayonnements cosmiques jusqu'à une altitude de 80 000 pieds.

L'IRSN propose aux compagnies une gestion automatisée reposant sur un fichier fournissant les

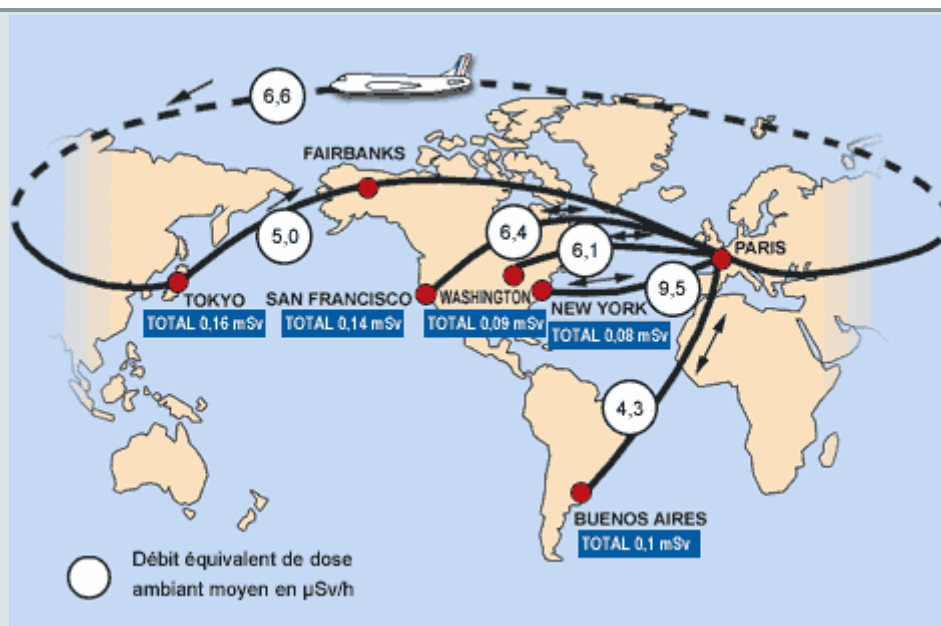
données des vols réalisés sur la période de suivi. A partir des caractéristiques d'un vol, le calculateur de SIEVERT évalue le temps passé par l'avion dans chaque maille et, en cumulant les doses élémentaires des mailles successives, en déduit la dose reçue au cours de ce vol. A ce stade, les données dosimétriques ne sont pas nominatives. Il appartient ensuite 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.

L'arrêté du 17 juillet 2013, qui sera applicable à partir du 1<sup>er</sup> juillet 2014, impose un changement dans ce dispositif. En particulier, dans le cadre de cette nouvelle réglementation, les doses individuelles ne seront plus attribuées aux personnels navigants par les compagnies aériennes. Dans ce contexte, l'IRSN fait évoluer le système SIEVERT vers une nouvelle application informatique qui aura pour nom SIEVERTPN. SIEVERTPN permettra, à partir des données de vol et de présence des personnels fournies par les compagnies, de calculer des doses individuelles pour chaque personnel navigant. Ces données dosimétriques seront ensuite transmises automatiquement au registre national de la dosimétrie des travailleurs SISERI.

### 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 ( $\mu\text{Sv/h}$ ). La dose totale est donnée pour un aller-retour en millisieverts (mSv). Pour le vol Paris-New York, la mesure est 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 trouvent 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.

## 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 19 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.

## CENTRALISATION DES RESULTATS DE 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.

Depuis fin 2010, SISERI est 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 INDIVIDUELLE DES

- 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, transmis par les compagnies aériennes ;

- 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 ».

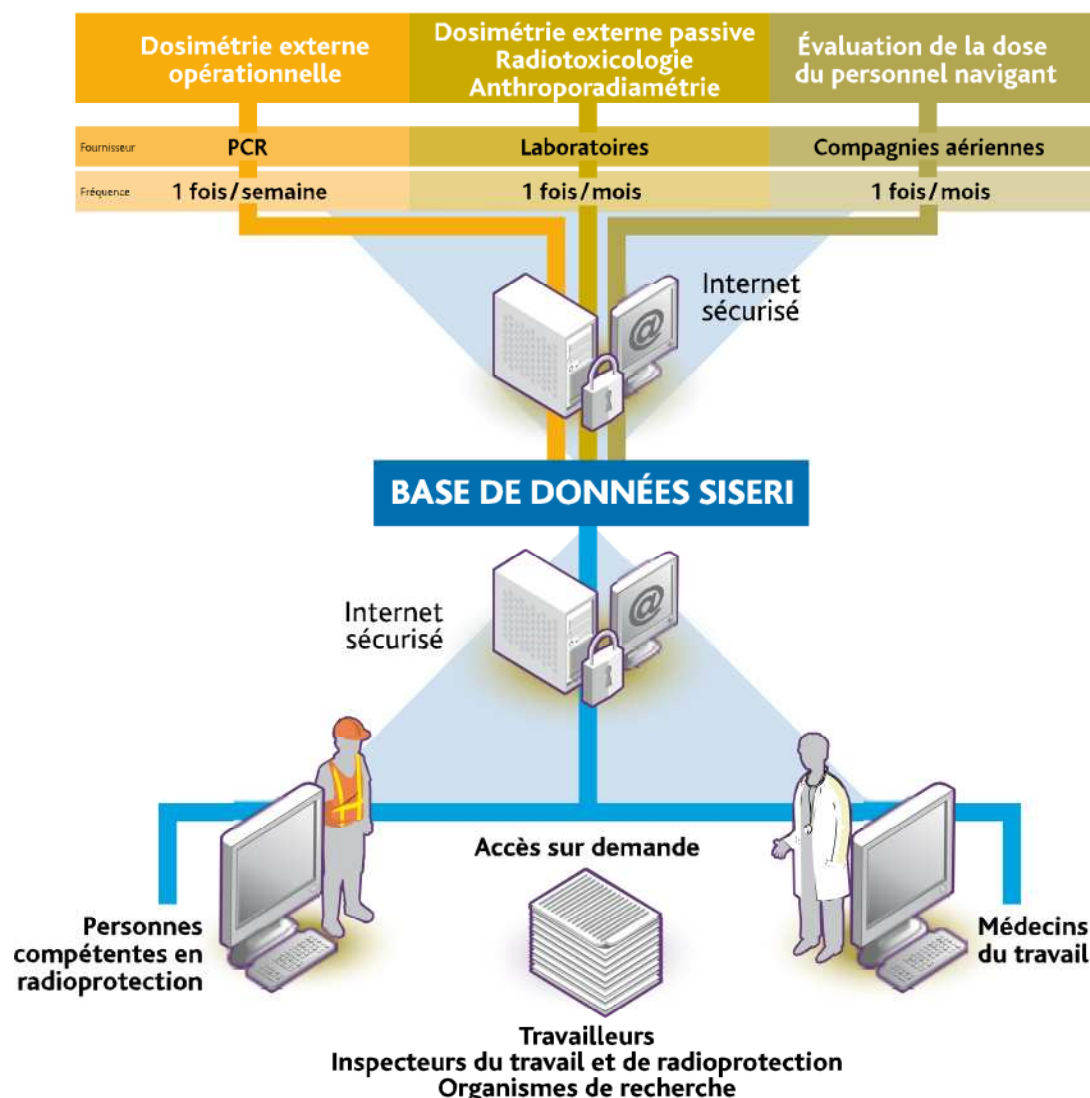


Figure 4 - Le système SISERI

### La transmission des données à SISERI en 2013

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 2013, les constats suivants ont pu être faits pour chaque type de données.

#### Dosimétrie externe passive

Les délais de transmission des données par les organismes agréés et le laboratoire de dosimétrie de l'IRSN (réglementairement fixés à un mois après la fin de la période de port selon l'arrêté du 30 décembre 2004) ont été globalement respectés même si quelques retards ont pu être observés ponctuellement. La qualité des données transmises a été équivalente à celle observée en 2012 : 94 % 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 6 % de données demandant un

traitement par des opérateurs de l'IRSN ont été intégrées dans les jours suivant leur réception dans SISERI. Le nombre de résultats de dosimétrie passive (corps entier, peau et extrémités) enregistrés pour l'année 2013 s'élève à 4,4 millions.

### 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. Les résultats de près de 65 000 examens ont été enregistrés dans SISERI pour l'année 2013. 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 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 2013, environ 7 000 résultats ont été envoyés par le laboratoire agréé pour ce type de surveillance.

#### Dosimétrie des personnels navigants

En 2013, deux compagnies aériennes ont envoyé les résultats de la dosimétrie des personnels

navigants à l'IRSN pour intégration dans SISERI, ce qui correspond à plus de 190 000 valeurs.

#### Dosimétrie externe opérationnelle

Le nombre d'établissements ayant signé un protocole avec SISERI pour donner accès à leur(s) PCR et/ou MDT s'élevait à 10 744 fin 2013, soit une augmentation de l'ordre de 20% par rapport au nombre de protocoles signés fin 2012. Sur l'ensemble de l'année 2013, parmi les établissements ayant effectivement transmis au moins une donnée de dosimétrie opérationnelle, 70% appartiennent au domaine des activités médicales et vétérinaires, 11% à l'industrie non nucléaire, 5% à celui de l'industrie nucléaire et 2% au domaine de la recherche. Le nombre moyen de fichiers reçus s'élève à près de 2 800 par mois. 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. Détectées 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 13,5 millions de valeurs de dose « opérationnelle » ont été enregistrées dans SISERI en 2013. Parmi ces données, 45% proviennent des entreprises du nucléaire, 37% du domaine médical et vétérinaire, 8% de l'industrie non nucléaire et 2% du domaine de la recherche.

### *La consultation des données de SISERI en 2013*

Seules 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 (figure 5). A la fin de l'année 2013, 3 250 MDT et 6 218 PCR

avaient accès à SISERI, soit une augmentation par rapport à 2012 respectivement de 10% et de 11%. Les PCR pouvant accéder à SISERI se répartissaient entre le domaine médical pour 58%, le nucléaire pour 15%, l'industrie non nucléaire pour 14% et la recherche pour 4%. Cette répartition confirme la part majoritaire du domaine médical, dont la progression avait été observée les années précédentes.

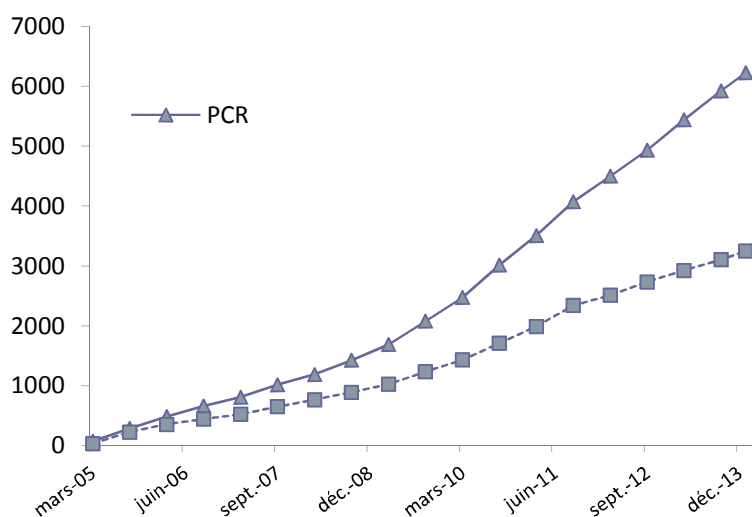


Figure 5 - Progression du nombre de personnes compétentes en radioprotection (PCR) et de médecins du travail (MDT) ayant accès à SISERI depuis sa mise en service

### Evolutions de SISERI

En 2013, le système SISERI est depuis 3 ans dans un état de fonctionnement « de croisière » au regard des obligations de centralisation, de consolidation et de conservation des données dosimétriques. Néanmoins, dès 2009, l'IRSN ayant alerté les autorités sur les difficultés rencontrées dans la gestion du système et sur ses lacunes concernant les informations nécessaires pour son exploitation à des fins statistiques, ces différents points ont été abordés au travers de 3 actions importantes :

- l'établissement d'une nomenclature des activités et des métiers partagée au niveau national par tous les acteurs de la surveillance dosimétrique des travailleurs,
- la révision de l'arrêté du 30 décembre 2004
- une réflexion nationale sur les évolutions souhaitables de SISERI à moyen et long terme, dans la perspective des évolutions réglementaires nationales et internationales.

La publication de l'arrêté du 17 juillet 2013 (cf. p 13), abrogeant l'arrêté du 30 décembre 2004 et applicable au 1<sup>er</sup> juillet 2014, a entraîné un important chantier afin de développer les nouvelles fonctionnalités de SISERI pour accompagner cette évolution de la réglementation. L'une des nouvelles grandes fonctionnalités de SISERI consiste en l'ouverture d'un accès sécurisé, dédié au renseignement par l'employeur des informations relatives à chacun de ses travailleurs exposés aux rayonnements ionisants. Les données du registre national seront ainsi complétées

d'informations relatives au secteur d'activité, au métier et au statut d'emploi des travailleurs qui permettront d'établir des bilans statistiques plus précis et plus fiables. Le nouvel arrêté stipule que l'employeur sera désormais tenu de renseigner dans SISERI ces informations, préalablement à la mise en place du suivi dosimétrique pour chaque travailleur.

De nouvelles fonctionnalités ont également été développées afin de fluidifier les échanges d'informations avec les différents acteurs. Le renforcement du caractère opérationnel de SISERI vise à mettre à disposition des médecins du travail et des personnes compétentes en radioprotection, le plus rapidement possible, les résultats des mesures de la surveillance de l'exposition des travailleurs dont ils ont la charge. Pour cela, les délais de transmission des informations à SISERI sont réduits et les échanges avec SISERI sont fluidifiés grâce à leur dématérialisation. En outre, le médecin du travail dispose désormais dans SISERI d'un module de gestion de la carte de suivi médical.

Enfin, parallèlement aux nouvelles fonctionnalités de SISERI, l'IRSN a développé pour les employeurs une nouvelle application permettant d'effectuer par internet les demandes d'accès sécurisé à SISERI.

Ces nouvelles fonctionnalités ont été ouvertes aux utilisateurs en mars 2014.

## 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 2013, l'IRSN a rendu des avis sur l'adéquation des matériels et méthodes avec la surveillance individuelle des travailleurs pour le compte de 4 laboratoires de dosimétrie externe, 2 laboratoires de biologie médicale et 1 service de santé au travail. Un de ces organismes a été agréé par décision de l'ASN pour la première fois, et les

autres, qui étaient déjà agréés depuis plusieurs années, ont vu leur agrément renouvelé par décision de l'ASN.

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, l'IRSN organise au moins tous les 3 ans une intercomparaison dans le but de vérifier la qualité des mesures de dose réalisées par les organismes agréés. Dans ce contexte, l'IRSN a organisé la cinquième intercomparaison réglementaire de dosimètres individuels passifs, qui s'est déroulée entre la fin de l'année 2012 et le début de l'année 2013. Elle a concerné 9 laboratoires. L'intercomparaison consiste à irradier les dosimètres des laboratoires participant à des doses de référence, inconnues de ces derniers, et à en comparer les résultats obtenus aux valeurs attendues. Grâce aux installations de référence de

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

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

- la norme CEI 62387-1 [3] : de - 29% à +67% de la dose de référence pour les dosimètres photon et bêta (poitrine et extrémités) ;

- la norme ISO 21909 [4] :  $\pm 50\%$  pour les dosimètres neutrons (poitrine et extrémités).

A de rares exceptions près, les dosimètres testés ont donné des résultats conformes aux exigences de ces normes. Les seules difficultés rencontrées

concernaient la mesure des neutrons d'énergie de 144 keV, c'est-à-dire pour une zone de la gamme d'énergie réputée critique en termes de dépendance de la réponse en fonction de l'énergie.

### 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 2013, cette intercomparaison a concerné 11 laboratoires et les radionucléides mesurés étaient les suivants : H-3, C-14, Th-228-230, U-234-235-238, Pu-238-239, Am-241, Cm-244 et U 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 corps entier auprès de 10 SST des CNPE d'EDF, entre janvier et avril 2013. Cette intercomparaison a concerné 44 installations.

Les mesures ont été réalisées à l'aide du fantôme anthropomorphe « IGOR » (figure 6). Pour cette intercomparaison, trois morphologies ont été utilisées : 50, 70 et 90 kg (la participation à l'intercomparaison est obligatoire pour la morphologie 70 kg tandis qu'elle a été laissée au libre choix des participants pour les deux autres morphologies). Les radionucléides à mesurer étaient les Co-57, Co-60, Ba-133 et Cs-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%. Il ressort des résultats que pour le Ba-133, le Cs-137 et le Co-60 toutes les installations sont conformes aux critères de performance définis par la norme, sur toutes les morphologies proposées. Il apparaît cependant une tendance à la surestimation pour la morphologie 50 kg. L'ensemble des installations ont par ailleurs détecté le Co-57, mais seules deux installations l'ont quantifié pour la morphologie 70 kg. Leurs résultats n'étaient par ailleurs pas conformes aux

critères de performance de la norme. Ce résultat peut être expliqué par le fait que ce radionucléide n'appartient pas au domaine d'analyse de ces laboratoires et que l'étalonnage en efficacité n'est donc pas réalisé pour des énergies inférieures à 300 keV.

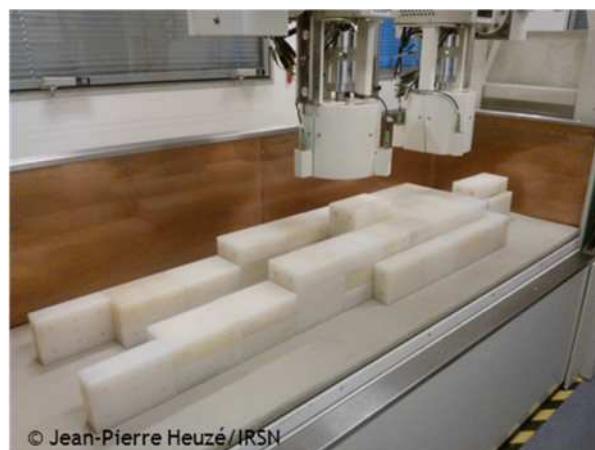


Figure 6 - Fantôme anthropomorphe IGOR

L'IRSN a également lancé une nouvelle campagne d'intercomparaison concernant des mesures anthroporadiométriques pulmonaires.

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

## SUIVI DES INCIDENTS ET EVENEMENTS DE RADIOPROTECTION

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

De par sa position d'expert technique dans le domaine de la radioprotection et au regard de sa mission de participation à la veille permanente en radioprotection, l'IRSN collecte et analyse les données concernant les événements et incidents de radioprotection. Leur survenue témoigne en effet du niveau de qualité de la radioprotection dans les différents secteurs utilisant les rayonnements ionisants, en complément d'autres indicateurs tels que les doses individuelles moyennes reçues par les travailleurs, les doses collectives, etc. La connaissance des incidents et l'analyse des circonstances les ayant engendrés sont indispensables pour constituer un retour d'expérience et élaborer des recommandations visant à améliorer la protection des travailleurs.

Les événements de radioprotection recensés par l'IRSN 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 recensés 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. 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*. L'estimation des doses efficaces engagées est réalisée à l'aide des modèles biocinétiques et dosimétriques publiés par la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR). Les coefficients de dose efficace engagée utilisés sont ceux figurant dans la réglementation française (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).

Pour l'année 2013, l'IRSN a réalisé des estimations dosimétriques pour des contaminations internes

concernant 18 travailleurs. Les contaminations ont le plus souvent eu lieu dans des services de médecine nucléaire (9 travailleurs) mais également dans des laboratoires de reconditionnement de biens contenant des sources de radio-isotopes, tels que les détecteurs de fumées, ou des sociétés manipulant des déchets ou des effluents tritiés (9 travailleurs).

Les radionucléides à l'origine des 9 contaminations incidentelles dans les services de médecine nucléaire étaient l'iode 131 (7 cas), le technétium 99m (1 cas) et le thallium 201. Les contaminations étaient essentiellement liées à des incidents lors de la préparation ou de la manipulation des radiopharmaceutiques. Dans deux cas impliquant de l'iode 131, les incorporations étaient consécutives à des fuites d'eau contaminée. Dans un cas, la contamination a été mise en évidence sur des radiotoxicologies de contrôle, sans notion d'incident. Les doses efficaces engagées évaluées étaient extrêmement faibles pour les contaminations par le technétium 99m et le thallium 201 et au maximum de 1,4 mSv pour les contaminations par l'iode 131.

Parmi les 9 cas de contamination par du tritium et par de l'américium 241, huit étaient dus à des interventions de contrôle ou de tri sur du matériel contenant ces radioéléments. Les doses efficaces

engagées évaluées après contamination étaient faibles, et au maximum de 2,8 mSv pour les contaminations par l'américium 241 (5 cas).

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

Des valeurs limites d'exposition sont réglementairement fixées par le code du travail (§ 2.1). 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 30 décembre 2004, relatif à la carte individuelle de suivi médical et aux informations individuelles de dosimétrie des travailleurs exposés, le médecin du travail diligente une enquête en cas de résultat dosimétrique jugé anormal et donc a fortiori en situation de dépassement de limite réglementaire de dose. Cette enquête doit conduire in fine à la confirmation ou, au contraire, à une modification, voire une annulation de la dose attribuée au travailleur.

Afin que 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, la dose mesurée est conservée dans SISERI et le dépassement est considéré comme avéré.

Les dépassements de la limite réglementaire annuelle de dose associés au cumul des valeurs de doses sur les douze mois (doses éventuellement mesurées par plusieurs laboratoires lorsque le travailleur a plusieurs employeurs) sont détectés à partir de 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/base\\_de\\_connaissances/librairie/publications\\_professionnels/Pages/guides\\_techaniques.aspx](http://www.irsn.fr/FR/base_de_connaissances/librairie/publications_professionnels/Pages/guides_techaniques.aspx)

## 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.

Depuis 2013, 9 nouvelles fiches ont été publiées (Radium 226, Thorium 232, Gallium 67, Indium 111, Chrome 51, Phosphore 33, Thallium 201, Fluor 18 et Yttrium 90). 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>

## GUIDE D'AIDE A LA MISE EN ŒUVRE DE LA NOUVELLE NORME NF C 15-160

L'arrêté du 22 août 2013<sup>(7)</sup>, entré en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 2014, a rendu la nouvelle norme NF C 15-160 d'application obligatoire en abrogeant l'arrêté du 30 août 1991 déterminant les conditions d'installation auxquelles doivent satisfaire les générateurs électriques de rayon X.

La norme NF C 15-160, parue en novembre 1975, définit les règles générales de conception et d'exploitation relatives aux installations pour la production et l'utilisation de rayons X permettant d'assurer à tout moment la sécurité des personnes contre les risques résultant de l'action des rayons X. La révision de cette norme a été initiée par

l'Union Technique de l'Electricité (UTE<sup>8</sup>) compte tenu :

- du changement des grandeurs dosimétriques et des unités associées,
- de l'évolution des technologies et de leurs applications, des pratiques, ainsi que des modifications de la réglementation relative à la radioprotection (abaissement des limites réglementaires et publication de l'arrêté « Zonage » du 15 mai 2006).

La nouvelle version de cette norme propose un texte centré sur une méthode de calcul des protections qui s'apparente à celle déjà utilisée dans d'autres pays tels que l'Allemagne, l'Autriche, le Canada, l'Espagne, la Grande Bretagne ou les USA. Cette méthode de calcul vise à déterminer la protection nécessaire en un point

<sup>7</sup> Arrêté du 22 août 2013 portant homologation de la décision n°2013-DC-0349 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 4 juin 2013 fixant les règles techniques minimales de conception auxquelles doivent répondre les installations dans lesquelles sont présents des rayonnements X produits par des appareils fonctionnant sous une haute tension inférieure ou égale à 600 kV et abrogation de l'arrêté du 30 août 1991 déterminant les conditions d'installation auxquelles doivent satisfaire les générateurs électriques de rayon X

<sup>8</sup> L'UTE est l'organisme français de normalisation électrotechnique.

donné, compte tenu des caractéristiques de la source, de son utilisation, et du niveau d'exposition imposé par la réglementation en vigueur.

Cette nouvelle version remplace les normes homologuées suivantes :

- NF C 15-160 de novembre 1975 et son amendement A1 datant de septembre 1984,
- NF C 15-161 de décembre 1990,
- NF C 15-162 de novembre 1977,
- NF C 15-163 de décembre 1981 et son amendement A1 datant d'avril 2002,
- NF C 15-164 de novembre 1976.

Désormais, une seule norme unifie les exigences générales d'installation des équipements radiogènes de tous les domaines. Cette nouvelle norme couvre tous les types d'installations (médical, dentaire, vétérinaire, industriel ou scientifique) utilisant les rayonnements d'appareils fonctionnant sous une haute tension inférieure à 600 kV.

Bien que cette nouvelle norme soit déjà utilisée par de nombreux exploitants et des bureaux d'ingénierie, il n'en demeure pas moins qu'elle suscite encore des interrogations en particulier sur les définitions de certains paramètres liés à la méthode de calcul. Dans le cadre de ses missions de veille et de formation en matière de radioprotection, l'IRSN a donc réalisé un guide pratique permettant aux utilisateurs de cette nouvelle norme de mieux appréhender la méthode

de calcul proposée. Elaboré sur la base de son retour d'expérience et de celui de nombreux utilisateurs de la nouvelle version de la norme, ce guide n'a pas pour finalité de proposer une « méthode simplifiée » comparable à celle des anciennes normes, mais vise à illustrer et à consolider les résultats obtenus à travers des situations concrètes.

Ce guide s'articule autour de quatre chapitres : le premier constitue un rappel de définitions et de généralités relatives aux différentes composantes de l'exposition et des termes utilisés dans les formules. Dans le second chapitre, des précisions sont apportées sur la nouvelle norme. Le troisième chapitre, établi à partir du recueil du retour d'expérience d'utilisateurs de la nouvelle norme dans différents sites, traite des interrogations de ces utilisateurs (détermination du débit d'équivalent de dose maximal hebdomadaire, choix du type de rayonnement,...) et propose des éléments de réponse applicables à la plupart des cas. Enfin, le quatrième chapitre est organisé en une série de fiches, chacune consacrée à un secteur d'activité particulier et aux dispositifs associés et illustrée d'exemples issus de situations concrètes limitées, dans un premier temps, au secteur du radiodiagnostic médical et dentaire.

De nouvelles fiches pourront, par la suite, être ajoutées en fonction des besoins. Ce guide devrait être publié dans le courant de l'année 2014.

## ASSISTANCE AUX PROFESSIONNELS 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 mettre en œuvre 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 d'un risque de contamination au travers d'examens anthroporadiométriques ou d'analyses radiotoxicologiques des excréta (analyses urinaires, fécales,...). Elle peut également aller

jusqu'à la réalisation, le cas échéant, d'une estimation des doses efficaces engagées afin de s'assurer du respect des limites réglementaires, notamment lorsque cela est possible, à partir des mesures individuelles de surveillance de l'exposition interne.

En 2013, l'IRSN est intervenu, entre autres, sur les cas suivants :

Au cours de l'été 2013, la fuite d'une canalisation provenant de sanitaires des chambres d'hospitalisation recueillant les urines des patients traités à l'iode 131 a entraîné la dispersion

d'effluents radioactifs dans des locaux de l'étage inférieur d'un service de médecine nucléaire. Près de 250 analyses radiotoxicologiques d'urines ont été réalisées par l'Institut pour des travailleurs susceptibles d'avoir été au contact des effluents contaminés. Trois prélèvements ont mis en évidence une contamination à l'iode 131 concernant deux travailleurs, dont une femme enceinte. Ces analyses ont été suivies de trois évaluations de la dose efficace engagée (dont une pour l'enfant à naître) chacune inférieure à 1 mSv.

L'intervention de personnel lors d'opérations de contrôle ou de tri sur d'anciens détecteurs de fumées intégrant des sources d'américium 241 a entraîné une contamination de plusieurs

personnes. Les doses efficaces engagées évaluées pour les 5 travailleurs contaminés sont restées inférieures à 6 mSv.

En appui 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, entièrement rénovée et qui entrera en service au second semestre 2014. Les laboratoires mobiles sont également mobilisables pour la surveillance du personnel sur site. La figure 7 illustre l'exemple du Laboratoire Mobile d'Anthroporadiométrie, ou LMA.



© Noak/Le bar Floréal/IRSN

Figure 7 - 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 [16]), 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 pour la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs, 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 2013 est compté dans l'effectif suivi par chaque laboratoire.

Le bilan des expositions professionnelles pour l'année 2013 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 doses. Les données relatives aux activités civiles et de défense ont été regroupées dans chaque secteur des domaines d'activités concernés : 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 reposent ainsi sur un choix de valeurs représentatives :

- seuil d'enregistrement des doses ;
- 1 mSv/an (limite de dose efficace pour les personnes du public, art. R1333-8 du code de la santé publique) ;
- 6 mSv/an (seuil bas de la catégorie A des travailleurs exposés, art. R4451-44 du code du travail) ;
- 15 mSv/an (historiquement, seuil bas de délimitation de la zone contrôlée) conservée comme valeur intermédiaire ;
- 20 mSv/an (limite sur 12 mois consécutifs de la somme des doses efficaces reçues par exposition externe et interne applicable aux travailleurs exposés, art. R4451-12 du Code du travail).

Le bilan réalisé est une « photographie » de la situation au moment de l'envoi des données par chaque laboratoire. Le nombre de cas de dépassements de la limite réglementaire de 20 mSv sur 12 mois glissants indiqué dans ce rapport pourrait diminuer par la suite, en fonction des résultats d'enquêtes validant ou réfutant les doses mesurées.

Certains éléments peuvent avoir une incidence sur le bilan réalisé, par exemple :

- les conditions de port des dosimètres :
  - la période de port des dosimètres : ainsi, des valeurs d'équivalents de dose inférieures au seuil d'enregistrement du dosimètre sur un mois d'exposition sont assimilées à des doses nulles, mais peuvent être positives dans le cas d'une période de port plus importante du fait du cumul des expositions ;
  - le port en lui-même, qui n'est pas toujours conforme aux prescriptions de la réglementation. 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 classification des travailleurs dans les différents domaines et secteurs d'activité par les organismes de dosimétrie. 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 permettra 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. Ce système deviendra alors totalement opérationnel pour établir des statistiques plus précises et plus fiables et pour améliorer la connaissance des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants.

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

Il est souligné que 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 2013 s'élève à 341 170 travailleurs, chiffre qui est effectivement inférieur à l'effectif total établi à partir des données communiquées par chaque laboratoire (352 082 travailleurs suivis en 2013).

## BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

Le bilan statistique 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, les statistiques concernant le nombre de travailleurs pour lesquels un calcul de dose interne a été effectué au cours de l'année 2013 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.

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 2013. 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 doivent donc être considérés avec une certaine précaution et 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 les compagnies aériennes. Ces données dosimétriques sont obtenues par le calcul à l'aide de l'outil SIEVERT. Seules les données transmises par deux compagnies sont incluses dans le bilan 2013, sur les cinq qui transmettent habituellement les données à SISERI. Parmi les trois compagnies dont les données ne

figurent pas au bilan 2013, deux n'ont transmis aucune donnée et la troisième n'a renseigné que 11 mois d'exposition de son personnel, sur douze.

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 46
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 léger recul de 0,7% par rapport à l'année 2012. 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 baisse de 6%. Dans le même temps, la dose collective diminue très légèrement entre 2012 et 2013. Cette évolution est cependant masquée par un cas exceptionnel de dépassement de la limite réglementaire de dose qui s'élève à plus de 7 Sv, soit 11% de la dose collective totale en 2013, alors que l'ensemble des dépassements enregistrés en 2012 ne représentaient que 1,3% de la dose collective totale de cette année-là. En tenant compte de cette valeur de 7 Sv, la dose collective enregistrée en 2013 atteint 68,47 Sv.

Cela se traduit par une valeur de la dose

- **352 082** travailleurs suivis

- dose collective annuelle :

**68,47** homme.Sv

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

**0,88** mSv

individuelle annuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé à 0,88 mSv contre 0,85 mSv en 2012. Il convient de nuancer également les évolutions de cet indicateur, dont les valeurs seraient davantage à la baisse par rapport à 2012 s'il n'était pas tenu compte des cas de dépassements de la limite réglementaire de dose.

#### *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 2,5% de l'effectif total suivi, avec une contribution à la dose collective à hauteur de 0,8%, en baisse par rapport à 2012 (1,9%).

La répartition des effectifs entre domaines évolue peu par rapport à 2012. Le domaine des activités

médicales et vétérinaires compte toujours près des deux tiers de l'effectif total suivi, contre 19% pour l'industrie nucléaire, 10% pour l'industrie non nucléaire et 4% pour le domaine de la recherche et de l'enseignement.

Toutefois, cela masque une réduction du nombre de travailleurs suivis dans la plupart des domaines (-3% pour l'industrie nucléaire et hors nucléaire et -10% pour la recherche), à l'exception des activités médicales et vétérinaires (+1,1%).

L'augmentation de 10% de la dose collective enregistrée par rapport à 2012, tous domaines confondus, ne se révèle pas homogène suivant les domaines d'activité considérés. La dose collective augmente dans l'industrie nucléaire (+7,4%) et le domaine des activités médicales et vétérinaires



(+30,3%). C'est dans ce domaine qu'a été enregistré la plupart des dépassements de la limite réglementaire de dose, notamment la valeur 7 Sv. La tendance observée par rapport à 2012 est ainsi à prendre avec prudence dans la mesure où ces dépassements contribuent à 32% de la dose collective de ce domaine. Hors dépassements, la dose collective enregistrée en 2013 pour les activités médicales et vétérinaires serait inférieure à celle de 2012.

Ces disparités se retrouvent en termes de doses moyennes calculées sur l'effectif ayant reçu une

dose supérieure au seuil d'enregistrement dans les différents domaines : dans l'industrie non nucléaire, le domaine nucléaire et celui des, les doses moyennes sont les plus élevées, en hausse par rapport à 2012, avec respectivement 1,62 mSv et 1,27 mSv. Dans le domaine des activités médicales et vétérinaires, la dose individuelle moyenne augmente également, à 0,57 mSv contre 0,49 mSv en 2012 du fait de l'importance de quelques dépassements de la limite réglementaire de 20 mSv, en 2013.

**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 (a) (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé (b) (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose					
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 6 mSv	de 6 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Activités médicales et vétérinaires	222 975	23,82	0,11	0,57	180 897	39 066	2 750	250	6	6
Nucléaire (c)	68 509	26,87	0,39	1,27	47 287	14 416	5 938	865	2	1
Industrie non nucléaire	33 555	16,58	0,49	1,62	23 348	6 348	3 103	751	3	2
Recherche et enseignement (d)	13 158	0,38	0,03	0,24	11 573	1 535	49	1	0	0
Autres (e)	13 885	0,83	0,06	0,35	11 534	2 186	158	7	0	0
<b>Total</b>	<b>352 082</b>	<b>68,47</b>	<b>0,19</b>	<b>0,88</b>	<b>274 639</b>	<b>63 551</b>	<b>11 998</b>	<b>1 874</b>	<b>11</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.

(c) Le domaine nucléaire inclut également le transport de matières radioactives dans les activités liées 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 2013 montre que la grande majorité des travailleurs est non exposée ou à des doses inférieures au seuil d'enregistrement (78% de l'effectif tous domaines confondus) avec des différences marquées suivant les domaines d'activité, comme le montre la figure 8.

Parmi les travailleurs exposés, c'est-à-dire ceux pour lesquels au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement a été compilée, il apparaît qu'en 2013, 82% des travailleurs, en moyenne, sont exposés à moins de 1 mSv, ces chiffres variant, là encore en fonction du domaine d'activité. La proportion de l'effectif exposé à plus de 6 mSv est par ailleurs très faible (2,4%, tous domaines confondus), en particulier dans les domaines des activités médicales et vétérinaires et celle de la recherche et de l'enseignement. Elle est plus significative dans l'industrie nucléaire ou non nucléaire, respectivement de 4,1% et de 7,4% (cf. figure 9).

Par rapport à 2012, dans l'ensemble des domaines sauf l'industrie non nucléaire, le nombre de travailleurs non exposés ou avec une dose inférieure au seuil d'enregistrement diminue, de façon plus marquée que la réduction de l'effectif total par domaine. Cette diminution s'accompagne généralement par une hausse du nombre de

travailleurs ayant reçu une dose comprise entre le seuil d'enregistrement et 1 mSv, sauf dans le cas de l'industrie nucléaire où l'augmentation concerne davantage les classes de dose « de 1 à 6 mSv » ou « plus de 6 mSv ».

L'exploitation dans SISERI des doses reçues par chacun des travailleurs suivis permet d'affiner encore la connaissance des niveaux d'exposition des travailleurs. Il apparaît ainsi que les doses reçues par les travailleurs exposés à moins de 1 mSv ne contribuent qu'à moins d'un quart de la dose collective totale. Cette faible contribution à la dose collective totale s'explique par la distribution des effectifs suivi sur la plage d'exposition du seuil d'enregistrement à 1 mSv, tel que le présente la figure 10. Par rapport à l'effectif global, 91% des travailleurs sont donc non exposés ou exposés à moins de 0,3 mSv alors qu'à l'opposé, leurs expositions ne représentent que 10 % de la dose collective totale. L'enjeu des années à venir est de pouvoir approfondir cette connaissance par domaine d'activité, notamment au travers de l'obligation faite aux employeurs de déclarer directement dans SISERI l'activité de chacun de leurs travailleurs exposés aux rayonnements ionisants.

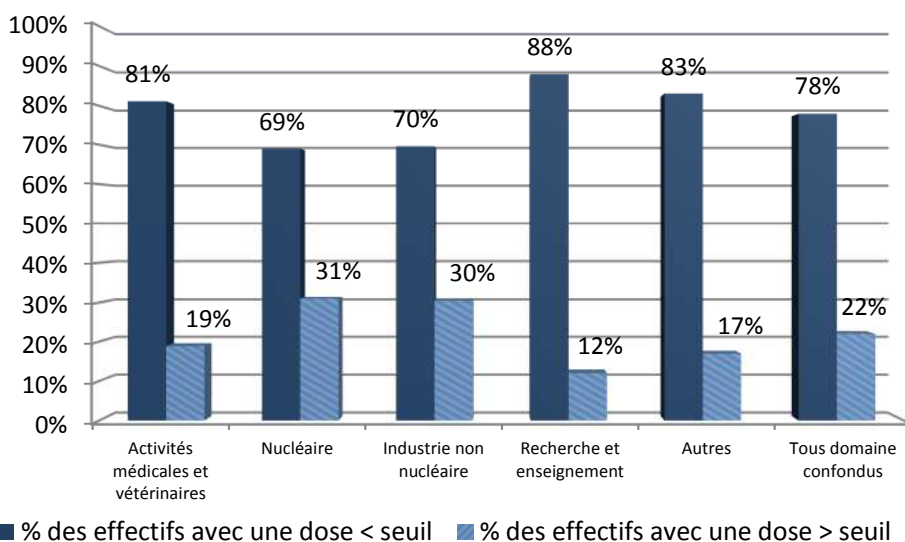


Figure 8 - Répartition des effectifs suivis par rapport au seuil d'enregistrement de la dose

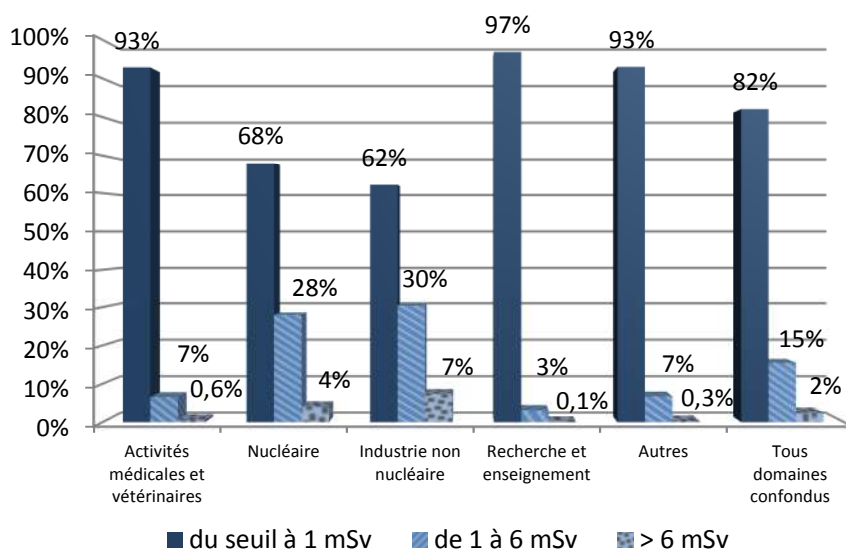


Figure 9 - Répartition de l'effectif exposé en fonction de différentes classes de dose efficace corps entier

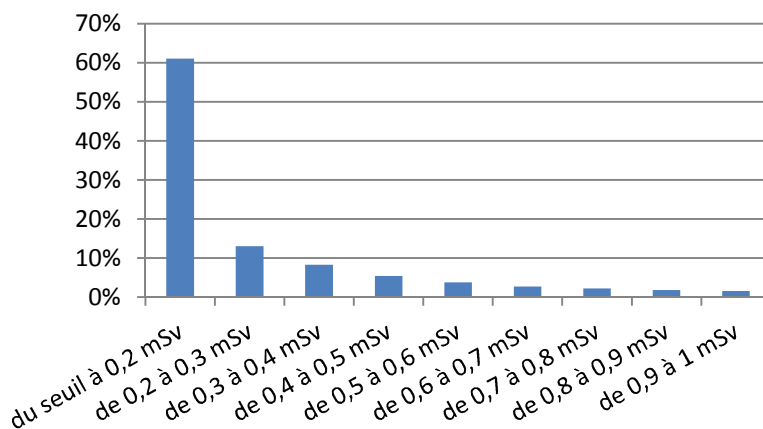


Figure 10 - Répartition de l'effectif exposé tous domaines confondus, pour des doses comprises entre le seuil d'enregistrement et 1 mSv.

### Contribution des neutrons

En 2013, l'effectif suivi pour l'exposition aux neutrons poursuit légèrement sa hausse par rapport à 2012, avec 50 142 travailleurs (vs. 49 677 travailleurs en 2012), soit 14% de l'effectif total suivi. La dose collective « neutrons » est de 2,06 homme.Sv (vs 2,08 homme.Sv en 2012). 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 : 62% des

effectifs suivis pour leur exposition aux neutrons appartiennent au domaine nucléaire, et contribuent à la dose collective à hauteur de 92% (figure 11). Les effectifs suivis dans l'industrie non nucléaire et la recherche représentent respectivement 17% et 7% 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 hausse par rapport à 2012, avec 10% de l'effectif total et 3% de la dose collective.

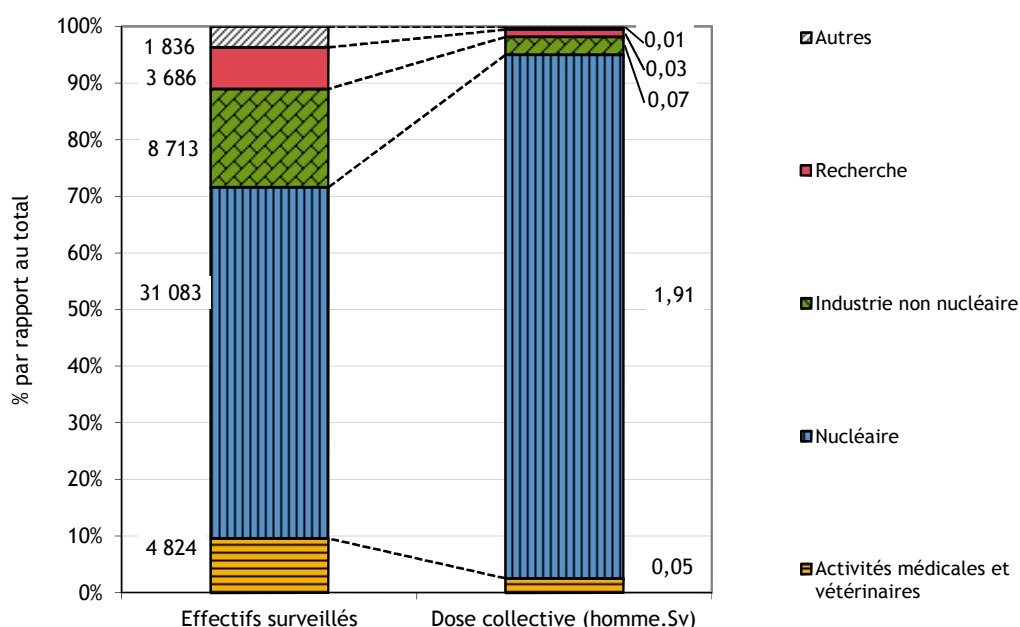


Figure 11 - Répartition des effectifs suivis et des doses collectives pour la dosimétrie des neutrons en 2013

### Evolution sur la période 1996-2013

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

La figure 12 présente l'évolution des effectifs suivis et de la dose collective entre 1996 et 2013.

Sur cette période, l'effectif total suivi est passé de 230 385 à 352 082 travailleurs, soit une augmentation de plus de 50 %. L'année 2013 est cependant marquée par un arrêt de cette croissance. 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 professionnellement exposés, 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.

Dans le même temps, la dose collective a globalement diminué, avec cependant une

tendance à l'augmentation entre 2006 et 2009, et une certaine stagnation ensuite, avec une dose collective moyenne de 64,4 homme.Sv par an sur la période 2009-2013.

### Contribution des neutrons

Comme pour l'exposition corps entier (photons et neutrons), l'année 2013 a marqué l'arrêt de l'augmentation des effectifs suivis et de la dose collective observée depuis 2006 (figure 13).

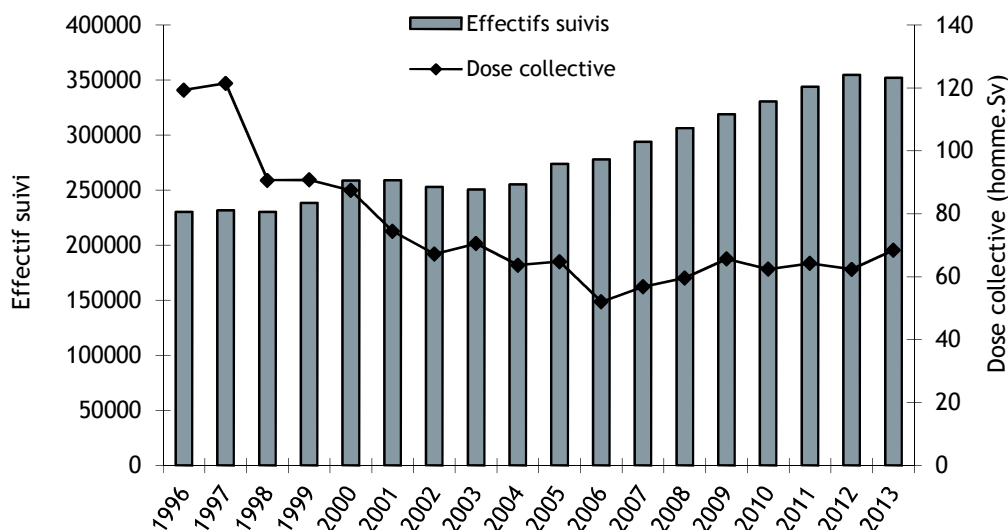


Figure 12 - Evolution des effectifs suivis et de la dose collective (photons + neutrons), de 1996 à 2013

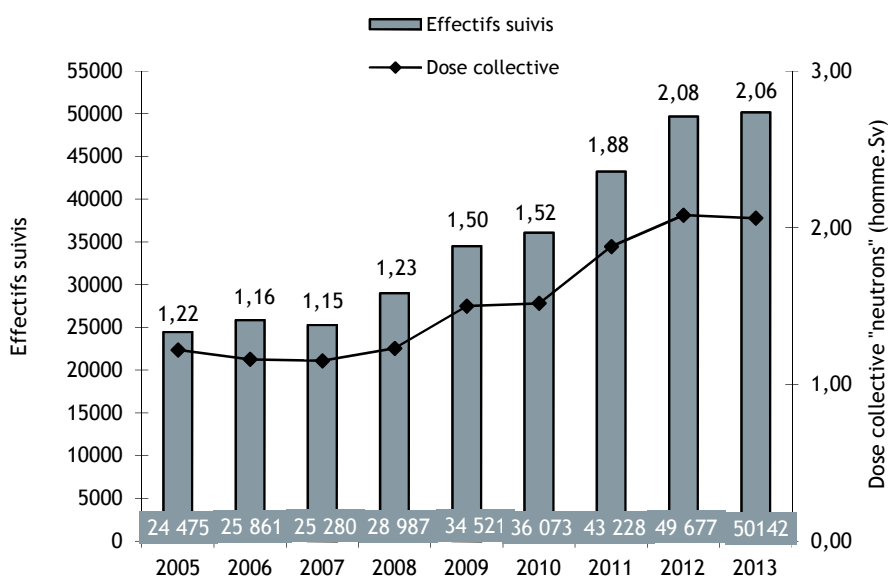


Figure 13 - Evolution des effectifs suivis et de la dose collective « neutrons », de 2005 à 2013

## DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2013, 25 790 travailleurs ont bénéficié d'une surveillance de l'exposition aux extrémités, soit 7% de l'effectif total suivi. La dose totale enregistrée pour ces porteurs est de 125,35 Sv et la dose individuelle annuelle moyenne de 4,9 mSv. La situation évolue peu par rapport à 2012 où ils étaient 25 532 travailleurs suivis, avec une dose totale s'élevant à 123,42 Sv.

La figure 14 illustre la répartition des doses enregistrées aux extrémités en 2013 selon les domaines d'activité. Leur contribution relative à l'effectif total ou à la dose collective totale est quasiment identique à celle de 2012. Le domaine des activités médicales et vétérinaires contribue majoritairement aux expositions des extrémités,

avec plus de la moitié des travailleurs suivis et 61% de la dose totale. L'effectif suivi dans le nucléaire représente 27% de l'effectif total suivi pour une contribution à la dose totale de 31%. 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 et 2%.

La dose maximale est de 437,83 mSv, enregistrée pour un travailleur du domaine médical (secteur du radiodiagnostic). Sur l'ensemble des effectifs suivis, il n'y a donc eu aucun dépassement de la limite réglementaire de dose équivalente (500 mSv).

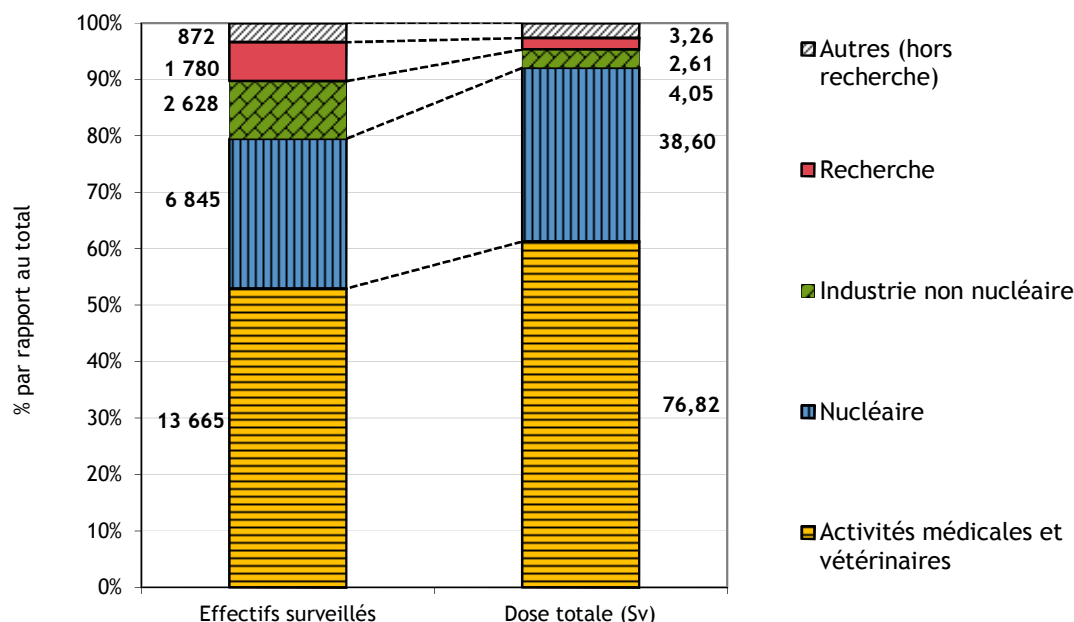


Figure 14 - Répartition des effectifs suivis et des doses enregistrées aux extrémités en 2013

La situation observée en 2013 confirme la tendance de 2012, où, pour la première fois, 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 14 307 travailleurs suivis, soit 55% de l'effectif total (vs 52% en 2012). Cette progression s'explique, comme en 2012, 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, et 15% en 2012 et 14% en 2013) ne s'est pas poursuivie et la lente diminution enregistrée depuis s'est encore confirmée en 2013. 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 : 37% en 2008, 50% en 2009, 58% en 2010, 63% en 2011, 70% en 2012 et près de 75% en 2013. 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 et 55% en 2013. Après une diminution enregistrée ces dernières années, le

domaine de la recherche connaît à nouveau depuis 2011 une augmentation de la proportion de bagues : 70% en 2008, 67% en 2009, 44% en 2010, 53% en 2011, 56% en 2012 et 61% en 2013.

Ces résultats sont cependant à considérer avec une certaine prudence, car fortement dépendants de la qualité de la classification des travailleurs selon leur activité.

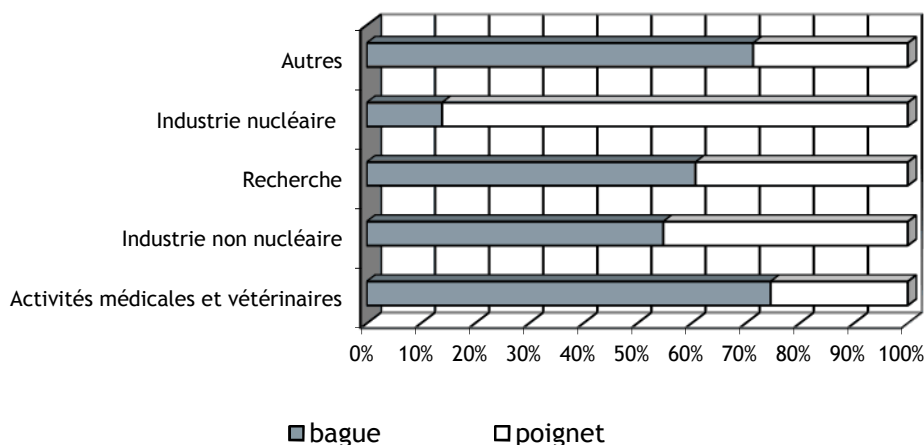


Figure 15 - Importance relative de la surveillance de l'exposition aux extrémités par dosimétrie par bague ou au poignet en 2013, suivant les domaines d'activité

## 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 2013, tous types confondus, s'élève à 354 878 (contre 349 995 examens réalisés en 2012), avec une répartition suivant les types d'examens comparable à celle des années précédentes. Les examens anthroporadiométriques sont les plus nombreux, avec 204 908 (58%) examens réalisés en 2013 sur 78 588 travailleurs, suivis par les analyses radiotoxicologiques des prélèvements nasaux et des urines, avec respectivement 96 972 (27%) et 43 961 (12%) examens pour des effectifs correspondants de 1 488 et 13 795 travailleurs. 9 037 analyses radiotoxicologiques fécales (3 % des examens) ont également été réalisées pour un effectif de 5 802 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 (ou exclusivement pour AREVA) des examens anthroporadiométriques : 170 251 des 204 908 examens anthroporadiométriques réalisés en 2013 (soit 83%) l'ont ainsi été dans les centrales nucléaires d'EDF, contre 15% chez AREVA. Concernant les prélèvements nasaux, 85 % des analyses réalisées, en 2013, l'ont été dans les installations du CEA. 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 radio-toxicologiques 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 radio-toxicologiques urinaires (49%) et les examens anthroporadiométriques (42%). 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 le nombre d'examens positifs a augmenté de 39% par rapport à 2012, essentiellement dans le domaine nucléaire.

**Tableau 5 - Exposition interne : surveillance de routine dans les différents domaines d'activité en 2013**

Domaines d'activité	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs <sup>(*)</sup>
Activités médicales et vétérinaires	12 268	73
Industrie non nucléaire	956	16
Nucléaire	329 792	2 609
Recherche	10 260	8
Autres	1 602	28
<b>Total</b>	<b>354 878</b>	<b>2 734</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).



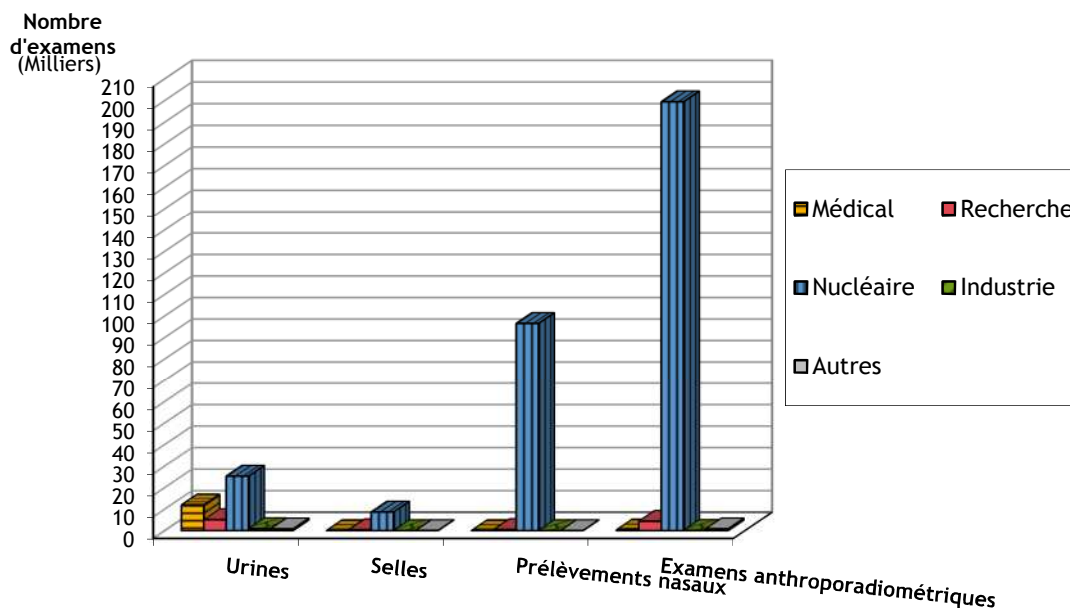


Figure 16 - Nombre d'examens suivant les types d'analyses mises en œuvre pour assurer la surveillance de l'exposition interne dans les différents domaines d'activités en 2013 (surveillance de routine)

## SURVEILLANCE SPECIALE

En 2013, 10 144 examens ont été réalisés dans le cadre de la surveillance spéciale. Seule une partie d'entre eux ont été réalisés à la suite d'un événement ou d'un incident de radioprotection. Pour 1 494 des examens, soit 15% 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 grande majorité de ces examens (90%) ont concerné le domaine nucléaire.

Tableau 6 - Exposition interne : surveillance spéciale dans les différents domaines d'activité en 2013

Domaines d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs <sup>(*)</sup>
Activités médicales et vétérinaires	273	347	11
Industrie non nucléaire	19	30	6
Nucléaire	960	9 156	1 466
Recherche	180	493	3
Autres	37	118	8
<b>Total</b>	<b>1 469</b>	<b>10 144</b>	<b>1 494</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 2013, 461 travailleurs ont fait l'objet d'un calcul de dose interne. Ce sont pour 96% d'entre eux des travailleurs du domaine nucléaire. Tous domaines confondus, 18 cas d'exposition interne conduisant à une dose efficace engagée supérieure à 1 mSv ont été rapportés. Une dose individuelle de 9 mSv (valeur maximale enregistrée en 2013) a

été estimée pour un travailleur du domaine nucléaire.

La figure 17 présente pour les années 2006 à 2013 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.

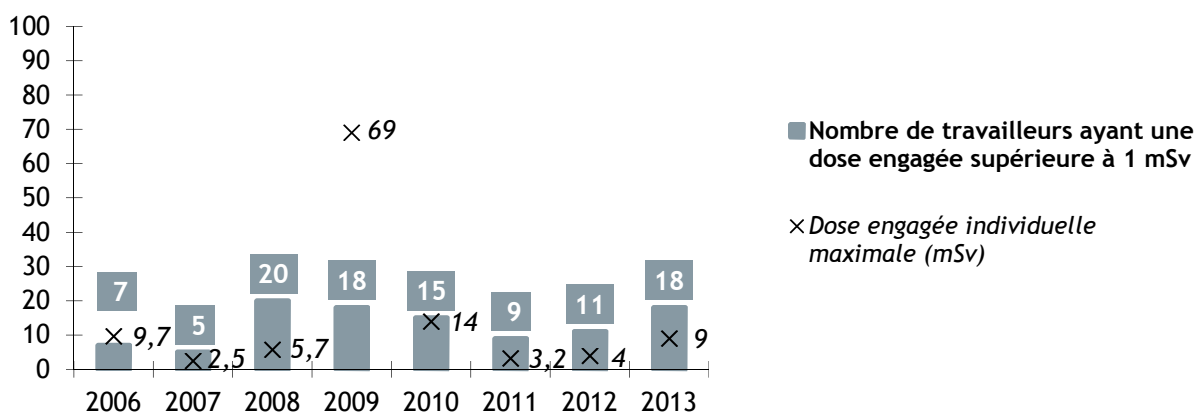


Figure 17 - Evolution, de 2006 à 2013, du nombre de travailleurs ayant une dose engagée supérieure à 1 mSv

## DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

### BILAN 2013

Le bilan établi fin avril 2014 met en évidence un dépassement de l'une des limites réglementaires de dose, entre le 1<sup>er</sup> janvier 2013 et le 31 décembre 2013, pour 9 travailleurs (tableau 7).

Le dépassement de la limite réglementaire de dose efficace est dû à une dose externe supérieure à 20 mSv reçue sur une seule période de port du dosimètre pour 8 de ces 9 travailleurs et par cumul sur plusieurs périodes de port pour le dernier cas. Pour sept travailleurs la dose efficace annuelle enregistrée est comprise entre 20 et 25 mSv, pour un travailleur la dose efficace annuelle enregistrée est comprise entre 50 et 100 mSv et pour le dernier travailleur, la dose efficace annuelle

enregistrée est supérieure à 7 000 mSv. Ces dépassements de la limite réglementaire de dose efficace sont observés dans les différents domaines d'activité : 6 travailleurs exercent dans le domaine des activités médicales et vétérinaires, 2 dans l'industrie non nucléaire et 1 dans le domaine nucléaire.

Aucun dépassement de la limite de dose équivalente aux extrémités ou à la peau ne s'est produit en 2013.

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 4 des 9 cas de dépassements recensés pour 2013, l'IRSN n'a pas reçu le retour des conclusions d'enquête du MDT.

Pour 4 autres cas, l'enquête diligentée par le médecin du travail a soit confirmé l'exposition du travailleur concerné. Enfin, le doute n'a pas pu être levé dans le cas du dépassement de plus de 7 Sv. Lorsque l'enquête ne permet pas d'aboutir, il revient au médecin du travail de faire le choix de maintenir, ou non, le cas de dépassement étudié.

Ainsi, parmi les dépassements de dose enregistrés pour l'année 2013 certains ne correspondent vraisemblablement pas à de réelles situations d'exposition 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 2013**

	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>0</b>
<b>Dose équivalente à la peau (poitrine)</b>	<b>0</b>

## EVOLUTION SUR LA PERIODE 1996-2013

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 2004-2013 (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,...).

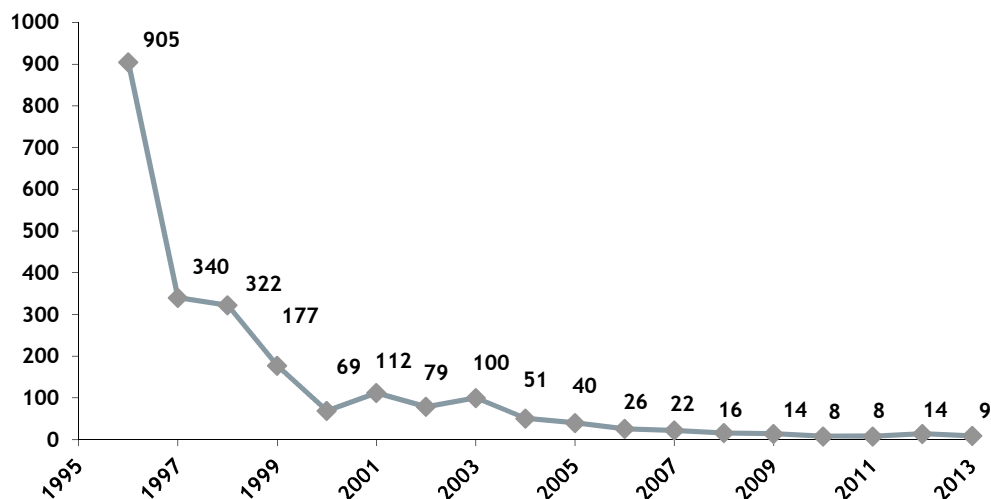


Figure 18 - Evolution, de 1996 à 2013, du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv

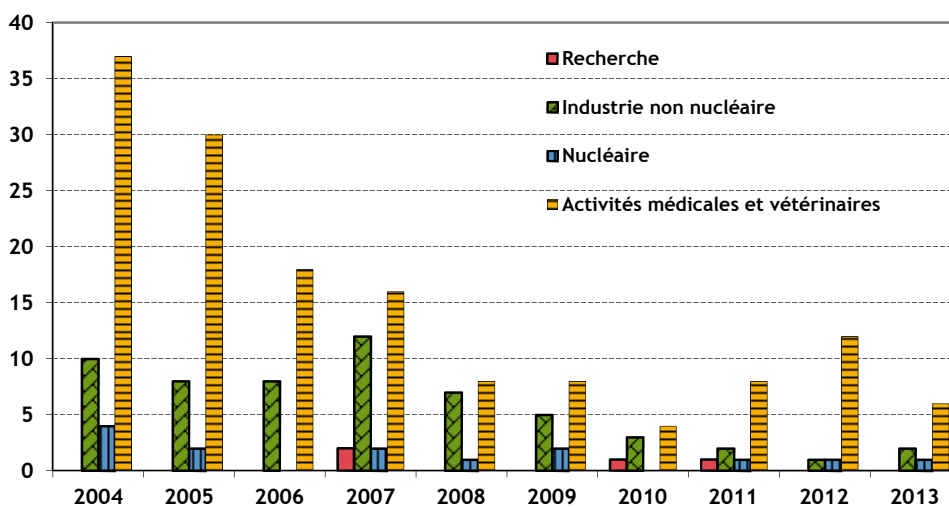


Figure 19 - Répartition par domaine d'activité du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (période 2004-2013)

## SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Parmi l'ensemble des événements recensés par l'IRSN en 2013, 256 concernent directement les travailleurs, soit une augmentation de 4% par rapport à l'année 2012. La figure 20 illustre la répartition de ces événements selon les domaines

d'activités. Ces événements sont majoritairement intervenus dans le domaine nucléaire (68%) puis dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (22%), dans l'industrie non nucléaire (7%) et dans la recherche (4%).

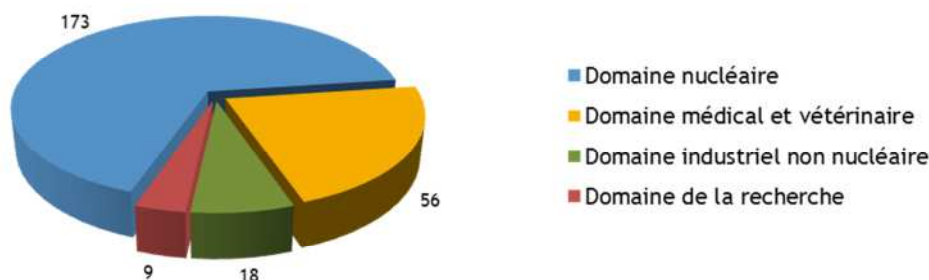


Figure 20 - Répartition des événements concernant des travailleurs suivant leur domaine d'activité

Parmi les 256 événements recensés comme concernant directement les travailleurs, 195 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 - 2013

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 de dose, dans une proportion (72%) supérieure à celle que représente l'effectif de ce domaine (63%) par rapport à l'ensemble des travailleurs suivis. 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. 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 - 2013

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<b>Alertes de dépassements de limite réglementaire de dose</b>										
- activités médicales et vétérinaires	42	63	53	54	36	44	32	34	36	44
- industrie non nucléaire	11	17	13	18	17	13	5	12	4	11
- nucléaire	0	0	1	0	4	2	5	3	6	6
- recherche	2	2	1	0	0	0	0	0	3	0
- autres									3 <sup>(*)</sup>	0
<b>Total alertes de dépassements</b>	<b>55</b>	<b>82</b>	<b>68</b>	<b>72</b>	<b>57</b>	<b>59</b>	<b>42</b>	<b>49</b>	<b>52</b>	<b>61</b>
<b>Autres événements</b>										
- activités médicales et vétérinaires	2	8	9	10	7	11	13	17	22	12
- industrie non nucléaire						19	17	2	5	7
- nucléaire	193	182	170	169	183	137	137	132	148	167
- recherche						6	1	2	18 <sup>(**)</sup>	9
- autres									1	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>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>

(\*) 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'événement 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 61
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	p 62
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	p 62
Surveillance spéciale	p 63
Estimations dosimétriques	p 63
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	p 63
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	p 64
OPTIMISATION DE LA RADIOPROTECTION EN RADIOTHERAPIE	p 65

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 1,1% par rapport à l'année 2012. Dans le même temps, la dose collective diminue d'environ 10% entre 2012 et 2013. Cette évolution est cependant masquée par un cas exceptionnel de dépassement de la limite réglementaire de dose qui s'élève à plus de 7 Sv, soit 31% de la dose collective de ce domaine en 2013. En tenant compte de cette valeur de 7 Sv, la dose collective enregistrée en 2013 atteint 23,82 Sv. 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 0,49 mSv en 2012 à 0,57 mSv en 2013. Il convient de nuancer.

#### 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).

En 2013, l'effort fourni par les laboratoires pour le renseignement des données relatives aux activités a permis, pour la première fois, de distinguer les activités de radiodiagnostic de celles concernant la radiologie interventionnelle. Toutefois, dans la mesure où il subsiste un laboratoire de dosimétrie ayant agrégé ces deux catégories, il a été décidé de maintenir le regroupement des deux activités dans une rubrique unique intitulée « Radiologie »

- **222 975** travailleurs suivis
- dose collective annuelle :  
**23,82** homme.Sv
- dose individuelle annuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé :  
**0,57** mSv

également les évolutions de cet indicateur, dont les valeurs seraient à la baisse par rapport à 2012, s'il n'était pas tenu compte de ce cas de dépassement de la limite réglementaire de dose.

et de faire figurer, à titre informatif les données relatives aux expositions dans le secteur de la radiologie interventionnelle. De même, 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.

Les effectifs, doses collectives et doses moyennes indiquées pour ces trois 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 0,8% de l'effectif total du domaine médical et vétérinaire, avec une contribution à la dose collective de 0,7%.

La dose individuelle annuelle maximale de ce domaine en 2013 a été enregistrée dans le secteur de l'irradiation des produits sanguins. Cette dose est de 7 463 mSv ; 5 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

ou à des 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 près de 87 % de l'effectif du secteur de la médecine vétérinaire. Il est à noter que, pour ces trois secteurs qui recouvrent 82% de l'effectif total du domaine, le nombre de travailleurs non exposés ou à des doses inférieures au seuil d'enregistrement est en diminution (respectivement de 0,4%, 4,9% et 1,9%) par rapport par rapport à 2012.

La figure 22 montre que, parmi les travailleurs du domaine des activités médicales et vétérinaires ayant reçu au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement, tous secteurs confondus, près 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 vétérinaires. Le reste de l'effectif exposé se concentre ensuite dans la classe de dose de 1 à 6 mSv, les expositions à plus de 6 mSv ne concernant que moins de 1% des travailleurs, voire moins de 0,1% pour les secteurs des soins dentaires et de la médecine vétérinaire.

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 6 mSv	de 6 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Radiologie	115 120	9,95	0,09	0,47	93 903	19 267	1 750	194	2	4
(Dont Radiologie interventionnelle)	8102	0,35	0,04	0,22	6510	1558	34	0	0	0
Soins dentaires	47 784	1,90	0,04	0,22	39 089	8 486	207	1	0	1
Médecine du travail et dispensaires	4 243	0,19	0,04	0,27	3 553	662	27	0	1	0
Radiothérapie	7 319	1,17	0,16	0,74	5 727	1 371	176	44	1	0
Médecine nucléaire	3 684	01,01	0,27	0,70	2 233	1 103	344	4	0	0
Laboratoires d'analyses (RIA)	148	0,002	0,02	0,18	135	13	0	0	0	0
Médecine vétérinaire	19 814	0,53	0,03	0,20	17 191	2 582	39	2	0	0
Logistique et maintenance (prestataires)	144	0,01	0,08	0,34	110	32	2	0	0	0
Autres	24 719	9,05	0,37	1,57	18 956	5 550	205	5	2	1
<b>Total</b>	<b>222 975</b>	<b>23,82</b>	<b>0,11</b>	<b>0,57</b>	<b>180 897</b>	<b>39 066</b>	<b>2 750</b>	<b>250</b>	<b>6</b>	<b>6</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.

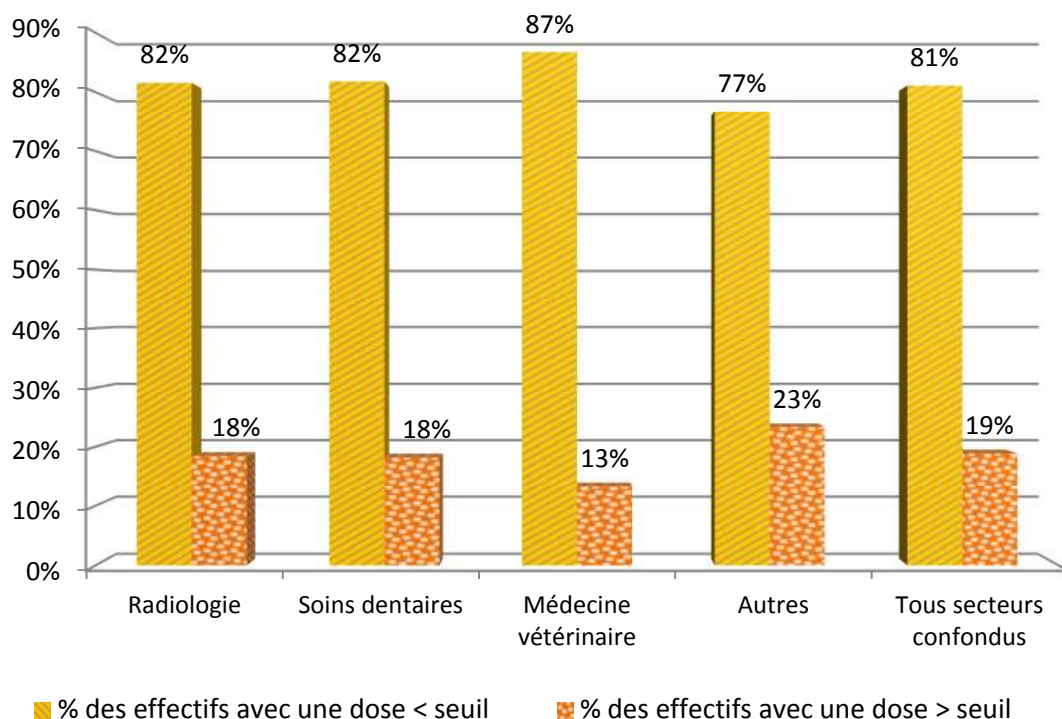


Figure 21 - Répartition des effectifs suivis des principaux secteurs médicaux et vétérinaires, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose

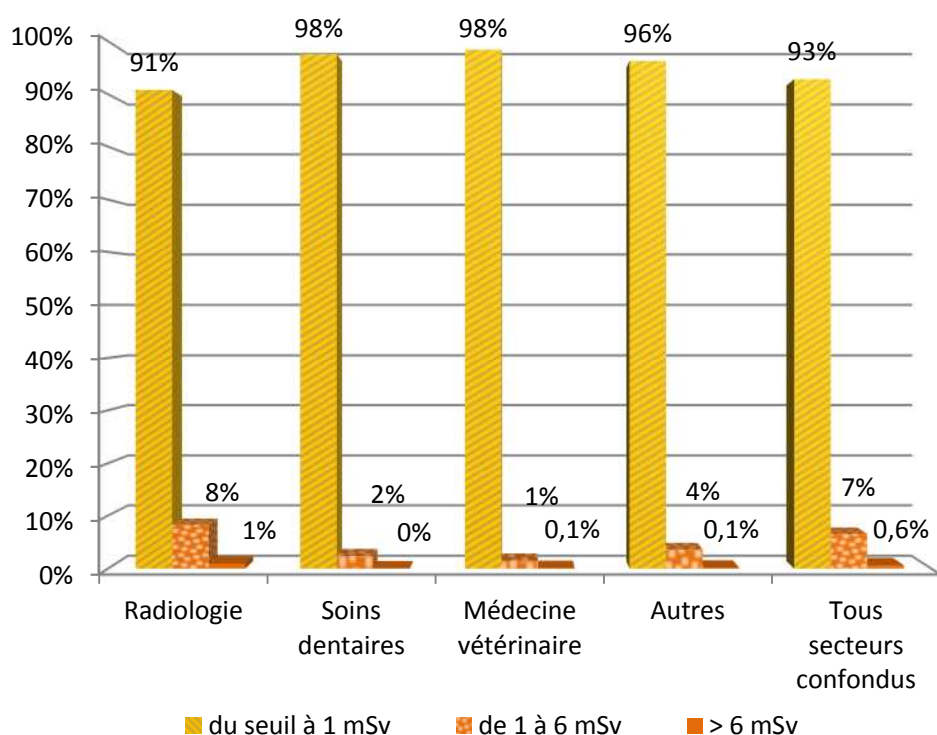


Figure 22 - répartition de l'effectif exposé des principaux secteurs médicaux et vétérinaires, en fonction de différentes classes de dose efficace corps entier

### Contribution des neutrons

L'effectif du domaine médical dont l'exposition aux neutrons est suivie est de 4 824 travailleurs (soit 2,2% de l'effectif de ce domaine). Il est en nette progression, de 30%, par rapport à 2012. La dose collective correspondante est égale à 52,4 homme.mSv et la dose individuelle annuelle maximale enregistrée est égale à 2,83 mSv.

Près de 82% de la dose collective provient du secteur de la radiologie médicale, 4% du secteur de

la radiothérapie et 3% du secteur dentaire. Le domaine des activités médicales et vétérinaires n'est pas celui dans lequel le risque d'exposition aux neutrons est élevé. Ces résultats reflètent donc une fois encore des erreurs manifestes dans l'affectation des secteurs d'activité des travailleurs par les laboratoires assurant leur suivi dosimétrique.

### Evolution sur la période 1996-2013

L'évolution de la dosimétrie entre 1996 et 2013 est caractérisée par trois périodes différentes (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. 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 ainsi que le fait que l'augmentation des effectifs du

domaine concerne en majorité des travailleurs qui sont très faiblement exposés. La proportion des travailleurs exposés à moins de 1 mSv dans l'effectif total a ainsi régulièrement augmenté de 98,1% en 2010, à 98,3% en 2011, 98,6% en 2012 et 98,7% en 2013, parallèlement à l'augmentation de l'effectif total. La valeur de la dose collective enregistrée en 2013 ne traduit pas cette tendance. Elle n'est cependant 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.

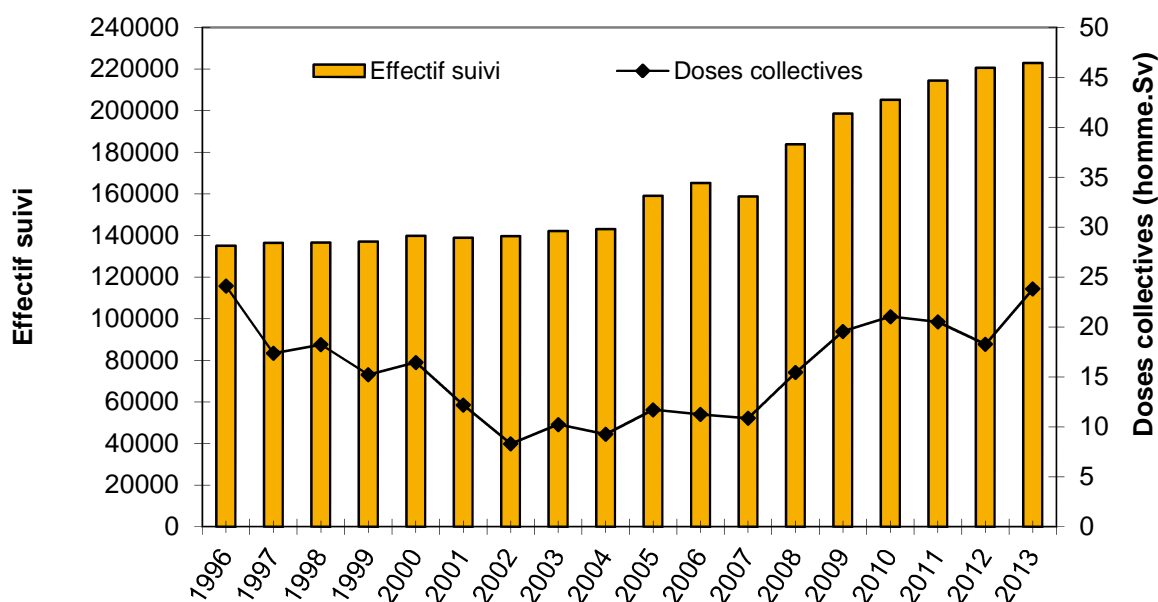


Figure 23 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (période 1996-2013)

## DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2013, 13 665 travailleurs exerçant dans le domaine médical et vétérinaire ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités, la dose totale

### Dosimétrie par bague

75% des travailleurs exerçant dans le domaine des activités médicales et vétérinaires, bénéficiant d'un suivi dosimétrique aux extrémités, portent un dosimètre bague, soit 10 205 travailleurs. La dose totale enregistrée par ces porteurs est de 74,12 Sv. La dose individuelle annuelle maximale enregistrée est de 438 mSv, reçue dans le secteur du radiodiagnostic. La figure 24 illustre la répartition des doses enregistrées en 2013 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

enregistrée étant de 76,82 Sv et la dose individuelle moyenne de 5,6 mSv.

majoritairement aux expositions des extrémités, avec 64% des travailleurs suivis et 56% de la dose totale enregistrée.

Sur l'ensemble de l'effectif suivi aux extrémités par une bague, il apparaît que 46% des travailleurs n'ont pas été exposés, 53% des travailleurs ont reçu une dose inférieure à 150 mSv et moins de 1% des travailleurs ont reçu une dose comprise entre 150 et 500 mSv. Ces chiffres sont respectivement de 49%, 50% et 1% pour le secteur de la radiologie et de 23%, 76% et 1% pour le secteur de la médecine nucléaire.

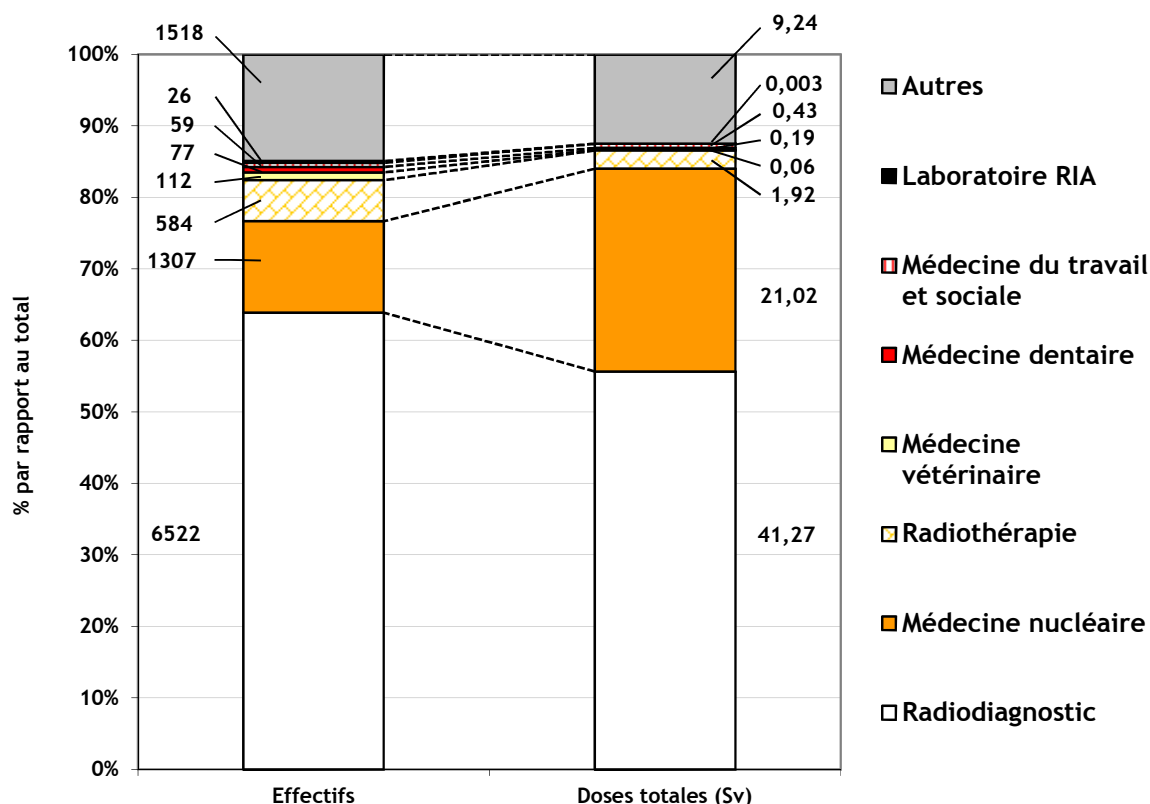


Figure 24 - Répartition des doses enregistrées pour la dosimétrie par bague en 2013 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires

### Dosimétrie au poignet

En 2013, la dose totale enregistrée dans les domaines des activités médicales et vétérinaires à l'aide de la dosimétrie au poignet a concerné 3 460 travailleurs. Elle s'élève à 2,69 Sv. Le secteur du radiodiagnostic contribue à lui seul à 74% de l'effectif suivi et à 78% de la dose totale enregistrée. C'est également dans ce secteur que la dose individuelle maximale de 188 mSv a été enregistrée.

Par rapport à l'effectif total suivi aux extrémités par un dosimètre poignet, 73% des travailleurs sont non exposés ou ont reçu une dose inférieure au seuil d'enregistrement, 27 % ont reçu une dose inférieure à 150 mSv et un seul travailleur sur 3 640 a reçu une dose comprise entre 150 et 500 mSv. Ces chiffres sont quasiment identiques pour le secteur de la radiologie.

## BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

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

Sur les 12 268 examens réalisés dans le cadre de la surveillance de routine, 11929 sont des analyses radiotoxicologiques urinaires et concernent des travailleurs des secteurs des soins dentaires, 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 339 autres examens réalisés sont des anthroporadiométries.

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>
Soins dentaires <sup>(a)</sup>	2	6	0
Médecine nucléaire	1 541	10 792	37
Laboratoire d'analyse médicale avec radio-immunologie	389	1 079	1
Irradiation de produits sanguins	6	11	0
Médecine vétérinaire	7	22	0
Autres activités (domaine médical)	3	19	0
<b>Total</b>	<b>1 948</b>	<b>11 929</b>	<b>38</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).

(a) Les risques de contamination interne ne sont a priori pas significatifs dans le domaine des soins dentaires. Le faible effectif concerné ici traduit davantage un évènement ponctuel, plutôt qu'une réelle surveillance de routine.

## 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

3% 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	265	337	9
Laboratoire d'analyse médicale avec radio-immunologie	4	6	2
Irradiation de produits sanguins	1	1	0
Autres activités (domaine médical)	3	3	0
<b>Total</b>	<b>273</b>	<b>347</b>	<b>11</b>

<sup>(\*)</sup> 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

9 travailleurs du domaine des activités médicales et vétérinaires ont été concernés par un calcul de dose en 2013. Pour l'un de ces travailleurs, la dose

efficace engagée enregistrée est supérieure 1 mSv (1,4 mSv).

## DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Concernant la dosimétrie du corps entier, 6 cas de dépassement de la limite de 20 mSv ont été recensés. La dose maximale enregistrée est égale à 7 463 mSv dans le secteur de l'irradiation des produits sanguins. Dans la mesure où ce secteur compte moins de 20 travailleurs, il a été regroupé avec la catégorie « Autres ». 4 autres cas de dépassement concernent le secteur du radio-

diagnostic (doses enregistrées de 22, 28, 34 et 38 mSv) et le dernier cas concerne le secteur des soins dentaires (dose enregistrée de 20 mSv). Concernant la dosimétrie à la peau ou aux extrémités, aucun cas de dépassement de la limite de 500 mSv n'a été recensé en 2013, dans le domaine des activités médicales et vétérinaires.

## SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Au cours de l'année 2013, 56 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 56 événements, 12 sont des événements déclarés selon les critères du guide n°11 de déclaration de l'ASN,

- 5 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 dispersion de radionucléide,
- 2 livraisons non conformes à l'autorisation délivrée,

- 2 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, par le biais de demandes d'expertise.

**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	19
Radiologie interventionnelle	6
Médecine nucléaire	10
Radiothérapie	11
Soins dentaires	2
Logistique et maintenance du médical	3
Production et conditionnement de radio-isotopes	2
Irradiation de produits sanguins	1
Médecine vétérinaire	1
Autres	1
<b>Total</b>	<b>56</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 Gy.min<sup>-1</sup> 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 quelques années l'IRSN fournit un support technique aux professionnels de radiothérapie, en particulier aux radiophysiciens, pour le dimensionnement de nouvelles installations ou le redimensionnement de bunkers existants lors d'un changement d'appareil. L'IRSN réalise également des prestations pour des centres de radiothérapie ou pour des sociétés mandatées par ceux-ci (cabinets d'architecte, entreprises du bâtiment...) et répond aux éventuelles demandes d'expertise de la part des autorités (ASN). Ces prestations ou avis d'expertise concernent généralement des installations non standard (type d'appareil, géométrie ou matériaux du bunker). Elles incluent la vérification du zonage et des protections envisagées et la proposition éventuelle de protections supplémentaires pour respecter la réglementation en vigueur en radioprotection. Les évaluations 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.

Dans le cadre d'un projet d'installation dans un centre hospitalier d'un accélérateur linéaire d'électrons d'énergie maximale en photons de 18 MeV et produisant des faisceaux de photons à haut débit (jusqu'à 24 Gy.min<sup>-1</sup> pour les faisceaux de 6 ou 10 MV), l'IRSN a été sollicité par l'exploitant afin de valider le dimensionnement des protections envisagées par chacun des deux constructeurs ayant répondu à l'offre.

L'analyse de l'IRSN a porté sur le classement des locaux et sur les hypothèses et les méthodes de calcul, retenues dans chacun des dossiers, pour le dimensionnement du bunker (murs et porte). En particulier, l'impact de l'utilisation de faisceaux à haut débit a été analysé, ces faisceaux étant obtenus en retirant le filtre conique en tungstène habituellement utilisé pour homogénéiser le profil de dose dans le patient ; on parle alors de faisceaux FFF (Flattening Filter Free). Le retrait du filtre a trois impacts : augmentation du débit de dose, altération du profil du faisceau et de son spectre en énergie, modification du poids relatif du rayonnement de fuite (photons et neutrons).

Les principales conclusions de l'IRSN sont les suivantes :

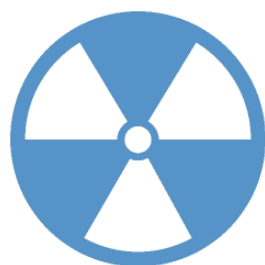
- A énergie égale, un faisceau FFF demande des protections primaires et secondaires moins importantes qu'un faisceau ordinaire avec filtre égalisateur (faisceau FF), d'une part parce que l'énergie moyenne des photons du rayonnement direct est réduite, d'autre part parce que le courant intégral nécessaire au niveau de la cible pour délivrer une dose donnée au patient est réduit ;

- Les feuilles de calcul de l'un des deux constructeurs présentaient plusieurs écarts significatifs par rapport à la réglementation (limites de dose) et aux préconisations de l'IRSN concernant les hypothèses et les méthodes de calcul ; aucun des deux constructeurs ne prenait en compte la production de neutrons dans le renforcement en plomb de la protection primaire.

Une seconde étude a été menée suite au dépassement des limites réglementaires de débit de dose constaté lors d'un contrôle de

radioprotection dans le local situé au-dessus d'un bunker de radiothérapie contenant un appareil conventionnel d'énergie nominale maximale de 18 MeV en photons. Sollicité par l'exploitant à des fins de confirmation, le service d'intervention de l'IRSN a réalisé une cartographie du rayonnement photonique et neutronique dans les locaux concernés. Ces mesures ayant confirmé des niveaux de rayonnement significatifs en neutrons, expliqués par une protection biologique inadaptée au niveau du plafond du bunker, l'exploitant a demandé à l'IRSN une nouvelle prestation portant sur l'évaluation du renforcement du plafond nécessaire pour respecter les limites réglementaires.

# DOMAINE NUCLEAIRE



## *SOMMAIRE*

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES	p 68
Dosimétrie corps entier	p 68
Dosimétrie des extrémités	p 73
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	p 74
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	p 75
Surveillance spéciale	p 78
Estimations dosimétriques	p 78
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	p 79
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	p 79

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 est en recul de 3% par rapport à l'année 2012. Dans le même temps, la dose collective augmente de 7%. 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) augmente également, de 1,16 mSv en 2012 à 1,27 mSv en 2013).

- **68 509** travailleurs suivis

- dose collective annuelle :

**26,87** homme.Sv

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

**1,27** 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 6% de l'effectif total du domaine nucléaire, avec une contribution à la dose collective de 1,1%.

La part de l'effectif du domaine nucléaire pour lequel le secteur d'activité n'est pas connu atteint 29%. De même certaines erreurs de classification ont été corrigées en 2013. Il en est ainsi d'une grande partie des travailleurs du secteur de

l'armement dont la classification a été changée pour le domaine médical. 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, dont notamment le secteur des réacteurs de production d'énergie.

La dose individuelle annuelle maximale de ce domaine en 2013 a été enregistrée, comme en 2012, dans le secteur des opérations de logistique et de maintenance par des prestataires. Cette dose est de 41,92 mSv. Il s'agit du seul cas de dépassement de la limite réglementaire annuelle observé en 2013 dans ce domaine.

L'analyse de la répartition des effectifs en fonction des niveaux de dose enregistrés montre que trois types de situation peuvent être distingués

(cf. figure 25 et 26). Certains secteurs comme le retraitement ou le démantèlement présentent une très forte proportion (plus de 86%) de travailleurs non exposés ou avec des doses inférieures au seuil d'enregistrement. La plupart des secteurs présentent une proportion d'environ deux tiers de travailleurs non exposés ou à des doses inférieures au seuil d'enregistrement. C'est le cas en particulier du secteur des réacteurs de production d'énergie. Enfin, les secteurs 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 de l'ordre de 43%.

Concernant l'effectif ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement, deux cas sont à distinguer (cf. figure 26) :

Dans les secteurs de la propulsion nucléaire, de l'enrichissement et de la conversion, du retraitement et du démantèlement, les travailleurs sont très majoritairement exposés (à plus de 83%) à moins de 1 mSv par an et en tout état de cause, à moins de 6 mSv par an.

Les secteurs des réacteurs de production d'énergie, de la fabrication du combustible et des activités de prestation pour la logistique et la maintenance présentent également une proportion importante de travailleurs exposés à moins de 1 mSv/an, avec cependant une proportion de travailleurs ayant reçu des doses comprises entre 1 et 6 mSv, de l'ordre de 30 à 38%.

Pour le secteur des réacteurs de production d'énergie, la classe de dose « > 6 mSv » ne représente cependant que 1% de l'effectif exposé alors qu'elle agrège respectivement 15 et 7% de l'effectif pour les deux autres secteurs.

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 (53%). Cette situation était déjà observée en 2012.

Par rapport à 2012, il est difficile de dégager une tendance générale étant donné l'évolution différente des effectifs de chacun des secteurs d'activité.

Dans le secteur des réacteurs de production d'énergie, l'effectif global est en hausse de 2%. Cette augmentation se traduit principalement par un effectif de travailleurs non exposés ou ayant reçu une dose inférieure au seuil d'enregistrement plus important qu'en 2012 (+5%). Parmi les travailleurs ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement, seul l'effectif de ceux ayant reçu plus de 6 mSv augmente.

Dans le secteur des prestations liées à la logistique et la maintenance, l'effectif global est en croissance de 12% par rapport à 2012. Cette hausse se répercute sur le nombre de travailleurs non exposés ou ayant reçu une dose inférieure au seuil d'enregistrement qui augmente de 16% alors que dans le même temps, le nombre de travailleurs ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement croît de 8%. Cette hausse est nettement plus marquée pour l'effectif des travailleurs ayant une dose reçue de 1 à 6 mSv (+21%) et davantage encore pour celui des travailleurs ayant reçu plus de 6 mSv (+30%). Dans le même temps, l'effectif des travailleurs ayant reçu une dose comprise entre le seuil d'enregistrement et 1 mSv se réduit de 1% par rapport à 2012.

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 6 mSv	de 6 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Propulsion nucléaire - équipage	2 696	0,20	0,07	0,22	1 792	894	10	0	0	0
Armement	843	0,08	0,09	0,18	410	433	0	0	0	0
Extraction et traitement de l'uranium	173	0,03	0,19	0,30	67	102	4	0	0	0
Enrichissement et conversion	2 028	0,27	0,13	0,60	1 586	366	76	0	0	0
Fabrication du combustible	1 655	1,79	1,08	2,46	928	342	275	110	0	0
Réacteurs de production d'énergie <sup>(c)</sup>	24 121	7,21	0,30	1,01	16 979	4 931	2 139	71	1	0
Retraitement	3 159	0,14	0,04	0,38	2 807	333	19	0	0	0
Démantèlement	1 895	0,14	0,07	0,51	1 626	229	40	0	0	0
Effluents, déchets	78	0,0005	0,01	0,12	74	4	0	0	0	0
Logistique et maintenance (prestataires)	10 942	8,55	0,78	1,82	6 234	2 620	1 742	345	0	1
Transports	854	0,11	0,13	0,53	643	197	10	4	0	0
Autres	20 065	8,37	0,42	1,41	14 141	3 965	1 623	335	1	0
<b>Total</b>	<b>68 509</b>	<b>26,87</b>	<b>0,39</b>	<b>1,27</b>	<b>47 287</b>	<b>14 416</b>	<b>5 938</b>	<b>865</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.

(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.

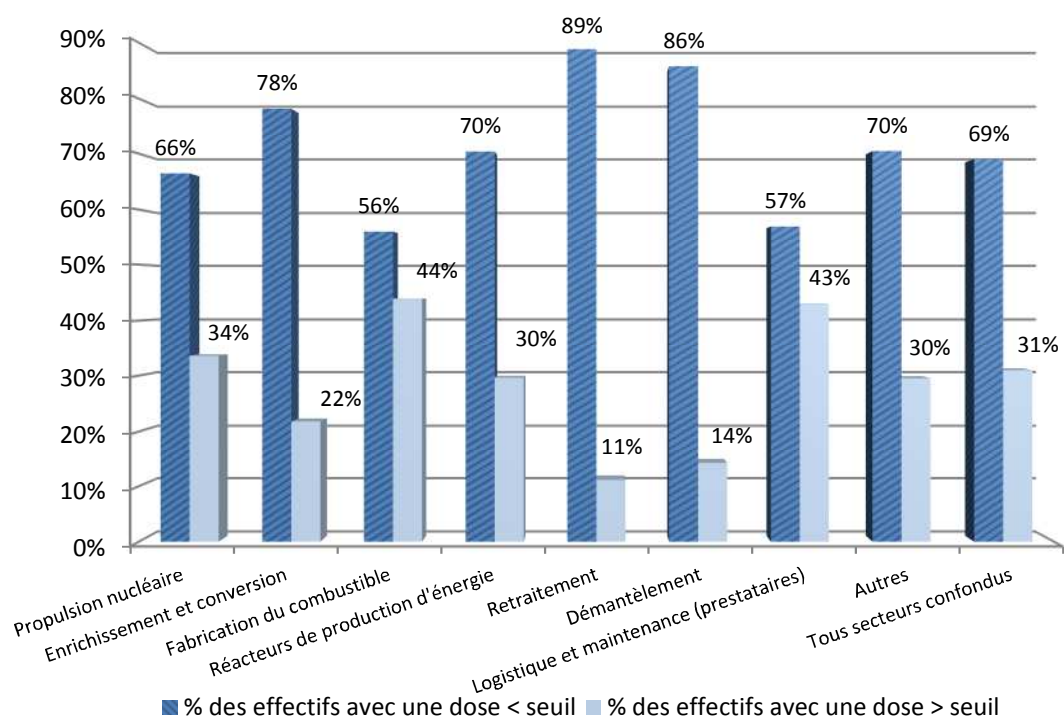


Figure 25 - Répartition des effectifs suivis des principaux secteurs de l'industrie nucléaire, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose

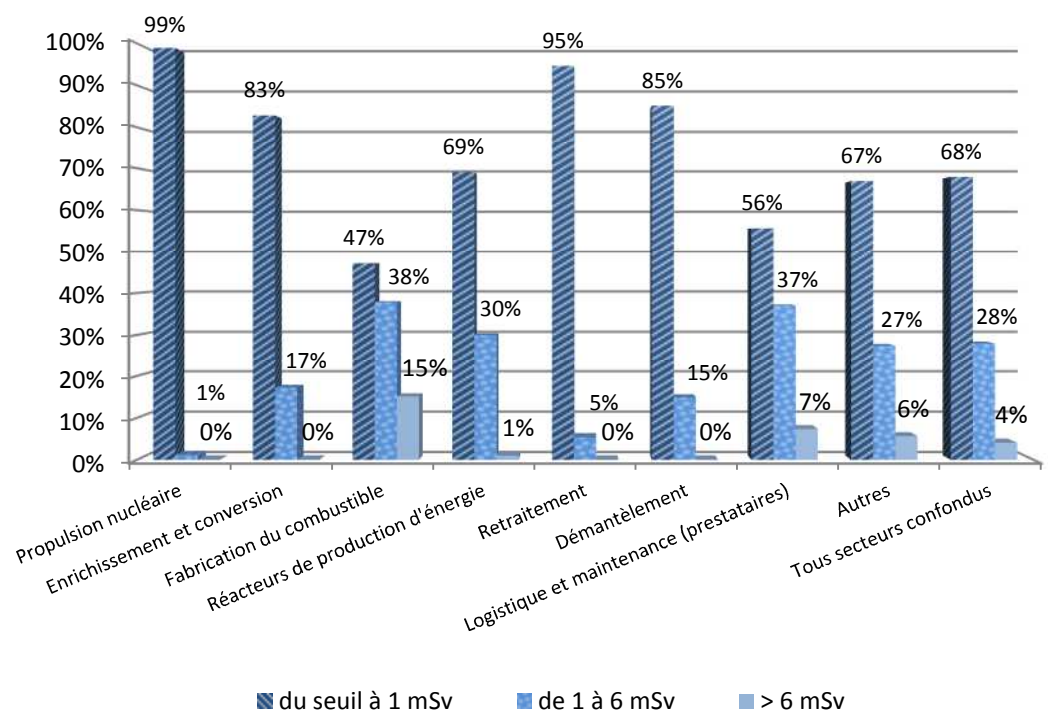


Figure 26 - Répartition de l'effectif exposé des principaux secteurs de l'industrie nucléaire, en fonction de différentes classes de dose efficace corps entier

### Contribution des neutrons

31 083 travailleurs du domaine nucléaire ont une surveillance de l'exposition aux neutrons (soit 45% de l'effectif de ce domaine). Cet effectif est stable par rapport à 2012. Il en est de même pour la dose collective correspondante qui s'établit à 1,91 homme.Sv. Cette stabilité masque cependant des disparités suivant les secteurs d'activité. Le nombre de travailleurs du secteur de l'armement est réduit des deux tiers du fait de la reclassification de l'effectif correspondant du SPRA. L'effectif suivi dans le secteur des réacteurs de production d'énergie progresse ainsi de 14% alors que la dose collective y est réduite des deux tiers. A l'opposé, dans le secteur du retraitement, l'effectif suivi diminue de 1% alors que la dose collective correspondante progresse de 20% par rapport à 2012. Enfin, le secteur des opérations de logistique et de maintenance par des prestataires

voit son effectif progresser de 11% et la dose collective de 6% par rapport à 2012. C'est dans ce secteur ainsi que celui de la fabrication du combustible que les doses individuelles maximales sont enregistrées, avec cependant une valeur un peu plus faible qu'en 2012 (respectivement 7,2 et 7,1 mSv contre 8,8 mSv en 2012).

La figure 27 présente pour l'année 2013 la répartition des effectifs et des doses collectives dues aux neutrons. 58% de cette dose collective sont enregistrés dans le secteur de la fabrication du combustible - pour la quasi-totalité (plus de 99%) au sein de l'établissement MELOX - et 34% dans le secteur de la logistique et de la maintenance. Ces chiffres sont du même ordre de grandeur que ceux de 2012 (respectivement 57% et 32%).

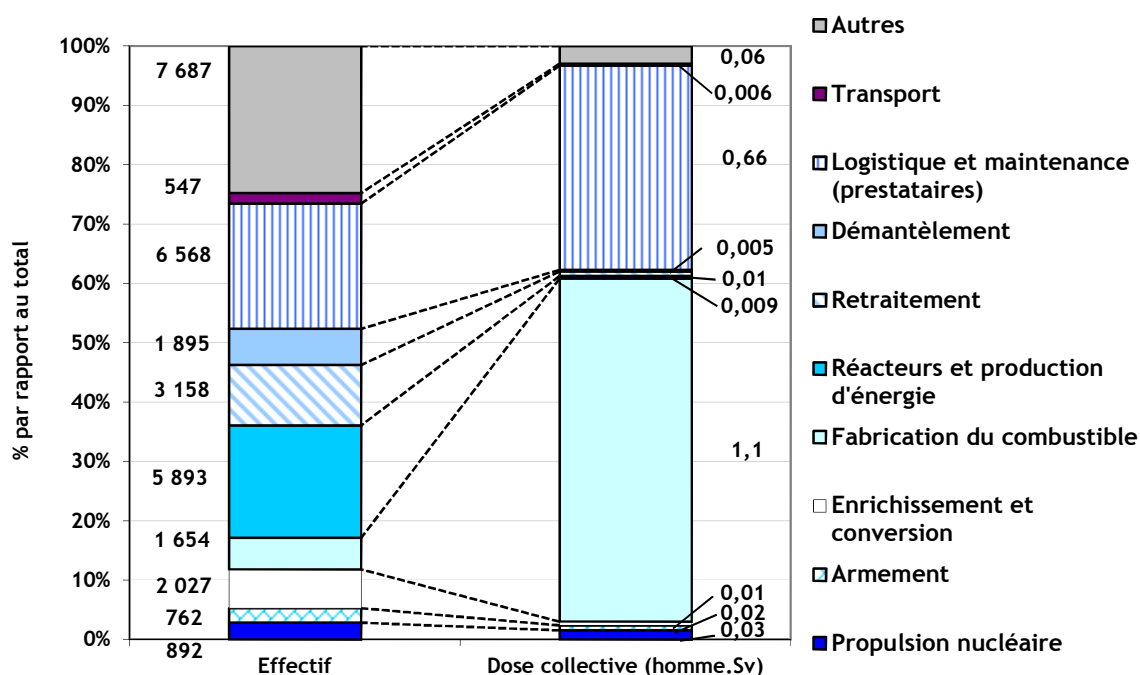


Figure 27 - Répartition des effectifs et des doses enregistrées en 2013 pour la dosimétrie neutron dans le nucléaire civil et militaire

### Evolution sur la période 1996-2013

La figure 28 présente l'évolution de l'effectif suivi et de la dose collective entre 1996 et 2013 dans le nucléaire.

Il est possible de distinguer deux périodes dans l'évolution de la dose collective : jusqu'en 2006,

celle-ci 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 2006-2013 est ainsi de 24,0 homme.Sv. Les faibles variations de la dose collective sur cette période reflètent principalement l'évolution de certaines activités, notamment le report d'une année sur l'autre d'opérations de maintenance dans les centrales nucléaires d'EDF (par exemple, plusieurs visites décennales prévues en 2010 ont été reportées en 2011, expliquant en grande partie

la diminution de la dose collective observée entre 2009 et 2010).

L'année 2013 marque une légère rupture avec la tendance précédente, avec une baisse des effectifs et une dose collective (26,87 homme.Sv) supérieure à la moyenne calculée sur la période 2006 à 2012.

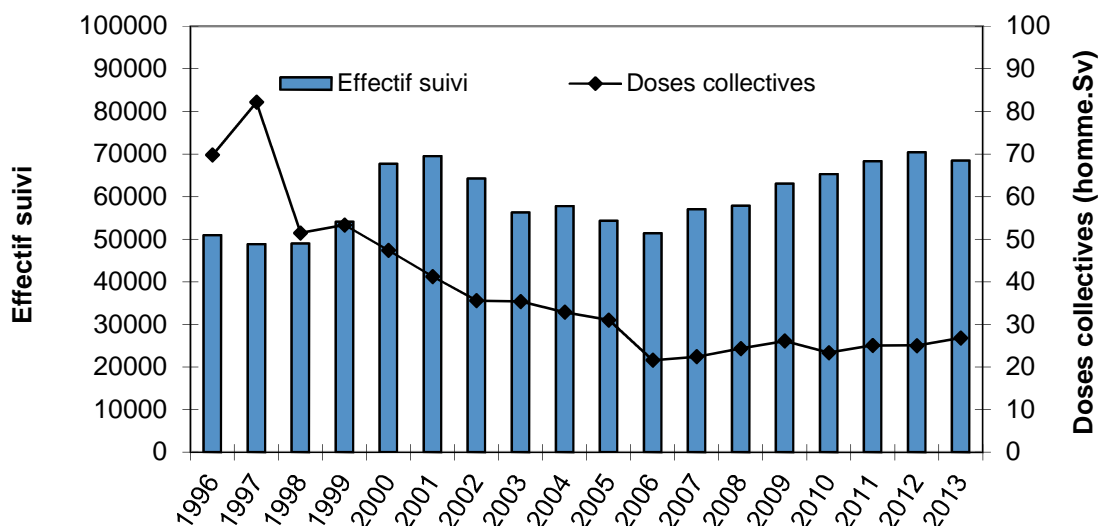


Figure 28 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le nucléaire civil et militaire (période 1996-2013)

## DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2013, 6 844 travailleurs du domaine nucléaire ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités, la dose totale enregistrée étant de 38,60 Sv et la dose individuelle moyenne de

5,6 mSv. Ces chiffres sont comparables à ceux de 2012 (6 893 travailleurs pour une dose totale de 38,24 Sv et une dose individuelle moyenne de 5,5 mSv).

### Dosimétrie par bague

Comme les deux années passées, la proportion des travailleurs portant un dosimètre bague pour leur suivi de l'exposition des extrémités a à nouveau reculé en 2013. Le nombre de travailleurs a ainsi diminué de 5,5% : les 956 travailleurs concernés représentent désormais 14% de l'ensemble des travailleurs suivis aux extrémités, contre 2% en

2008, 17% en 2009, 21% en 2010, 16% en 2011 et 15% en 2012.

La dose totale enregistrée par ces porteurs est de 1,0 Sv, avec une dose individuelle maximale égale à 91 mSv.

### Dosimétrie au poignet

La dose totale enregistrée pour les 5 888 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet est de 37,6 Sv (contre 5 881 travailleurs suivis en 2012, pour une dose totale de 37,2 Sv). De même, la

dose individuelle moyenne enregistrée au poignet dans le domaine nucléaire n'évolue quasiment pas, à 6,4 mSv (contre 6,3 mSv en 2012).

## 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 reconversion	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 <sup>(*)</sup>	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,

<sup>(\*)</sup> 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 2013, il apparaît que ce sont les examens anthroporadiométriques qui sont majoritairement réalisés dans le domaine nucléaire puisqu'ils représentent 60% des 329 792 examens réalisés en surveillance de routine dans ce domaine. Viennent ensuite les analyses radiotoxicologiques de prélèvements nasaux (29%), urinaires (8%) et de selles (3%).

Le tableau 15 présente les résultats de la surveillance faite par analyses radiotoxicologiques urinaires, en 2013. Les deux secteurs effectuant les plus grands nombres de ces analyses sont l'armement, avec 33% des analyses et le retraitement (30%). Le pourcentage d'analyses radiotoxicologiques urinaires qui sont positives est de 3,7%, soit plus du double du chiffre de 2012 (1,6%).

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>
Transport (nucléaire)	43	5	0
Propulsion nucléaire	390	1 066	0
Armement	nc	8 437	613
Enrichissement et conversion	1 152	1 706	4
Fabrication du combustible	814	42	14
Réacteurs de production d'énergie	3	3	0
Retraitement	4 538	7 564	8
Démantèlement des installations nucléaires	796	4 424	247
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	928	2 015	38
Autres activités (nucléaire)	74	17	0
<b>Total</b>	<b>nd</b>	<b>25 279</b>	<b>924</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 2013, le démantèlement des installations nucléaires est le secteur pour lequel le nombre d'examen est le plus élevé (39% des analyses de selles réalisées dans ce domaine), suivi du secteur de la prestation (26% des analyses de

selles) et du secteur du retraitement (14% des analyses de selles).

Tous secteurs confondus, le pourcentage d'analyses radiotoxicologiques fécales qui sont positives est de 3,7% (contre 5,9 % en 2012).

**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'examen	Nombre d'examen considérés positifs <sup>(*)</sup>
Transport	43	1	0
Propulsion nucléaire	48	72	0
Armement	nc	971	7
Enrichissement et conversion	444	131	1
Fabrication du combustible	1 234	631	107
Réacteurs de production d'énergie	12	69	0
Retraitement	822	1 177	10
Démantèlement des installations nucléaires	1 326	3 370	143
Effluents, déchets et matériaux récupérables	1	1	0
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	1 521	2 202	50
<b>Total</b>	<b>nd</b>	<b>8 624</b>	<b>318</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 2013. 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.

Le tableau 18 présente la répartition des examens anthroporadiométriques réalisés en 2013. Pour

85% 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. Le retraitement est le deuxième secteur en nombre d'examen réalisés (5,8% des examens anthroporadiométriques du domaine nucléaire). Ces pourcentages sont comparables à ceux de 2012.

**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>
Armement	nc	52 478	0
Réacteurs de production d'énergie	591	2 303	529
Démantèlement des installations nucléaires	864	41 719	772
<b>Total</b>	<b>nd</b>	<b>96 500</b>	<b>1 301</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>
Transport (nucléaire)	70	55	0
Propulsion nucléaire	4 253	5 051	0
Armement	nc	1 535	0
Fabrication du combustible	938	154	0
Réacteurs de production d'énergie (**)	53 232	170 296	47
Retraitement	7 238	11 603	15
Démantèlement des installations nucléaires	2 222	3 022	1
Effluents, déchets et matériaux récupérables	176	191	0
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	5 056	5 460	3
Autres activités (nucléaire)	719	2 022	0
<b>Total</b>	<b>nd</b>	<b>199 389</b>	<b>66</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%).

**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>
Transport	2	10	0
Propulsion nucléaire	52	60	0
Armement	224	242	15
Enrichissement et conversion	84	129	5
Fabrication du combustible	36	132	46
Réacteurs de production d'énergie (**)	nc	5 790	1 111
Retraitement	116	1 294	106
Démantèlement des installations nucléaires	149	1 036	121
Effluents, déchets et matériaux récupérables	6	42	6
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	161	418	53
Autres activités (nucléaire)	1	3	3
<b>Total</b>	nd	9 156	1 466

(\*) 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

## ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

Dans le domaine nucléaire, 442 travailleurs ont fait l'objet d'un calcul de dose interne en 2013. Les trois secteurs d'activité les plus concernés sont la fabrication du combustible (254 travailleurs), le secteur de la logistique et de la maintenance (82

travailleurs) et les réacteurs de production d'énergie (63 travailleurs).

Pour 12 travailleurs, la dose efficace engagée estimée dépasse 1 mSv, avec une valeur maximale

de 9 mSv enregistrée pour 1 travailleur du secteur du démantèlement.

## DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Comme en 2012, la limite de 20 mSv en dose efficace a été dépassée pour un travailleur prestataire du secteur des opérations de logistique et de maintenance, la dose enregistrée étant de 42 mSv.

Aucun dépassement de la limite de 500 mSv à la peau ou aux extrémités n'a été enregistré en 2013 dans ce domaine.

## SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

En 2013, 173 événements de radioprotection (ERP) recensés ont impliqué des personnes travaillant dans le nucléaire (tableau 20), en majorité (68%)

dans les réacteurs de production d'énergie, secteur connu pour sa culture déclarative.

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

Secteurs d'activité	Nombre d'événements recensés
Réacteurs de production d'énergie	119
Démantèlement des installations nucléaires	23
Logistique et maintenance du nucléaire (Prestataires)	7
Fabrication du combustible	3
Enrichissement et conversion	8
Retraitement	11
Effluents, déchets et matériaux récupérables	2
<b>Total</b>	<b>173</b>

Sur l'ensemble des événements recensés dans le domaine nucléaire, 167 événements ont été déclarés selon les critères de déclaration au titre de la radioprotection.

Parmi les événements déclarés, 6 ont été classés au niveau 1 de l'échelle INES et 1 événement a été classé au niveau 2. Ce dernier est survenu dans un centre de production d'énergie ; il s'agit d'un intervenant qui a été contaminé au niveau du cou par du cobalt 60. Cet événement a eu pour conséquence l'intégration d'une dose peau supérieure au quart de la limite de dose individuelle annuelle réglementaire. La dose

efficace était, quant à elle, nettement inférieure à la limite réglementaire annuelle.

D'autre part, 6 événements avérés n'ont pas fait l'objet d'une déclaration connue de l'IRSN. Il s'agit d'alertes de dépassement de limite réglementaire de dose.

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 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
1 - Dépassement de la limite de dose individuelle annuelle (réel ou potentiel)	3
2 - Dépassement du quart d'une limite annuelle de dose individuelle	4
3 - Propreté radiologique	14
4 - Analyse de radioprotection formalisée	3
6 - Source	11
7 - Zonage	49
8 - Défaillance non compensée des systèmes de surveillance radiologique permettant d'assurer la protection des personnels présents	3
9 - Contrôle périodique appareil de surveillance radiologique	4
10 - Tout autre écart significatif pour l'ASN ou l'exploitant	76
<b>Total</b>	<b>167</b>



# DOMAINE INDUSTRIEL NON NUCLEAIRE



## *SOMMAIRE*

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

Après l'augmentation de 2012, le nombre total de travailleurs suivis dans le domaine de l'industrie non nucléaire est, cette année, en recul de 3%. La dose collective est, dans le même temps, également en baisse, de 5%. La diminution de la dose collective ne se répercute cependant pas 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) puisque celle-ci augmente de 5% par rapport à 2012 (1,62 mSv en 2013 vs 1,54 mSv en 2012).

- **33 555** travailleurs suivis
- dose collective annuelle :  
**16,58** homme.Sv
- dose individuelle annuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé :  
**1,62** 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 connue : 83% des travailleurs n'ont pas pu être classés suivant la nomenclature des activités (catégorie « Autres »), effectif qui enregistre 85% 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 2,6% de l'effectif total du domaine nucléaire, avec une contribution à la dose collective de 0,3%.

La dose individuelle annuelle maximale enregistrée dans ce domaine en 2013 est de 72 mSv et constitue l'un des 2 dépassements de la limite réglementaire annuelle.

L'analyse de la répartition des effectifs en fonction des niveaux d'exposition montre que, tous secteurs confondus, environ 70% des travailleurs sont non exposés ou ont reçu une dose inférieure au seuil

d'enregistrement. Cette proportion n'est que de 65% pour le secteur des contrôles utilisant des sources de rayonnements mais s'élève à 76% pour le secteur des contrôles par utilisation de gammagraphes ou de générateurs X (cf. figure 29). En considérant l'effectif exposé, il apparaît que le secteur des contrôles utilisant des sources de rayonnements présente une proportion de travailleurs ayant reçu une dose comprise entre 1 et 6 mSv (37%), plus importante que la moyenne du domaine (30%). A l'opposé, cette proportion n'est que de 1% pour le secteur des contrôles par utilisation de gammagraphes ou de générateurs X (cf. figure 30).

Par rapport à 2012, il apparaît des différences d'évolution selon les secteurs du domaine de

l'industrie non nucléaire. Le secteur des contrôles utilisant des sources de rayonnement a connu une baisse importante d'effectif (-31%) qui s'est répercuté de façon générale sur le nombre de travailleurs répertoriés pour chacun des niveaux d'exposition considéré.

Au contraire, la catégorie « Autres » a vu son effectif augmenter de 2%. Au sein de cet effectif, le nombre de travailleurs non exposés ou ayant reçu une dose inférieure au seuil d'enregistrement a augmenté de 7%, de même que celui des travailleurs ayant reçu une dose de 1 à 6 mSv. Dans les autres classes de dose, l'effectif a diminué.

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 6 mSv	de 6 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Contrôles utilisant des sources de rayonnements	3 399	2,26	0,67	1,93	2 226	642	435	95	0	1
Contrôles : utilisation de gammagraphes et générateurs X	1 259	0,05	0,04	0,18	962	293	4	0	0	0
Soudage par faisceau d'électron	181	0,004	0,02	0,35	169	10	2	0	0	0
Production et conditionnement de radio-isotopes	604	0,11	0,18	0,74	455	125	20	4	0	0
Logistique et maintenance (prestataires)	225	0,02	0,11	0,28	139	82	4	0	0	0
Autres	27 887	14,12	0,51	1,66	19 397	5 196	2 638	652	3	1
<b>Total</b>	<b>33 555</b>	<b>16,58</b>	<b>0,49</b>	<b>1,62</b>	<b>23 348</b>	<b>6 348</b>	<b>3 103</b>	<b>751</b>	<b>3</b>	<b>2</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.

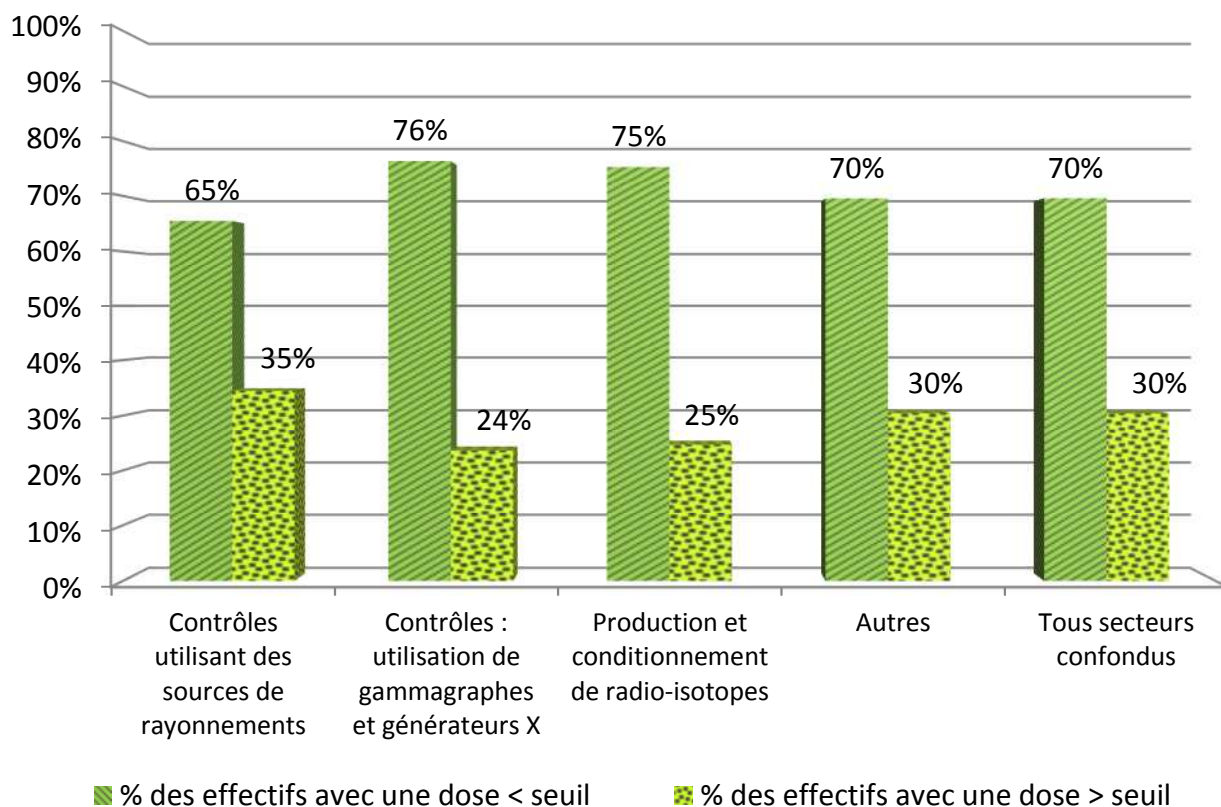


Figure 29 - Répartition des effectifs suivis des principaux secteurs de l'industrie non nucléaire, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose

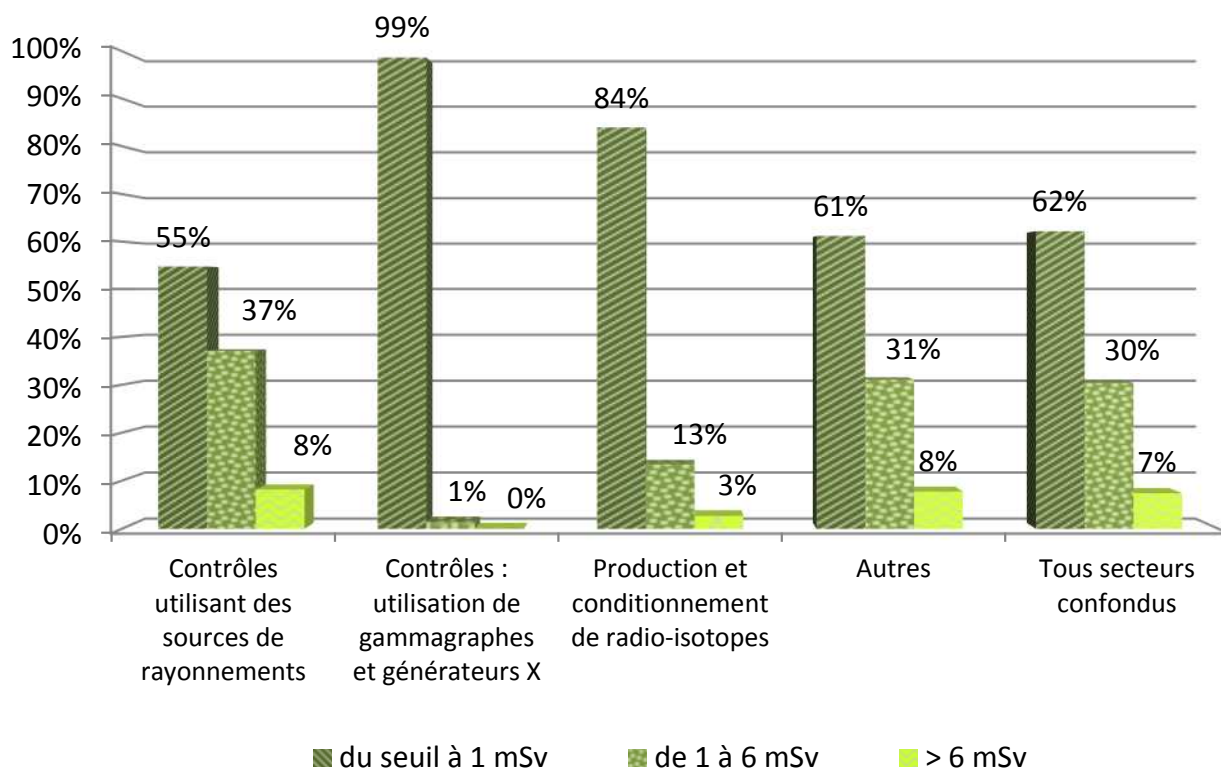


Figure 30 - répartition de l'effectif exposé des principaux secteurs de l'industrie non nucléaire, en fonction de différentes classes de dose efficace corps entier

### Contribution des neutrons

La surveillance de l'exposition aux neutrons a concerné 8 713 travailleurs de l'industrie non nucléaire en 2013 (contre 8 865 en 2012), soit 26% 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 et 8% appartiennent au secteur des contrôles utilisant des sources de rayonnement. L'importance de l'effectif suivi pour l'exposition aux neutrons est

un indice supplémentaire d'une erreur de classification de ces travailleurs par rapport au domaine nucléaire.

La dose collective associée est de 65,5 homme.mSv, ce qui correspond à une réduction de 26% par rapport à 2012. La dose individuelle maximale de 2,74 mSv.

### Evolution sur la période 1996-2013

La figure 31 présente l'évolution de l'effectif suivi et des doses collectives dans l'industrie non nucléaire entre 1996 et 2013.

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 dose collective globale enregistrée en 2013 pour ce domaine s'inscrit dans la même tendance de relative stabilité, que celle des 4 années précédentes.

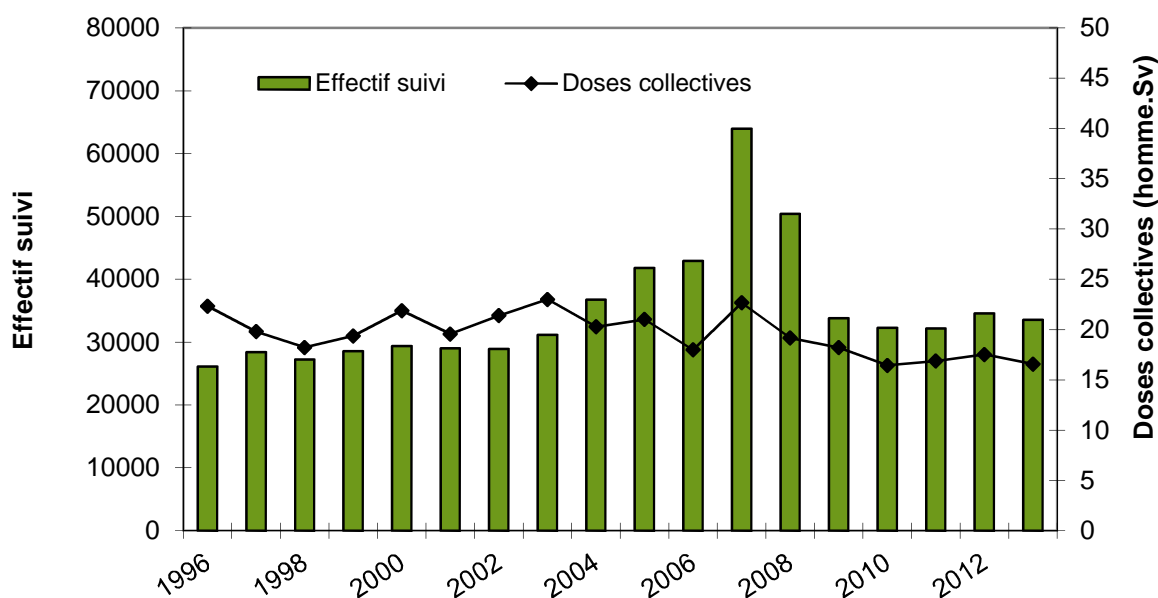


Figure 31 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans l'industrie non nucléaire (période 1996-2013)

## DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2013, 2 628 travailleurs de l'industrie non nucléaire ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités, la dose totale enregistrée étant de 4,05 Sv et la dose individuelle moyenne de 1,5 mSv. Il apparaît que 67% des travailleurs de ce domaine sont non exposés ou ont reçu une dose

### *Dosimétrie par bague*

Dans l'industrie non nucléaire, 55% des effectifs ayant un suivi dosimétrique des extrémités en 2013 portaient un dosimètre bague. La dose totale enregistrée pour les 1 441 travailleurs bénéficiant d'une dosimétrie par bague atteint 3,51 Sv, dose reçue à 98% 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

### *Dosimétrie au poignet*

La dose totale enregistrée pour les 1 187 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet atteint 0,54 Sv. L'activité de 72% des travailleurs est inconnue (cumulant 73% de la dose totale).

Par rapport à l'effectif total suivi par un dosimètre poignet, 73% des travailleurs ne sont pas exposés

inférieure au seuil d'enregistrement, les 33% restants ayant été exposés à moins de 150 mSv, exception faite d'un travailleur qui a enregistré une dose de 153 mSv.

n'ont pas été exposés ou ont reçu une dose inférieure au seuil d'enregistrement ; les 37% restants ont reçu une dose inférieure à 150 mSv à l'exception du travailleur qui a reçu 153 mSv, la dose individuelle maximale enregistrée dans ce domaine.

ou ont reçu une dose aux extrémités inférieure au seuil d'enregistrement et les autres ont reçu une dose inférieure ou égale à 62 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. Toutefois, le nombre d'examens réalisés a été quasiment multiplié par 3 entre 2012 et 2013 (322 examens en 2012 vs 956 en 2013).

Sur les 956 examens réalisés en 2013, 93% sont des analyses radiotoxicologiques urinaires et 7% des examens anthroporadiométriques.

Le tableau 23 détaille la répartition des analyses radiotoxicologiques urinaires par secteur. En 2013, le principal utilisateur de ces analyses est le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes avec un nombre d'analyses passant de 35 à 588 entre 2012 et 2013. L'utilisation des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le secteur des contrôles pour la sécurité des person-

nes 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 2012 avec respectivement 64 et 83 analyses. Environ 1% de l'ensemble des analyses réalisées se sont révélées positives.

Les examens anthroporadiométriques sont majoritairement réalisés dans le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes (59 examens sur 64 au total, 10% d'entre eux ayant conduit à un résultat considéré positif).

**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	25	588	0
Contrôles pour la sécurité des personnes et des biens	41	64	7
Logistique et maintenance dans l'industrie non nucléaire (prestataires)	45	83	0
Autres activités (industrie non nucléaire)	65	157	3
<b>Total</b>	<b>176</b>	<b>892</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

En 2013, 30 examens ont été réalisés dans le cadre d'une surveillance spéciale (contre 227 en 2012). 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. 20% 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	8	8	4
Logistique et maintenance dans l'industrie non nucléaire (prestataires)	4	12	0
Autres activités (industrie non nucléaire)	7	10	2
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>30</b>	<b>6</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

7 travailleurs de l'industrie non nucléaire ont été concernés par un calcul de la dose interne en 2013. Pour 5 d'entre eux, la dose efficace engagée

estimée dépasse 1 mSv, avec une valeur maximale enregistrée de 2,8 mSv.

## DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Deux cas de dépassement de la limite de dose efficace de 20 mSv ont été recensés en 2013, l'un pour un travailleur des secteurs du contrôle par des sources de rayonnements ionisants et le second pour un travailleur du secteur « Autres » de l'industrie non nucléaire. Dans le premier cas, la dose enregistrée correspond à la valeur maximale de 72 mSv enregistrée pour le domaine de

l'industrie non nucléaire. Dans l'autre cas, la dose enregistrée est 25 mSv.

Aucun dépassement de la limite de 500 mSv aux extrémités ou à la peau n'a été enregistré en 2013 dans ce domaine.

## SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Au cours de l'année 2013, 18 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 18 événements, l'IRSN a eu connaissance de 7 déclarations (au titre de la radioprotection selon le guide ASN n°11 concernant les critères de déclaration des événements hors INB et hors transport). Seul 1 événement déclaré a été classé au niveau 1 de l'échelle INES. Cet événement

concerne la mise en œuvre d'un gammagraphe : à la suite de difficultés de fonctionnement du gammagraphe, les opérateurs ont arrêté les contrôles radiographiques et ont transporté l'appareil dans son local d'entreposage. Ils ont ensuite entrepris des manipulations à l'issue desquelles il n'a pas été possible de réintégrer la source dans sa position de sécurité. Cette situation a été détectée par la mise en évidence d'un débit de dose anormalement élevé à l'avant du gammagraphe. Cet événement n'a engendré aucune exposition anormale des travailleurs.

*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	13
Production et conditionnement de radio-isotopes	3
Contrôles pour la sécurité des biens et des personnes	1
Autres usages industriels et de services hors transport	1
<b>Total</b>	<b>18</b>



# DOMAINE DE LA RECHERCHE ET DE L'ENSEIGNEMENT



## *SOMMAIRE*

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES	p 90
Dosimétrie corps entier	p 90
Dosimétrie des extrémités	p 93
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	p 94
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	p 94
Surveillance spéciale	p 95
Estimations dosimétriques	p 95
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	p 95
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	p 95

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 domaines : sciences du vivant, étude des matériaux, applications médicales, applications militaires, etc.

## BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

### DOSIMETRIE CORPS ENTIER

L'effectif suivi dans le domaine de la recherche et de l'enseignement, en diminution par rapport à 2012, est de 13 158 travailleurs. Dans le même temps, les niveaux d'exposition des travailleurs concernés ont sensiblement diminué. La dose collective a ainsi reculé de 19% en passant de 0,46 à 0,38 homme.Sv. La dose individuelle annuelle moyenne de 0,24 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, diminue également en 2013.

- **13 158** travailleurs suivis
- dose collective annuelle :  
**0,38** homme.Sv
- dose individuelle annuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé :  
**0,24** 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 2012, Il apparaît qu'un peu moins d'un tiers des effectifs (30%) appartient au secteur des activités de recherche liées aux installations nucléaires et que plus des deux tiers (70%) interviennent dans les activités d'enseignement et de la recherche autre que médicale ou nucléaire. Cependant, le faible effectif observé pour la recherche médicale, pharmaceutique et vétérinaire (0,4%) 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 9%. 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 2013 est de 10 mSv, enregistrée dans le secteur de la recherche liée aux installations nucléaires.

Dans les deux secteurs principaux de ce domaine, (recherche liée aux installations nucléaires et recherche hors domaines médicale et nucléaire), la proportion de travailleurs dont la dose est en dessous du seuil d'enregistrement est comparable, autour de 88% en 2013 (cf. figure 32). L'analyse de l'effectif exposé (cf. figure 33) montre que l'ensemble des travailleurs, sauf un, sont exposés à moins de 6 mSv. Sur cet ensemble, 98% des travailleurs de la recherche hors domaine médicale ou nucléaire sont exposés à moins de 1 mSv. Ce chiffre est de 94% pour la recherche liée aux installations nucléaires. Aucune évolution notable n'est observée par rapport à 2012, si ce n'est la baisse d'effectif du domaine qui concerne l'ensemble des secteurs.

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 6 mSv	de 6 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Recherche (hors recherche médicale et nucléaire) et enseignement	9 206	0,23	0,02	0,20	8 083	1 101	22	0	0	0
Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique	58	0,004	0,07	0,28	43	15	0	0	0	0
Recherche liée aux installations nucléaires	3 894	0,14	0,04	0,32	3 447	419	27	1	0	0
<b>Total</b>	<b>13 158</b>	<b>0,38</b>	<b>0,03</b>	<b>0,24</b>	<b>11 573</b>	<b>1 535</b>	<b>49</b>	<b>1</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.

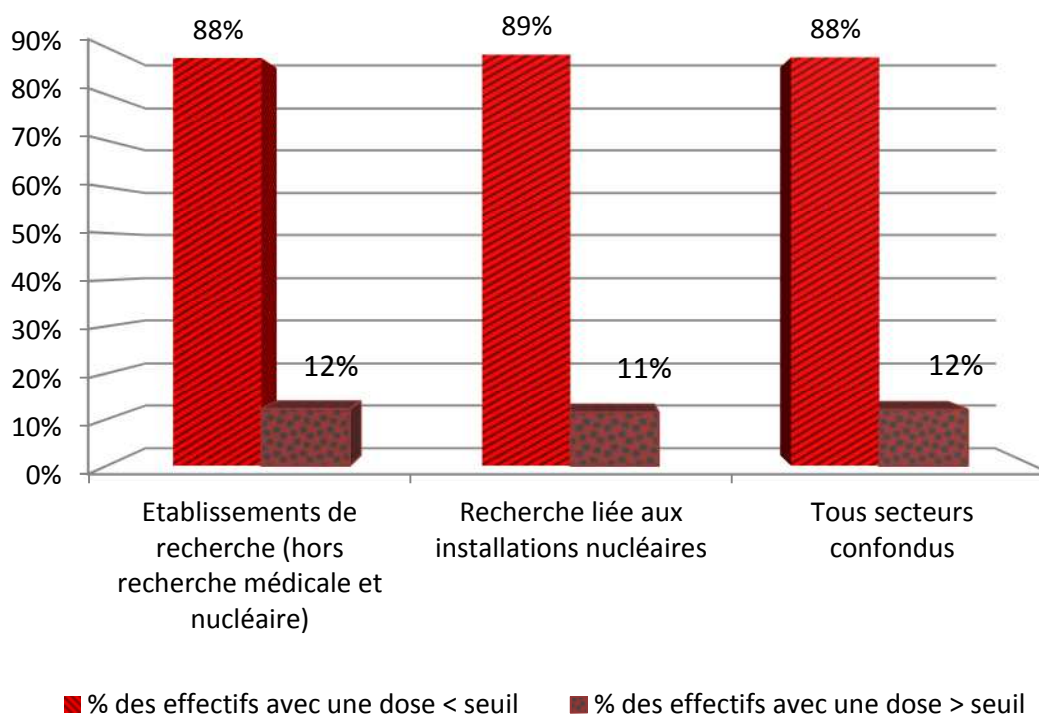


Figure 32 - Répartition des effectifs suivis des secteurs de la recherche et de l'enseignement, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose

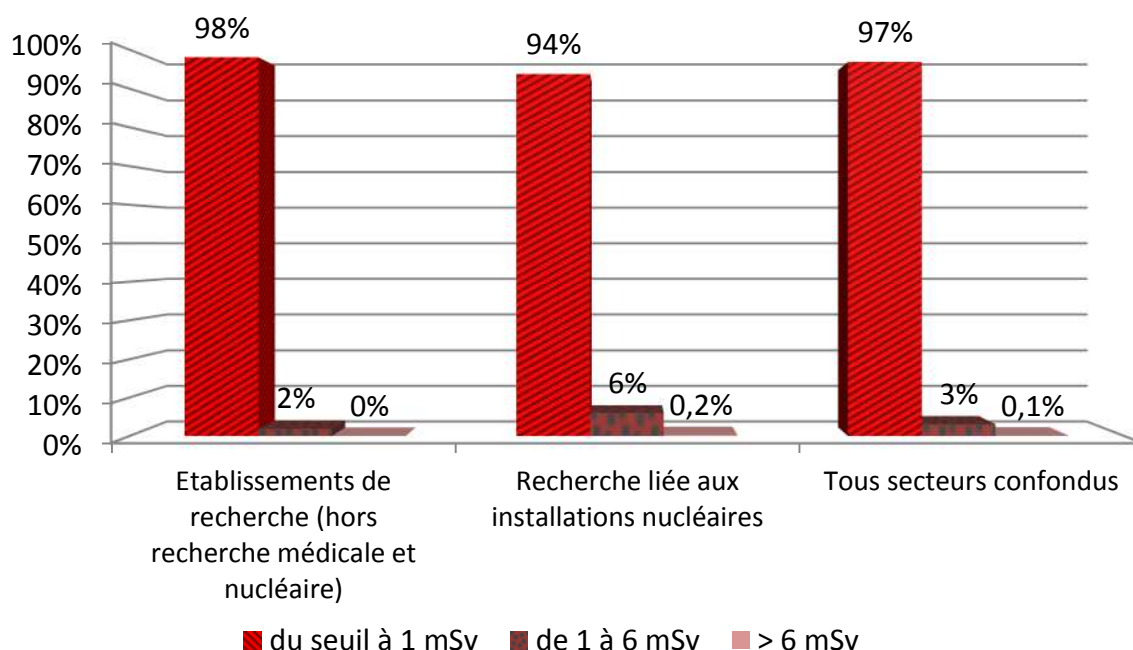


Figure 33 - répartition de l'effectif exposé de la recherche et de l'enseignement, en fonction de différentes classes de dose externe (corps entier)

### Contribution des neutrons

La surveillance de l'exposition aux neutrons a été mise en place pour 3 686 travailleurs du domaine de la recherche en 2013 (soit 28% de l'effectif de ce domaine). Cet effectif est en recul de 13% par rapport à 2012. La dose collective associée est de 26,36 homme.mSv et la dose individuelle maximale

enregistrée de 2 mSv. La majorité de ces travailleurs (64%) intervient dans les activités de la recherche liée aux installations nucléaires ; ils reçoivent 75% de la dose collective neutron de ce domaine.

### Evolution sur la période 1996-2013

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 34). 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 dispersés 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 mSv pour l'ensemble du domaine depuis 2006.

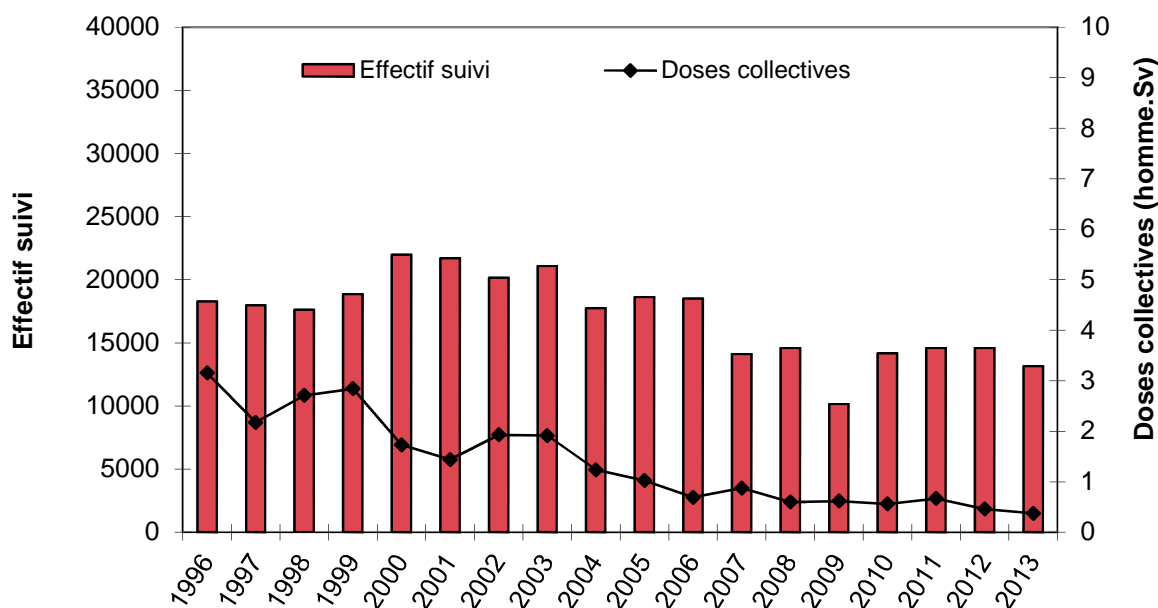


Figure 34 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le domaine de la recherche et de l'enseignement (période 1996-2013)

Alors que depuis 2011 les effectifs étaient plutôt stables, l'année 2013 marque une nouvelle baisse. Pour ce qui concerne la dose collective, 2013

s'inscrit dans la même tendance à la baisse que les deux années précédentes.

## DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2013, 1 781 travailleurs du domaine de la recherche ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités, la dose totale enregistrée étant de 2,61 Sv et la dose individuelle moyenne de

1,5 mSv. Sur l'ensemble de l'effectif 76% sont non exposés ou avec une dose inférieure au seuil d'enregistrement et 24% sont exposés à moins de 150 mSv.

### Dosimétrie par bague

61% des effectifs ayant une dosimétrie des extrémités en 2013 portent un dosimètre bague. La dose totale enregistrée auprès des 1 082 travailleurs bénéficiant d'une dosimétrie par bague atteint 2,55 Sv. Cette dose est reçue à 74% par des travailleurs du secteur de la recherche (hors médical et nucléaire) et à 26% 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 d'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, 63% des travailleurs des installations de recherche liées au nucléaire sont

non exposés et les 37% restants ont reçu une dose inférieure à 86 mSv. Pour le secteur de la recherche et de l'enseignement hors secteurs nucléaire et médical, 74% des travailleurs sont non

exposés et 26% ont reçu une dose inférieure ou égale à 117 mSv, dose individuelle maximale enregistrée dans ce domaine.

### Dosimétrie au poignet

La dose totale enregistrée auprès des 699 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet atteint 0,06 Sv, dont 65% sont reçus au sein des installations de recherche liées au nucléaire et le reste dans le secteur de la recherche (hors médical et nucléaire) et de l'enseignement.

Sur l'effectif total de ce domaine, 87% des travailleurs suivi pour une dosimétrie poignet sont non exposés et les 13% restant ont reçu une dose inférieure ou égale à 9 mSv, dose individuelle maximale enregistrée pour 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 10 260 examens réalisés dans le cadre de la surveillance de routine sont des analyses radiotoxicologiques urinaires (49%), suivies par les examens anthroporadiométriques (42%). Les analyses radiotoxicologiques de prélèvements nasaux et de selles représentent respectivement 5% et 4% des examens réalisés dans ce domaine. Les analyses radiotoxicologiques urinaires sont mises en œuvre majoritairement (78%) dans le secteur des installations de recherche liée au nucléaire (tableau 27). Les 4 analyses positives ont

représenté 0,2% de l'ensemble des analyses urinaires.

En 2013, la mise en place d'un suivi avec des examens anthroporadiométriques a concerné le secteur des installations de recherche liées au nucléaire et celui de la recherche hors domaines médical et nucléaire : 4 309 examens (dont 96% pour le secteur de la recherche liée au nucléaire) ont été réalisés pour 3 462 travailleurs. 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	250	611	3
Installations de recherche liées au nucléaire	1 503	3 969	0
Recherche (hors médical et nucléaire) et enseignement	175	495	1
<b>Total</b>	<b>1 928</b>	<b>5 075</b>	<b>4</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 concerné en majorité le secteur des installations de recherche liées au

nucléaire (58%), puis la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique (30%) (tableau 28). 3 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	76	149	2
Installations de recherche liées au nucléaire	88	284	1
Recherche (hors médical et nucléaire) et enseignement	16	60	0
<b>Total</b>	<b>180</b>	<b>493</b>	<b>3</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 2013, un travailleur du secteur des installations de recherche liées au nucléaire a été l'objet d'un

calcul de dose interne. Toutefois la dose efficace engagée calculée s'est avérée inférieure à 1 mSv.

## DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Aucun dépassement d'une limite annuelle réglementaire de dose n'a été enregistré en 2013

dans le domaine de la recherche et de l'enseignement.

## SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Au cours de l'année 2013, 9 événements ont été recensés dans le domaine de la recherche :

- 6 ERP survenus dans des installations de recherche liées au nucléaire ;
- 2 ERP survenus dans un établissement de recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique ;

- 1 ERP survenu dans un établissement de recherche (autre que nucléaire et médical).

Parmi les événements déclarés, 1 événement a été classé au niveau 1 de l'échelle INES, les autres étant classés au niveau 0. Cet événement concerne la présence d'un faisceau de rayonnements ionisants issu d'un dispositif expérimental, en dehors du bâtiment réacteur, dans une zone non prévue à cet effet. A la lumière des résultats des

investigations conduites sur les personnes ayant circulé dans la zone considérée, cette anomalie n'a pas eu d'impact sur le personnel.

Sur l'ensemble des événements recensés dans ce domaine, 6 événements ont fait l'objet d'une déclaration au titre de la radioprotection, selon les critères de l'ASN.

Les 3 autres événements sont des alertes de dépassement de limite réglementaire de dose qui,

à la connaissance de l'IRSN, n'ont pas fait l'objet d'une déclaration auprès de l'ASN. Dans chaque cas l'exposition correspondante a été infirmée.

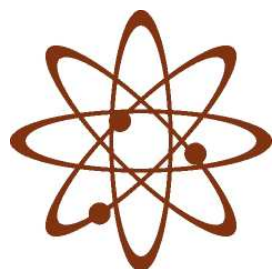
La répartition des 6 ERP du domaine de la recherche, déclarés au titre de la radioprotection est donnée dans le tableau 29, ci-dessous.

**Tableau 29 - Répartition des événements recensés dans le domaine de la recherche (recherche liée aux installations nucléaires) en fonction des critères de déclaration ASN**

Critères de déclaration radioprotection INB	Nombre d'événements recensés
3 - Propreté radiologique	1
4 – Analyse de radioprotection formalisée	1
4.2 – Découverte de sources	1
4.3 – Dispersion de radionucléides	1
10 - Tout autre écart significatif pour l'ASN ou l'exploitant	2
<b>Total</b>	<b>6</b>



# EXPOSITION A LA RADIOACTIVITE NATURELLE



## *SOMMAIRE*

EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE	p 98
EXPOSITION AUX MATERIAUX NORM OU AU RADON D'ORIGINE GEOLOGIQUE	p 99
Evaluation du risque sur les lieux de travail	p 99
Données concernant la surveillance des travailleurs	p 101

## EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE

En 2013, 16 compagnies françaises, dont Air France, avaient un abonnement à SIEVERT. Ainsi environ 22 800 personnels navigants ont bénéficié d'un suivi de leur exposition au rayonnement cosmique tout au long de l'année.

Parmi ces compagnies, seules Air France, et Air Calédonie International ont envoyé à l'IRSN la totalité des doses calculées pour leurs personnels en 2013. Le tableau 30 en présente le bilan. Selon celui-ci, 15% des doses individuelles annuelles en 2013 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 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 1,9 mSv (1,8 mSv en 2012). La dose individuelle annuelle maximale atteint 4,5 mSv, soit une valeur légèrement supérieure à celle de 2012 (4,4 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 2013 des doses individuelles annuelles des personnels navigants de l'aviation civile (compagnies Air France, Air Calédonie International)**

Effectif	Répartition des doses individuelles annuelles (mSv)					Dose moyenne (mSv)	Dose maximale (mSv)
	< 1	1 à 2	2 à 3	3 à 4	4 à 5		
18 979	2 931 (15,4%)	6 961 (36,7%)	7 399 (39,0%)	1 669 (8,8%)	19 (0,1%)	1,9	4,5

**Tableau 31 - Bilan 2013 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		
476	476 (100%)	0	0,3	0,9

## 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. L'entrée en vigueur de l'arrêté du 17 juillet 2013 relatif à la carte de suivi médical et au suivi dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants vient aujourd'hui compléter ce dispositif en spécifiant les modalités pratiques de suivi dosimétrique des travailleurs concernés par une exposition à la radioactivité naturelle (cf. p 13).

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 les doses efficaces présentées par les industriels dans les 77 dossiers présentés en 2009. 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

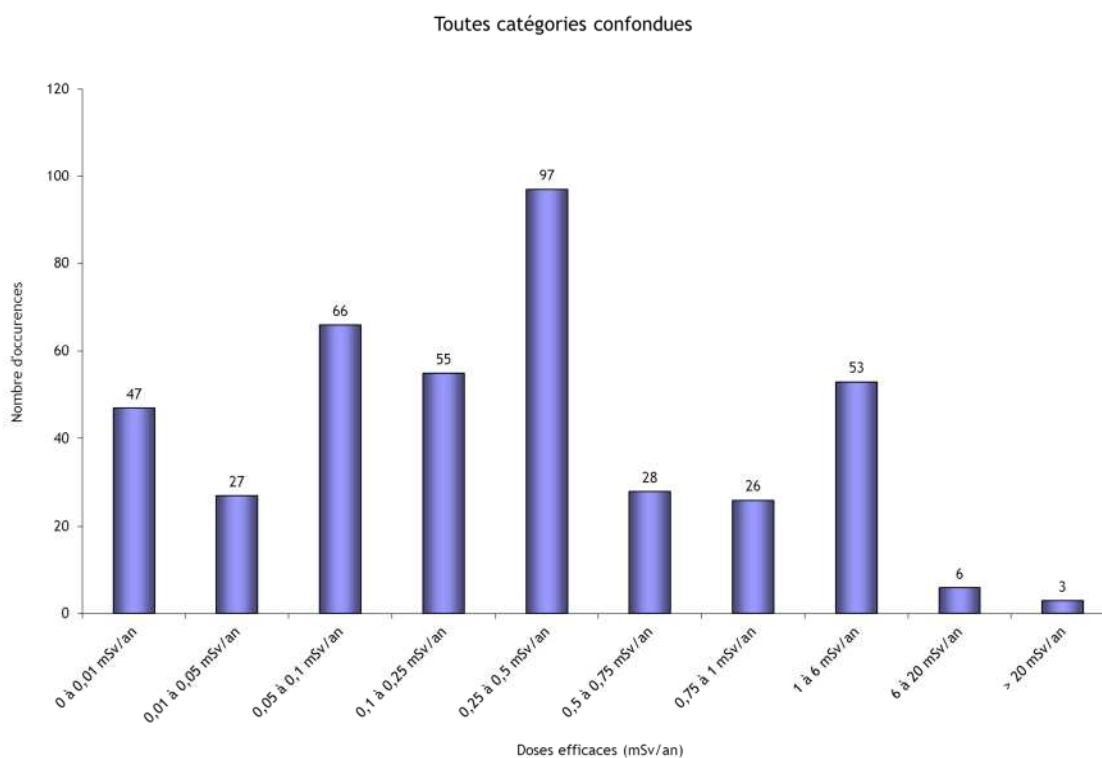
du thorium sont rares mais mettent en évidence que dans certains cas, ces doses peuvent atteindre plusieurs dizaines de mSv/an du fait de l'inhalation de poussières.

- 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 35 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 2013, aucune nouvelle étude produite en application de cet arrêté n'a été transmise à l'IRSN.



**Figure 35 - Distribution des doses efficaces calculées par les industriels pour les travailleurs, toutes catégories d'activités professionnelles confondues (période 2005-2012)**

**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 a mis en place, fin 2009, deux nouveaux cursus de formation destinés aux organismes désirant obtenir les agréments Niveau 1 option A (mesure dans tous types de bâtiment) et Niveau 1 option B (mesure dans les cavités et ouvrages souterrains) de l'ASN. Pour l'année 2013, trois sessions de formation ont été organisées, une pour chaque type d'agrément.

A l'issue de la commission d'agrément de juin 2013, 44 organismes disposent de l'agrément niveau 1 option A et 9 organismes du niveau 1 option B.

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 une cinquantaine de rapports de dépistage que l'IRSN a reçus, dont 8 en 2013 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 Working Group 17 du 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 CONCERNANT LA 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 244 travailleurs suivis en dosimétrie externe exercent dans les secteurs suivants : recherche et développement dans les domaines 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.

251 travailleurs sont suivis pour leur exposition interne, dont 47% exercent dans le secteur de la manipulation et du stockage de matière première contenant de la radioactivité naturelle, 41% dans le secteur de l'extraction et du traitement du minerai d'uranium dans le domaine nucléaire et 12% travaillant 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 concernant 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 présentées ici.  
concernées ne sont pas incluses dans le bilan

**Tableau 32 - Données concernant 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 6 mSv	de 6 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
244	0,059	0,24	0,26	18	219	7	0	0	0

**Tableau 33 - Données concernant 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 6 mSv	de 6 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
251	0,05	0,19	0,25	61	183	7	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 dans le domaine de la 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 évaluer au mieux les enjeux des situations rencontrées, notamment dans le contexte des évolutions technologiques, réglementaires ou normatives, de définir des doctrines permettant à terme d'optimiser et d'harmoniser les pratiques en France, mais aussi à une plus large échelle. Ces travaux mobilisent les experts mais aussi les chercheurs de l'IRSN, en fonction de leur complexité ou de leur degré d'avancement. Pour l'année 2013, ces travaux ont en particulier concerné la sécurité des personnes contre les risques résultant des installations à rayons X (aide à la mise en œuvre de la nouvelle norme NF C 15-160), l'assistance auprès des professionnels en cas de suspicion d'une contamination interne, les besoins liés aux perspectives d'abaissement de la limite de dose au cristallin ou le système SISERI.

### LES NOUVELLES NORMES DE BASE EUROPEENNES RELATIVES A LA PROTECTION SANITAIRE CONTRE LES DANGERS DES RAYONNEMENTS IONISANTS

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 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 publiées en 2011.

La France dispose d'un délai de quatre ans pour transposer la nouvelle 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 est fortement impliqué dans ces travaux préliminaires à la transposition de cette nouvelle directive. Ainsi, pour les questions de surveillance dosimétrique, l'Institut participe-t-il 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 a 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.

En parallèle à cette réflexion nationale, l'IRSN s'implique également au niveau européen. Dans la perspective de l'entrée en vigueur progressive de la nouvelle directive, la Commission Européenne a souhaité disposer d'un outil :

- d'information et d'échanges entre les experts de la radioprotection sur leur expérience, en disposant des données permettant d'apprécier les évolutions de

dose, selon les secteurs d'activité dans les différents pays ;

- d'aide à la commission pour suivre la mise en œuvre harmonisée des exigences communautaires en matière de surveillance individuelle et de protection radiologique des travailleurs, telles que déclinées dans la nouvelle directive.

Le développement de cet outil a été confié à l'IRSN, suite à un appel d'offre de la Commission européenne. Après un démarrage du projet au tout début de l'année 2013, cette plateforme « ESOREX-Platform » est à l'état de prototype à mi-2014 et sera finalisée dans le courant de l'année 2015. Elle pourra alors s'ouvrir à tous les pays qui souhaiteront adhérer à l'initiative. A l'issue du projet qui s'achèvera en décembre 2015, une infrastructure et des mécanismes pérennes permettant un fonctionnement durable de la plateforme ESOREX, devront alors être mis en place.

## RECHERCHES ET RECOMMANDATIONS DE RADIOPROTECTION EN MATIERE D'EXPOSITION DU CRISTALLIN

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.

Le cristallin de l'œil est un tissu radiosensible. Exposé aux rayonnements ionisants, il développe 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 (millisieverts). 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 2013/59 publiée en décembre 2013. Cette dernière devra être transposée en droit français d'ici au 6 février 2018.

Pour approfondir les connaissances de ce domaine, l'IRSN a répondu à un appel européen à projets en

proposant une étude baptisée EURALOC. S'il est retenu, ce projet, piloté par le SCK-CEN (Belgique) et réunissant dosimétristes et épidémiologistes sera 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'appuiera en particulier sur l'expérience de l'étude O'CLOC et sur les travaux du projet européen ELDO qui avaient 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.

En parallèle à ces travaux scientifiques, l'IRSN apporte également son appui technique aux autorités en formulant des recommandations en matière de radioprotection dans la perspective de l'abaissement de la limite de dose équivalente pour le cristallin.

En premier lieu, il s'agit d'identifier les activités et/ou les situations à risque nécessitant une surveillance dosimétrique du cristallin. L'IRSN estime ainsi que le risque d'exposition du cristallin



concerne principalement le domaine médical, en termes de nombre de travailleurs concernés. Les secteurs concernés sont notamment la radiologie interventionnelle, qu'elle soit réalisée dans des salles dédiées ou dans des blocs opératoires, la médecine nucléaire, la curiethérapie et la recherche biomédicale.

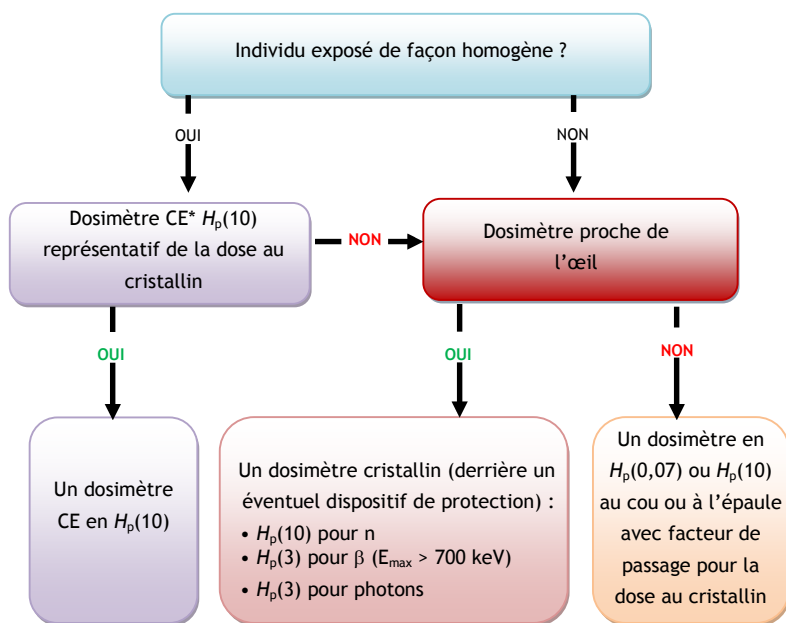
En ce qui concerne les domaines industriel et nucléaire, il semble plus difficile d'apprécier précisément les besoins d'une surveillance dosimétrique du cristallin. Certaines activités, comme par exemple les opérations en boîtes à gants, le démantèlement des installations, la manipulation du plutonium ou certaines opérations de maintenance ont d'ores-et-déjà été identifiées comme susceptibles d'induire une exposition du cristallin supérieure à celle du corps entier.

Pour toutes les situations où l'exposition du cristallin n'est pas ou est mal connue, l'IRSN recommande de réaliser des études pour évaluer cette exposition et, de manière plus générale, intégrer systématiquement la problématique de la dose au cristallin dans toute étude de poste.

Le second enjeu en termes de radioprotection est de définir une surveillance adaptée associée à une grandeur dosimétrique opérationnelle. L'IRSN recommande ainsi la démarche résumée sur la figure 36.

L'Institut considère enfin que la perspective du prochain abaissement de la limite de dose au cristallin oblige à identifier les moyens de protection individuelle et collective à mettre en œuvre compte tenu de l'évolution des pratiques. Des dispositifs efficaces existent, même si les contraintes liées à leur utilisation rendent à ce jour leur acceptation par le personnel assez incertaine (en particulier les lunettes de protection). Du temps et une adhésion de l'ensemble des acteurs concernés, dont au premier chef les personnels du secteur médical, seront nécessaires pour déployer ces moyens de manière totalement opérationnelle sur le terrain et être en mesure de respecter la nouvelle limite réglementaire annuelle qui s'annonce.

Une formation et une sensibilisation des opérateurs et des acteurs de la radioprotection à tous les « outils » permettant de réduire la dose au travailleur, tant par la conception des équipements au niveau de la source que par le déploiement des protections individuelles du cristallin seront également indispensables.



\* CE : Corps Entier

Figure 36 : Principe de la démarche conduisant à définir les modalités de la surveillance dosimétrique du cristallin.

## UNE NECESSAIRE EVOLUTION DU SYSTEME D'INFORMATION SISERI

---

Le retour d'expérience des premières années de fonctionnement du système SISERI ont mis en évidence :

- des manques dans la nature des données enregistrées au vu des objectifs assignés à l'outil en termes de statistiques sur l'exposition des travailleurs dans les différents domaines/ secteurs d'activité ;
- des besoins d'amélioration pour permettre une meilleure utilisation de l'outil par les PCR et les MDT.

S'en est alors suivi une réflexion en vue de réviser l'arrêté du 30 décembre 2004, cadrant le fonctionnement de SISERI. Cette révision 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.

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 avec une ouverture progressive de la nouvelle version aux utilisateurs entre le 10 février et le 10 mars 2014. Ceci a permis d'offrir une période d'appropriation des nouvelles fonctionnalités aux utilisateurs, avant l'entrée en vigueur de l'arrêté du 17 juillet 2013, le 1er juillet 2014.

### *Les nouvelles fonctionnalités de SISERI*

Les employeurs seront à cette date 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 devront désigner un Correspondant SISERI de l'Employeur (CSE) ; celui-ci disposera d'un accès sécurisé à SISERI, lui permettant de renseigner les informations requises. La désignation de ce CSE est comparable à la désignation actuelle de la PCR et du MDT : elle se fera 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 seront 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 pourra 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 recevra, 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 disposera 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 seront offertes afin de permettre des regroupements en sous-listes qui pourront être en adéquation avec le découpage opérationnel (regroupement en sous-unités, par établissement...). Des possibilités de téléchargement par le CSE ou le PCR de listes de travailleurs comprenant les informations administratives requises par l'arrêté seront offertes. Avec ces facilités, l'employeur pourra 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 préparera une carte de suivi médical virtuelle pré-remplie, pour chacun des travailleurs. En se connectant sur SISERI, le médecin du travail pourra visualiser cette carte, la compléter des informations relevant de ses obligations (date de la visite médicale, absence de contre-indications

à effectuer des travaux sous rayonnement). Le médecin pourra alors imprimer cette carte, la signer et apposer son cachet, en vue de la remettre au travailleur. Les accès du médecin du travail aux résultats dosimétriques du travailleur restent identiques aux accès actuels.

*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 par rapport aux accès actuels. La PCR aura en plus 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 seront de plus 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.

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

## Bilan de l'année 2013

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

- Effectif total suivi : 352 082 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 68,47 homme.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'ensemble des travailleurs suivis : 0,19 mSv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'ensemble des travailleurs suivis ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement : 0,88 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 1 mSv : 13 892 travailleurs (soit 3,4% 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 : aucun travailleur

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

- Nombre d'examens de routine réalisés : 354 878 examens (dont moins de 1% considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 461 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée > 1 mSv : 18 travailleurs

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

- Dose collective pour 18 979 personnels navigants : 36,08 homme.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne: 1,9 mSv

## Evolution sur les 5 dernières années (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 une dose $\geq$ 1mSv	Effectif ayant une dose $\geq$ 20mSv
2009	319 091	65,68	0,21	0,89	4,6%	15
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 (*)

(\*) au 30/04/2014

## CONCLUSIONS

La veille permanente en matière de radioprotection des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants constitue l'une des missions importantes de service public de l'IRSN. Dans ce cadre, l'Institut établit chaque année un bilan des expositions des travailleurs dans tous les secteurs d'activité soumise à un régime d'autorisation ou de déclaration en application du code de la santé publique (industrie nucléaire, industrie non nucléaire, applications médicales et vétérinaires, recherche) ainsi que des travailleurs de la défense et de ceux exposés à des sources naturelles de rayonnement sur leur lieu de travail.

Les chiffres clefs pour l'année 2013 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 2009-2013 une progression régulière du nombre de travailleurs suivis, de l'ordre de 4% chaque année, mais un léger recul (-0,7%) en 2013. La progression des dernières années est principalement due à l'augmentation du nombre de travailleurs suivis dans le domaine des activités médicales et vétérinaires et, dans une moindre mesure, dans le domaine nucléaire. La situation de l'année 2013 connaît des disparités suivant les secteurs d'activité. Alors que le domaine des activités médicales et vétérinaires voit ses effectifs progresser de 1,1%, tous les autres domaines enregistrent une diminution (de 3% pour l'industrie nucléaire et non nucléaire à 10% pour le domaine de la recherche).

Concernant la dose collective associée, les variations observées d'une année sur l'autre (de -5 à +10%) traduisent principalement des différences d'activité dans le domaine nucléaire (en particulier dans le secteur des réacteurs de production d'énergie, où des opérations importantes de maintenance de type visite décennale ont, par exemple, été reportées de 2010 à 2011). La dose collective enregistrée en 2013 est en très légère baisse par rapport à celle des quatre années précédentes. Cette évolution est cependant masquée par un cas exceptionnel de dépassement de la limite réglementaire de dose qui s'élève à

plus de 7 Sv, soit 11% de la dose collective totale en 2013, alors que l'ensemble des dépassements enregistrés en 2012 ne représentaient que 1,3% de la dose collective totale de cette année-là. En tenant compte de cette valeur de 7 Sv, la dose collective enregistrée en 2013 atteint 68,47 Sv.

La part de l'effectif ayant enregistré une dose annuelle supérieure à 1 mSv (limite annuelle réglementaire pour le public) est stable sur la période 2009-2013, de l'ordre de 4%. 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 15.

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 2013, 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, avec respectivement 1,62 mSv et 1,27 mSv. Dans les activités médicales et vétérinaires, ainsi que dans la recherche, la dose annuelle moyenne reste inférieure à 0,6 mSv (respectivement égale à 0,57 mSv et 0,24 mSv).

Par rapport à 2012, dans l'ensemble des domaines sauf l'industrie non nucléaire, le nombre de travailleurs non exposés ou ayant reçu une dose inférieure au seuil d'enregistrement diminue, de façon plus marquée que la réduction de l'effectif total par domaine. Cette diminution s'accompagne généralement d'une hausse du nombre de travailleurs ayant reçu une dose comprise entre le seuil d'enregistrement et 1 mSv, sauf dans le cas de l'industrie nucléaire où l'augmentation concerne davantage les classes de dose « de 1 à 6 mSv » ou « plus de 6 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. 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.



## 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

*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

