

**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 2015



# L'IRSN,

établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC)

- dont les missions sont désormais définies par la Loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (TECV)

- est l'expert public national des risques nucléaires et radiologiques. L'IRSN concourt aux politiques publiques en matière de sûreté nucléaire et de protection de la santé et de l'environnement au regard des rayonnements ionisants. Organisme de recherche et d'expertise, il agit en concertation avec tous les acteurs concernés par ces politiques, tout en veillant à son indépendance de jugement.

L'IRSN est placé sous la tutelle conjointe du ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, du ministère de l'Education nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, du ministère des Affaires sociales et de la Santé, du ministère de la Défense.

*IRSN is a public institution with industrial and commercial activities (EPIC). IRSN's missions have been consolidated by the*

*Act No. 2015-992 of 17 August 2015 concerning Energy Transition and Green Growth (TECV)*

*- is the national public expert on nuclear and radiological risks. IRSN contributes to public policies in the fields of nuclear safety and ionizing radiation protection for public health and environment. As a research and scientific institution it acts in consultation with all stakeholders concerned by these policies, while preserving its independence of judgment.*

*IRSN is placed under the joint authority of the Ministry of environment, Energy and Marine Affairs, the Ministry of Education, Higher Education and Research, the Ministry of Social Affairs and Health, the Ministry of Defence.*

L'Institut compte environ

## 1 700 collaborateurs

parmi lesquels de nombreux ingénieurs, médecins, agronomes, vétérinaires, techniciens, experts et chercheurs.

Pour mener à bien ses missions, l'IRSN dispose d'un

## budget d'environ 300 M€.

# 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. La loi N° 2015-992 du 17 août 2015 sur la transition énergétique par la croissance verte (TECV), puis le décret n°2016-283 du 10 mars 2016 confirment les missions d'expertise et de recherche de l'Institut. Comme les agences de sécurité sanitaire, celui-ci 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 2015, compte tenu notamment de la nature des activités professionnelles, conformément aux dispositions de l'article R. 4451-128 du Code du travail.

---

## 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 2015 dans le cadre des activités soumises à autorisation ou à déclaration est en augmentation de 1,7 % par rapport à 2014, avec 365 830 travailleurs. Parallèlement, la dose collective<sup>1</sup> mesurée par dosimétrie externe passive s'établit à 61,9 h.Sv pour 2015, contre 56,3 h.Sv en 2014. Avec une hausse de 10 %, cette valeur revient dans la fourchette de celles observées entre 2009 et 2013. La dose individuelle moyenne sur l'ensemble de l'effectif suivi est stable par rapport à l'année précédente. Parmi les 14 138 travailleurs ayant reçu plus de 1 mSv (limite annuelle réglementaire fixée pour la population générale), 2 606 travailleurs ont reçu une dose supérieure à 5 mSv<sup>2</sup>. Une dose externe annuelle supérieure à 20 mSv (limite réglementaire de la dose efficace fixée pour les travailleurs) a été enregistrée pour 2 travailleurs. Un cas de dépassement de la limite de dose équivalente aux extrémités (500 mSv) a également été enregistré.

Ces tendances générales masquent cependant des disparités importantes dans la répartition des effectifs et des doses selon les domaines d'activité. Ainsi, le domaine médical et vétérinaire, qui regroupe la majorité des effectifs suivis (62,4 %), et le domaine de la recherche (3,6 % des effectifs) présentent les doses individuelles moyennes<sup>3</sup> les plus faibles, inférieures à 0,4 mSv. Les travailleurs du nucléaire et de l'industrie non nucléaire, représentant ensemble 30,1 % des effectifs suivis, reçoivent les doses individuelles moyennes les plus élevées (respectivement 1,17 mSv et 1,38 mSv).

Pour ce qui concerne le suivi de l'exposition interne, 279 877 analyses ont été réalisées en routine en 2015. Ce nombre d'analyses est en diminution par rapport à 2014. La répartition entre les différents types d'analyse est de 52 % d'analyses radiotoxicologiques des excréta vs 48 % d'analyses anthropo-radiométriques. Le nombre de cas avérés de contamination interne reste faible : en 2015, 2 travailleurs ont eu une dose efficace engagée<sup>4</sup> supérieure à 1 mSv, la dose engagée maximale étant de 3 mSv pour l'un d'eux.

Concernant l'exposition à la radioactivité naturelle, ce rapport présente notamment un bilan dosimétrique des personnels navigants civils et militaires, soumis au rayonnement cosmique, ainsi que les données ou les tendances pour les personnes soumises au radon, voire à d'autres descendants de l'uranium et du thorium. En particulier, avec un effectif total de 19 565 personnes enregistrées en 2015, la dose individuelle moyenne de la population de l'aviation civile est en légère augmentation (2,0 mSv vs 1,8 mSv en 2014), la dose individuelle maximale s'élevant à 4,4 mSv.

---

## MOTS-CLES

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

---

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

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

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

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

---

---

## ABSTRACT

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

365 830 workers within activities subject to authorization or declaration were monitored by passive dosimetry in 2015, which represents an increase by 1.7 % compared to 2014. The average individual dose in 2015 was very close to the value in 2014. Furthermore, 14 138 workers received more than 1 mSv (i.e. the legal dose limit for the public), and 2 606 workers received more than 5 mSv. 2 workers received more than 20 mSv (i.e. the dose limit for the workers in the French regulation). As a result, the collective dose increased from 56.3 to 61.9 man.Sv (10 %), thus reaching the same level as in the years 2009 to 2013. Important differences are noticed according to the occupational activities: the average dose<sup>5</sup> in the medical and veterinary field (which represents 62.4 % of the monitored workers) and that in the research field (3.6 % of the monitored workers) are less than 0.4 mSv; the average doses are higher in the nuclear field and in the non-nuclear industry (representing together 30.1 % of the monitored workers), respectively 1.17 mSv and 1.38 mSv.

Concerning internal dosimetry, 279 877 individual examinations have been performed in 2015, 52 % of which are radiotoxicological analysis of excreta and 48 % are direct body countings. In 2015, 2 workers had a committed effective dose greater than or equal to 1 mSv and the maximum dose was 3 mSv.

Data or trends relative to workers exposed to natural radioactivity are also dealt with in this report (aircrews, personnel subjected to radon exposure). In particular, results of aircrew dosimetry are reported: in 2015, the average individual dose of 19 565 aircrew members was 2.0 mSv and the maximum individual dose was found to be 4.4 mSv.

---

## KEY-WORDS

Workers, doses, assessment of occupational exposure, categories of practice, workplaces, events

---

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

# SOMMAIRE

TABLES DES ILLUSTRATIONS	7
TABLE DES FOCUS	9
PRINCIPALES ABREVIATIONS	10
LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS	11
RESULTATS GENERAUX HORS RADIOACTIVITE NATURELLE	43
DOMAINE DES ACTIVITES MEDICALES ET VETERINAIRES	61
DOMAINE NUCLEAIRE	77
DOMAINE INDUSTRIEL NON NUCLEAIRE	93
DOMAINE DE LA RECHERCHE ET DE L'ENSEIGNEMENT	103
EXPOSITION A LA RADIOACTIVITE NATURELLE	111
ENJEUX ACTUELS EN RADIOPROTECTION	117
CHIFFRES CLEFS DE LA SURVEILLANCE DES EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES AUX RAYONNEMENTS IONISANTS	122
CONCLUSIONS	123
REFERENCES	124
ANNEXE : NOMENCLATURE DES SECTEURS D'ACTIVITE	126

# TABLE DES ILLUSTRATIONS

## LISTE DES FIGURES

---

Figure 1 - Mesure anthroporadiométrique pulmonaire à l'aide de détecteurs GeHP	18
Figure 2 - Mesure de la radioactivité au sein d'échantillons urinaires par spectrométrie $\gamma$ dans le cadre d'analyses radiotoxicologiques	19
Figure 3 - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs	22
Figure 4 - Description du fonctionnement du système SISERI	26
Figure 5 - Fantôme anthropomorphe corps entier « VICTOR »	33
Figure 6 - Fantôme anthropomorphe pulmonaire LIVERMORE	33
Figure 7 - Traitement des alertes de dépassement d'une limite annuelle réglementaire	35
Figure 8 - Vues du laboratoire mobile d'anthroporadiométrie LMA	37
Figure 9 - Répartition (en pourcentage) des effectifs suivis par rapport au seuil d'enregistrement de la dose	47
Figure 10 - Répartition (en pourcentage) de l'effectif exposé en fonction de différentes classes de dose efficace par exposition externe	47
Figure 11 - Répartition des effectifs suivis et des doses collectives pour la dosimétrie des neutrons en 2015	48
Figure 12 - Evolution des effectifs suivis et de la dose collective (photons + neutrons) de 1996 à 2015	49
Figure 13 - Evolution des effectifs suivis et de la dose collective « neutrons » de 2005 à 2015	49
Figure 14 - Répartition des effectifs suivis et des doses enregistrées aux extrémités en 2015	51
Figure 15 - Importance relative de la surveillance de l'exposition aux extrémités par dosimétrie par bague ou au poignet en 2015, suivant les domaines d'activité	51
Figure 16 - Répartition des effectifs suivis et des doses enregistrées au cristallin en 2015	52
Figure 17 - Nombre d'examens selon les types d'analyses mises en œuvre dans la surveillance de l'exposition interne pour les différents domaines d'activités en 2015 (surveillance de routine)	54
Figure 18 - Evolution, de 2006 à 2015, du nombre de travailleurs avec une dose engagée supérieure à 1 mSv	56
Figure 19 - Evolution, de 1996 à 2015, du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv	57
Figure 20 - Répartition par domaine d'activité du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (période 2004-2015)	58
Figure 21 - Répartition des événements entre les domaines d'activité	59
Figure 22 - Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis des principaux secteurs médicaux et vétérinaires, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose	64
Figure 23 - Répartition (en pourcentages) de l'effectif exposé des principaux secteurs médicaux et vétérinaires, en fonction de différentes classes de dose externe corps entier	64
Figure 24 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (période 1996-2015)	66
Figure 25 - Répartition des doses enregistrées pour la dosimétrie par bague en 2015 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires	67
Figure 26 - Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis des principaux secteurs de l'industrie nucléaire, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose	81
Figure 27 - Répartition de l'effectif exposé des principaux secteurs de l'industrie nucléaire, en fonction de différentes classes de dose externe corps entier	81
Figure 28 - Répartition des effectifs et des doses enregistrées en 2015 pour la dosimétrie neutron dans le nucléaire civil et militaire	82
Figure 29 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le nucléaire civil et militaire (période 1996-2015)	83

---

Figure 30 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans l'industrie non nucléaire (période 1996-2015)	96
Figure 31 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le domaine de la recherche et de l'enseignement (période 1996-2015)	106
Figure 32 - Distribution des doses efficaces calculées par les industriels pour les travailleurs, toutes catégories d'activités professionnelles confondues (période 2005-2015)	114

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Valeurs limites d'exposition	11
Tableau 2 - Panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2015	15
Tableau 3 - Limites de détection des principales techniques de dosimétrie interne mises en œuvre en France en 2015	21
Tableau 4 - Surveillance de l'exposition externe dans les activités soumises à un régime d'autorisation ou de déclaration	45
Tableau 5 - Exposition interne : surveillance de routine dans les différents domaines d'activité en 2015	54
Tableau 6 - Exposition interne : surveillance spéciale dans les différents domaines d'activité en 2015	55
Tableau 7 - Dépassements des limites annuelles réglementaires de doses : bilan 2015	57
Tableau 8 - Evolution des événements concernant des travailleurs sur la période 2005 - 2015	60
Tableau 9 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine des activités médicales et vétérinaires	63
Tableau 10 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine des activités médicales et vétérinaires	70
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	70
Tableau 12 - Répartition par secteurs d'activité des événements survenus dans le domaine des activités médicales et vétérinaires	71
Tableau 13 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine nucléaire	80
Tableau 14 - Secteur d'activité de rattachement des établissements intervenant dans le domaine nucléaire (exposition interne)	84
Tableau 15 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine nucléaire	85
Tableau 16 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de selles dans le domaine nucléaire	86
Tableau 17 - Surveillance de routine par comptages sur prélèvements nasaux dans le domaine nucléaire	87
Tableau 18 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques dans le domaine nucléaire	87
Tableau 19 - Examens réalisés à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale) dans le domaine nucléaire	88
Tableau 20 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine nucléaire	90
Tableau 21 - Répartition des événements recensés dans le domaine nucléaire en fonction des critères de déclaration ASN	90
Tableau 22 - Surveillance de l'exposition externe dans l'industrie non nucléaire	95
Tableau 23 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans l'industrie non nucléaire	98
Tableau 24 - Examens réalisés à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale) dans l'industrie non nucléaire	99

Tableau 25 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans l'industrie non nucléaire.....	100
Tableau 26 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine de la recherche et de l'enseignement .....	105
Tableau 27 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine de la recherche et de l'enseignement .....	108
Tableau 28 - Analyses 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 .....	108
Tableau 29 - Répartition des événements recensés dans le domaine de la recherche en fonction des critères de déclaration ASN .....	109
Tableau 30 - Bilan 2015 des doses individuelles annuelles des PN civils .....	112
Tableau 31 - Bilan 2015 des doses individuelles annuelles des PN militaires .....	112
Tableau 32 - Données relatives à l'exposition externe aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium .....	116
Tableau 33 - Données relatives à l'exposition interne aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium .....	116

## TABLE DES FOCUS

Surveillance de l'exposition aux neutrons .....	16
Recommandations de bonnes pratiques pour la surveillance médico-professionnelle de l'exposition interne aux radionucléides en INB.....	17
Exposition des personnels navigants au rayonnement cosmique .....	23
Le renseignement des données administratives dans SISERI par les employeurs.....	29
Quelles sont les données présentes dans le registre national SISERI ? .....	30
Exposition des professionnels médicaux : analyse partielle pour le personnel de trois hôpitaux de l'AP-HP .....	68
Contamination à la peau d'intervenants en centre nucléaire de production d'électricité .....	91
Incident d'exposition lors d'une activité de radiographie industrielle .....	101
Découverte de sources anciennes au sein d'un laboratoire de recherche.....	110

## PRINCIPALES ABREVIATIONS

AFNOR : Association française de normalisation  
 AP-HP : Assistance Publique - Hôpitaux de Paris  
 ASN : Autorité de Sûreté Nucléaire  
 BSS : Basic Safety Standards (directive 2013/59/EURATOM du 5 décembre 2013)  
 CEA : Commissariat à l'Énergie Atomique et aux énergies alternatives  
 CEI : Commission Electrotechnique Internationale  
 CIPR : Commission Internationale de Protection Radiologique  
 CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique  
 CNPE : centre nucléaire de production d'électricité  
 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 Evénements de Radioprotection, Incidents, Accidents  
 ERP : Evénement de Radioprotection  
 ESNA : Escadrille des Sous-marins Nucléaires d'Attaque  
 ESR : Evénement Significatif en Radioprotection  
 ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement  
 INES : International Nuclear Event Scale  
 INB : Installation Nucléaire de Base  
 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  
 MDT : Médecin du Travail  
 NORM : Naturally Occurring Radioactive Materials  
 OSL : Optically Stimulated Luminescence  
 PCR : Personne Compétente en Radioprotection  
 PN : Personnel Navigant  
 RIA : Analyses Immunologiques Radioactives  
 RPL : RadioPhotoLuminescent dosemeter  
 SIEVERT : Système Informatisé d'Évaluation par Vol de l'Exposition au Rayonnement cosmique dans les Transports aériens  
 SIGIS : Système d'Information et de Gestion de l'Inventaire des Sources  
 SISERI : Système d'Information de la Surveillance de l'Exposition aux Rayonnements Ionisants  
 SPRA : Service de Protection Radiologique des Armées  
 SST : Service de Santé au Travail  
 TECV : Transition Énergétique par la Croissance Verte  
 TENORM : Technologically-Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material  
 TEP : Tomoscintigraphie par émission de positons  
 TLD : ThermoLuminescent Dosimeter  
 UNSCEAR : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

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

## RAPPELS REGLEMENTAIRES

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

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

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

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

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

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

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

**Tableau 1 - Valeurs limites d'exposition**

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

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

Les modalités et les conditions de la surveillance dosimétrique de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants ont été précisées dans l'arrêté du 17 juillet 2013 relatif à la carte individuelle de suivi médical et au suivi dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants [1], qui a abrogé l'arrêté du 30 décembre 2004 à partir 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 réglementaire est effectué par des mesures radiotoxicologiques et/ou anthroporadiométriques qui permettent, le cas échéant, de calculer la dose efficace ou équivalente engagée. A la dosimétrie externe de référence, s'ajoute une dosimétrie opérationnelle pour les travailleurs entrant en zone contrôlée.

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

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

Enfin, le personnel navigant exposé au rayonnement cosmique à un niveau susceptible de conduire à une dose supérieure à 1 mSv sur 12 mois glissants est suivi au moyen d'une dosimétrie calculée.

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

En termes d'organisation, l'arrêté du 17 juillet 2013 [1] 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, chaque organisme de dosimétrie doit transmettre les résultats de dosimétrie à SISERI le plus rapidement possible et au plus tard, 20 jours après la période de port des dosimètres passifs.

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

## MODALITES DE LA SURVEILLANCE

---

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

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

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

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

La mesure de rayonnements de nature différente peut rendre nécessaire le port simultané de plusieurs dosimètres qui, lorsque cela est techniquement possible, sont rassemblés dans un même conditionnement. Selon les circonstances de l'exposition, et notamment lorsque celle-ci n'est pas homogène, le port de dosimètres supplémentaires doit permettre d'évaluer les doses équivalentes à certains organes ou parties du corps (tête, poignet, main, pied, doigt, abdomen, cristallin, etc.) et de contrôler ainsi le respect des valeurs limites de doses équivalentes fixées aux articles R. 4451-12 et 13 du code du travail.

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

- la surveillance de l'**exposition interne** est assurée par des analyses réalisées 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 analyses 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 [2]. 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.

---

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

Dans le cas particulier de l'exposition résultant de l'inhalation des radionucléides naturels en suspension dans l'air (descendants à vie courte des isotopes 222 et 220 du radon et/ou émetteurs  $\alpha$  à vie longue des chaînes de l'uranium et du thorium), la dose est déterminée à partir des mesures réalisées par un dosimètre spécifique.

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

- l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire ;
- un service de santé au travail titulaire d'un certificat d'accréditation ;

- un organisme de dosimétrie ou un laboratoire de biologie médicale (LBM) titulaire d'un certificat d'accréditation et agréé par l'Autorité de sûreté nucléaire.

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

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

### *Les organismes de dosimétrie individuelle*

A la fin de l'année 2015, les organismes ayant un agrément pour la surveillance individuelle de l'exposition externe des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants sont au nombre de 7 : AREVA NC La Hague, AREVA NC Marcoule, DOSILAB, IPHC de Strasbourg, IPN d'Orsay, LANDAUER Europe et le SPRA.

Leurs coordonnées sont disponibles dans le menu « Informations/Agrément et accréditation des organismes » du site internet SISERI :

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

A ces organismes s'ajoute le laboratoire de dosimétrie de l'IRSN (LDI).

### *Les différentes techniques*

Le Tableau 2 présente un panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2015. Les techniques utilisées 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 radiophotoluminescence (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 2015**

Laboratoires de dosimétrie	Dosimètres corps entier	Seuil* (en mSv)	Dosimètres cristallin	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	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. A ce jour, les données de dosimétrie du cristallin disponibles concernent le seul laboratoire de l'IRSN.

Selon la réglementation, le seuil d'enregistrement (plus petite dose non nulle enregistrée) ne peut être supérieur à 0,1 mSv et le pas d'enregistrement ne peut être supérieur à 0,05 mSv (valeurs applicables pour la dosimétrie corps entier depuis le 1er janvier 2008). Le seuil d'enregistrement est

à distinguer de la notion de limite de détection du dosimètre qui caractérise la valeur à partir de laquelle, compte-tenu des performances techniques du dosimètre, la valeur mesurée est considérée comme valide.

## FOCUS

### Surveillance de l'exposition aux neutrons

Cette surveillance concerne en France un peu plus de 14 % de l'effectif total suivi par dosimétrie externe passive. Ces travailleurs interviennent principalement dans différents secteurs d'activité du nucléaire (fabrication et retraitement du combustible, décontamination des châteaux de transport du combustible irradié...) mais une exposition aux neutrons est également possible auprès d'accélérateurs de particules utilisés dans le domaine médical, la recherche ou l'industrie, lorsque l'énergie de ces particules est élevée.

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

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

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

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

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

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

En pratique, sont concernés les travailleurs des installations nucléaires des domaines civil et militaire, des services de médecine nucléaire et des laboratoires de recherche utilisant des traceurs

radioactifs (recherche médicale, biologique et radiopharmaceutique essentiellement).

La surveillance des personnels travaillant dans des installations nucléaires est assurée par les services de santé au travail (SST). Les analyses prescrites sont effectuées par les laboratoires de biologie médicale (LBM) ou par les SST des entreprises exploitantes (défense, CEA, AREVA, EDF) dans certains cas. S'agissant des professionnels du domaine médical et de la recherche, les analyses prescrites 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 analyses 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 analyses 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'analyse 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 [2] 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 permet 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 ; elle peut être mise 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 bonnes pratiques 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. focus ci-après).

## FOCUS

### Recommandations de bonnes pratiques 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 2015, les LBM ayant un agrément pour la surveillance individuelle de l'exposition interne des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants (radiotoxicologie et/ou anthroporadiométrie) sont au nombre de 11 : AREVA NC La Hague, CEA Cadarache, CEA DAM Ile-de-France, CEA DAM Valduc, CEA Grenoble, CEA Marcoule, CEA Saclay, EDF Saint-Denis, le Service de Protection Radiologique des Armées (SPRA), et l'Escadrille des Sous-marins Nucléaires d'Attaque (ESNA) de Toulon

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

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

## Les méthodes de mesure de contamination

### Les analyses 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 (cf. page 32).



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

### Les analyses radiotoxicologiques

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

Les émetteurs  $\alpha$  peuvent être détectés par comptage  $\alpha$  global ou par spectrométrie  $\alpha$ . Le comptage  $\alpha$  réalisé à l'aide de compteurs

proportionnels à gaz ou de détecteurs à scintillation (ZnS) permet de déterminer rapidement le niveau d'activité, dans le contexte d'un incident par exemple.



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

Seule la spectrométrie  $\alpha$  permet de réaliser une analyse isotopique de l'échantillon, à l'aide d'un détecteur composé d'une diode en silicium ou d'un compteur à gaz. Pour cela, l'échantillon d'excréta subit préalablement un traitement radiochimique comprenant la minéralisation de l'échantillon, une purification chimique (chromatographie de partage ou résine anionique) et une fabrication des sources en couche mince, indispensable pour minimiser l'atténuation énergétique des particules  $\alpha$  que l'on

### **L'estimation de la dose interne**

Afin de vérifier que l'éventuelle exposition interne ne conduit pas à un dépassement de la limite réglementaire de dose, les mesures anthroporadiométriques et/ou radiotoxicologiques doivent être interprétées en termes de dose engagée à l'aide de modèles systémiques, spécifiques à chaque élément, publiés par la CIPR (publications 30, 56, 67, 69, etc.) et de modèles décrivant la biocinétique des radionucléides et la propagation des rayonnements dans les tissus. Des modèles biocinétiques correspondant aux deux voies d'incorporation les plus fréquentes ont été publiés par la CIPR : le modèle des voies respiratoires pour l'incorporation par inhalation (publication 66) et le

modèle gastro-intestinal pour l'incorporation par ingestion (publication 100).

cherche à détecter. Certains laboratoires utilisent également des méthodes non radiométriques (techniques de mesures pondérales ou spectrométrie de masse pour la mesure de l'uranium notamment) qui sont des méthodes rapides permettant un tri en cas d'incident ou de suspicion de contamination.

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

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

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

modèle gastro-intestinal pour l'incorporation par ingestion (publication 100).

En pratique, une estimation dosimétrique comporte deux étapes :

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

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

2. le calcul de la dose engagée  $E$  (Sv) :

$$E = I \cdot \epsilon$$

où  $I$  est l'activité incorporée (Bq) et  $\epsilon$  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 d'une exposition interne 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, 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 publiées par la Société Française de Médecine du Travail [3]. Il apparaît que, pour une analyse donnée, les LD diffèrent parfois de plusieurs ordres de grandeur d'un laboratoire à l'autre. Ceci s'explique par le fait que la LD dépend de nombreux paramètres, parmi lesquels la durée de la mesure (suivant le programme de surveillance, la durée de la mesure peut être augmentée pour atteindre une LD plus basse), le type et les performances intrinsèques du ou des détecteurs utilisés : efficacité, résolution, bruit de fond, ainsi que la géométrie servant à l'étalonnage de ces détecteurs. Les programmes de surveillance et les protocoles de mesure ne font pas à l'heure actuelle l'objet de procédures standardisées entre les laboratoires.

Pour certaines analyses, 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 [2]. Dans les bilans statistiques présentés dans ce rapport, sont précisés les nombres d'examen considérés comme positifs, c'est-à-dire ceux dont le résultat est supérieur à la limite d'interprétation opérationnelle ou, à défaut, supérieur à la LD. Dans le cas où la mesure dépasse la limite d'interprétation opérationnelle (à défaut, la LD), le médecin du travail a la responsabilité de réaliser ou non une estimation dosimétrique. Deux niveaux de référence sont définis par la norme ISO 20553 [2] 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. Ces différents niveaux sont représentés schématiquement sur la Figure 3.

**Tableau 3 - Limites de détection des principales techniques de dosimétrie interne mises en œuvre en France en 2015**

Type d'analyse	Type de rayonnement	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)	de 0,1 à 4 $\mu\text{g/L}$ de 0,0002 à 0,01 Bq de 0,0002 à 0,002 Bq
	$\beta$	$^3\text{H}$ $^{14}\text{C}$ $^{32}\text{P}$ $^{35}\text{S}$ $^{36}\text{Cl}$ $^{90}\text{Sr}$ $\beta$ totaux	de 15 à 1 850 Bq/L de 60 Bq/L à 370 Bq/L de 3,5 à 15 Bq/L de 4,5 à 20 Bq/L de 60 à 200 Bq/L de 0,2 à 0,6 Bq/L
	$\gamma/X$	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

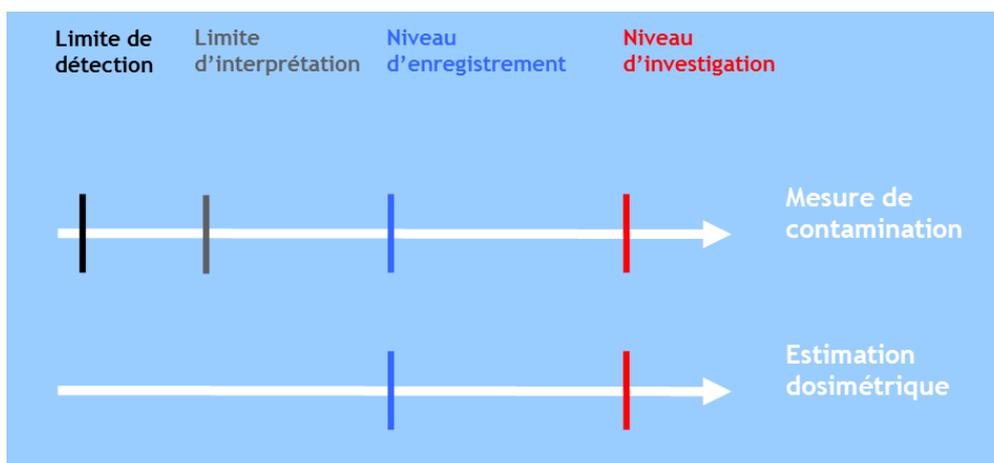


Figure 3 - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs

## SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE

Depuis plus d'une dizaine d'années, le Système d'Information et d'Evaluation par Vol de l'Exposition au Rayonnement cosmique dans les Transports aériens (SIEVERT, [www.sievert-system.org](http://www.sievert-system.org)), développé conjointement par la Direction générale de l'aviation civile (DGAC), l'Observatoire de Paris, l'Institut Polaire français - Paul Emile Victor (IPEV) et l'IRSN, est mis à la disposition des compagnies aériennes pour le calcul des doses de rayonnement cosmique reçues par les personnels navigants lors des vols en fonction des routes empruntées (cf. focus page 23). Les doses sont évaluées en fonction des paramètres du vol. Un modèle est utilisé pour élaborer les cartographies de débits de dose de rayonnement cosmique jusqu'à une altitude de 80 000 pieds.

L'IRSN propose aux compagnies une gestion automatisée reposant sur un fichier fournissant les données des vols réalisés sur la période de suivi. A partir des caractéristiques d'un vol, le calculateur de SIEVERT évalue le temps passé par l'avion dans chaque maille de l'espace aérien et, en cumulant les doses élémentaires des mailles successives, en déduit la dose reçue au cours de ce vol.

A ce stade, les données dosimétriques ne sont pas nominatives. Précédemment, il appartenait à l'employeur de cumuler les doses calculées pour les différents vols effectués au cours d'une année par chaque personnel navigant (PN) et de les transmettre au système SISERI. Depuis le 1<sup>er</sup> juillet

2014, l'arrêté du 17 juillet 2013 relatif à la carte de suivi médical et au suivi dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants [1] est désormais applicable aux salariés susceptibles d'être soumis à des doses de rayonnement cosmique.

Pour répondre à ces exigences réglementaires récentes, l'application informatique SIEVERTPN a été mise en place afin de permettre le calcul des doses pour chaque PN à partir des données de vol et de présence des personnels fournies par les compagnies aériennes françaises.

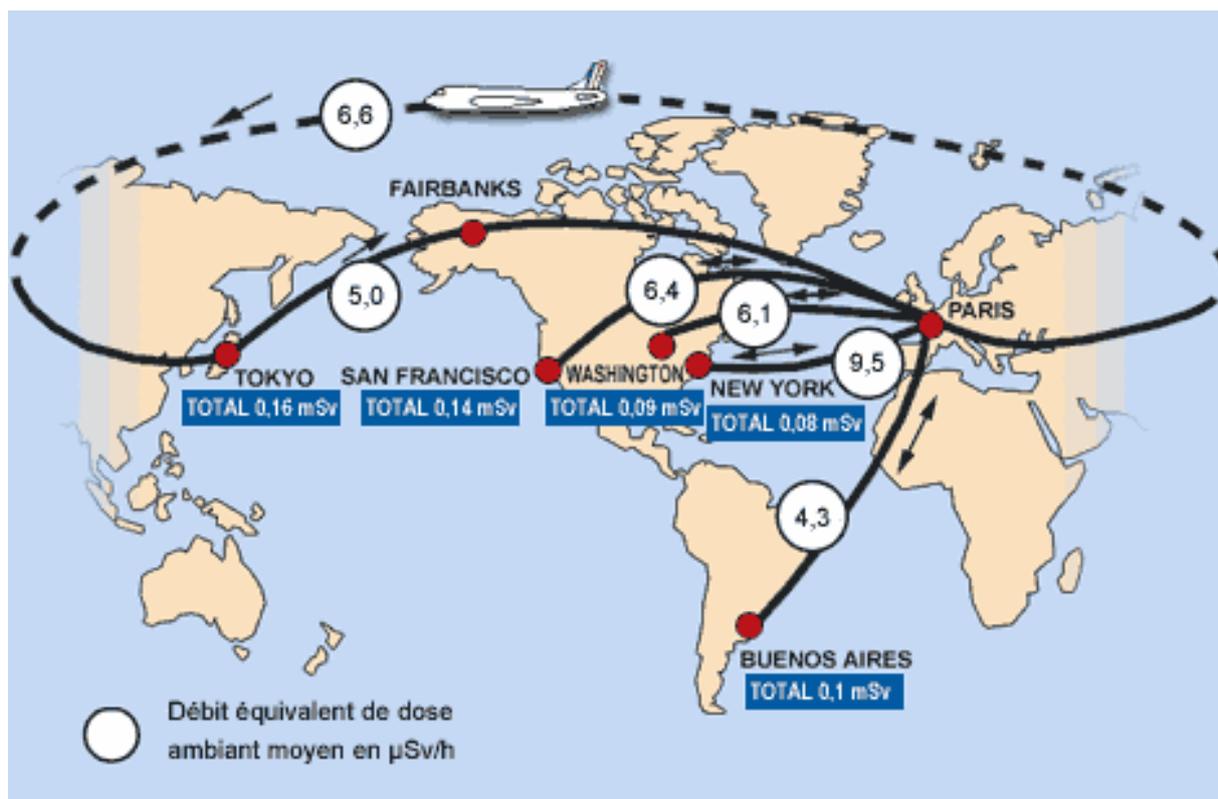
Depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2014, date d'entrée en vigueur de l'arrêté du 17 juillet 2013 relatif à la carte de suivi médical et de suivi dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants [1], le dispositif a évolué et c'est l'IRSN qui réalise le calcul des doses individuelles pour chaque personnel navigant, via l'application SIEVERTPN, à partir des données de vol et de présence des personnels fournies par les compagnies. Ces données dosimétriques sont ensuite transmises automatiquement au registre national de la dosimétrie des travailleurs SISERI.

Pour les compagnies étrangères ou ne relevant pas de l'arrêté du 17/07/2013 (Polynésie française, Nouvelle Calédonie), seul l'abonnement à l'outil SIEVERT pour le calcul des doses vols est proposé.

## FOCUS

### Exposition des personnels navigants au rayonnement cosmique

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 a été effectuée en Concorde.

Source : IRSN

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

#### Programme de mesures permanentes en vol

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

## 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 [1] indique 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 plus haut (cf. page 14) 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 radionucléides 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 des radionucléides émetteurs  $\alpha$  à vie longue des chaînes de l'uranium et du thorium, susceptibles d'être incorporés par inhalation. La dose est estimée en appliquant les coefficients de dose 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 LA SURVEILLANCE INDIVIDUELLE DES TRAVAILLEURS DANS SISERI

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

L'ensemble du dispositif SISERI et de son utilisation est schématisé sur la Figure 4. De 2005 à 2010, le système d'information SISERI a été progressivement doté des fonctionnalités lui permettant d'être en capacité de recevoir l'ensemble des données de la surveillance de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants, à savoir les résultats de :

- la dosimétrie externe passive (corps entier, peau, extrémités, cristallin), transmise par les organismes de dosimétrie ;
- la surveillance de l'exposition interne, à savoir les résultats des analyses radiotoxicologiques et des examens anthroporadiométriques fournis par les Laboratoires de Biologie Médicale (LBM) ou les Services de Santé au Travail (SST), et, lorsque les circonstances le nécessitent et le permettent, les doses efficaces engagées et/ou les doses équivalentes engagées calculées par les médecins du travail ;
- la surveillance de l'exposition résultant de l'inhalation des descendants à vie courte des isotopes du radon et/ou des émetteurs à vie longue des chaînes de l'uranium et du thorium, transmis par l'organisme agréé ;
- la dosimétrie des personnels navigants,

- la dosimétrie externe opérationnelle, envoyée directement par les personnes compétentes en radioprotection (PCR) des établissements devant mettre en place ce type de surveillance du fait du classement de certains de leurs locaux en « zones contrôlées ».

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

Néanmoins, sur la base du retour d'expérience des premières années de fonctionnement, l'IRSN avait, dès 2009, alerté les autorités sur les difficultés rencontrées dans la gestion du système et surtout sur ses lacunes concernant les informations nécessaires à son exploitation à des fins statistiques, selon les dispositions réglementaires prises à l'article R. 4451-128 du code du travail. S'en est alors suivie une réflexion pour intégrer dans SISERI, en plus des résultats de la surveillance dosimétrique individuelle, des informations relatives aux activités, métiers et statut d'emploi de chacun des travailleurs recensés dans ce registre. Cette réflexion s'est concrétisée par la publication de l'arrêté du 17 juillet 2013 relatif à la carte de suivi médical et au suivi dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants [1], abrogeant l'arrêté du 30 décembre 2004.

Cet arrêté renforce le rôle de SISERI dans le dispositif national de surveillance de l'exposition des travailleurs. Les employeurs doivent désormais déclarer dans SISERI des informations « administratives » (identité, activité, métier, statut d'emploi, quotité de travail...). Ces informations sont utilisées par SISERI pour mettre à disposition des médecins du travail la carte de suivi médical pré-remplie.

Afin de s'adapter aux dispositions réglementaires de l'arrêté du 17 juillet 2013, de nouvelles fonctionnalités ont été mises à disposition des utilisateurs en mars 2014.

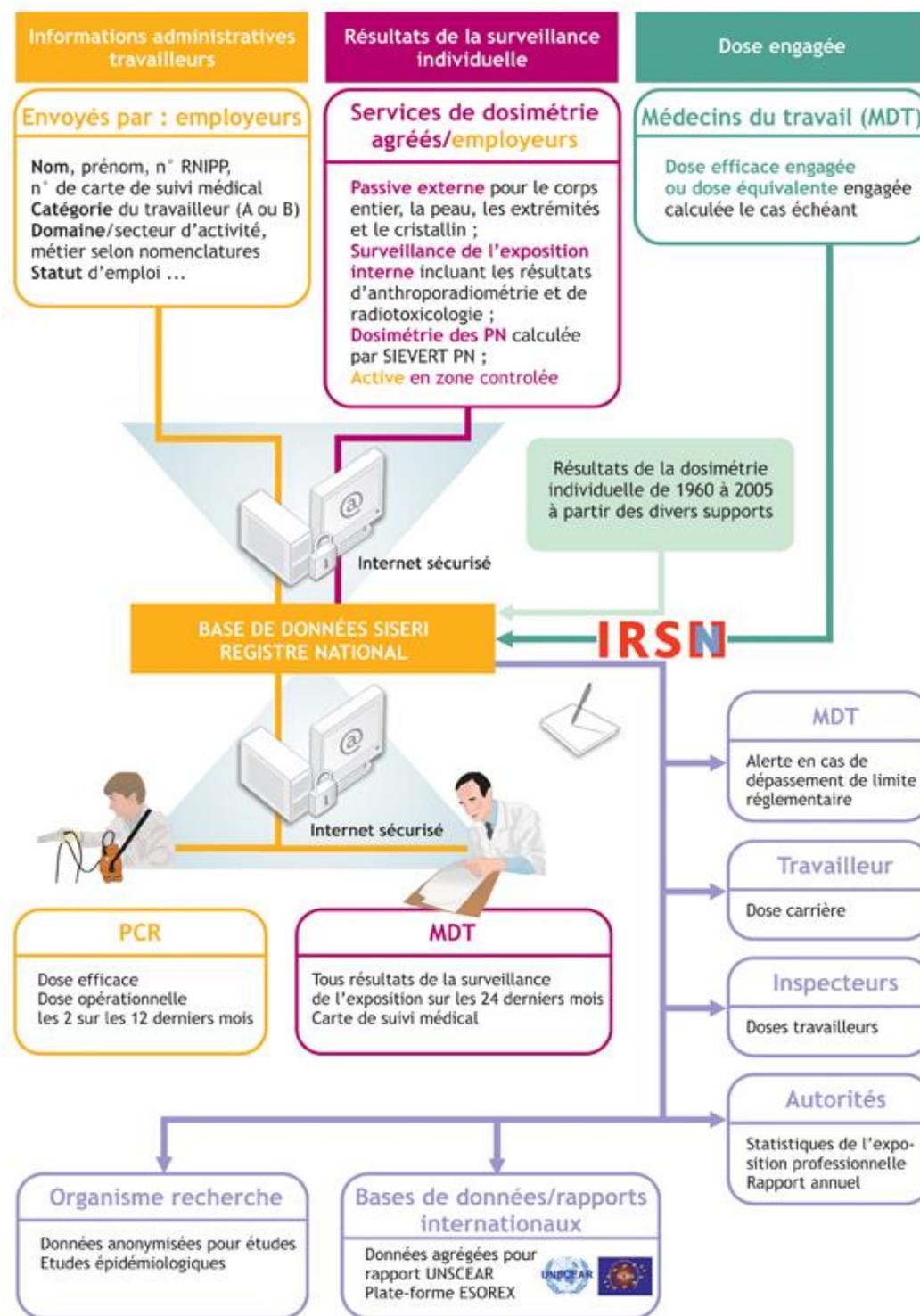


Figure 4 - Description du fonctionnement du système SISERI

### Les nouvelles fonctionnalités de SISERI

Les employeurs sont, depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2014, tenus d'enregistrer dans SISERI, pour chacun des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants, les informations figurant à l'article 7 de l'arrêté. A cette fin, ils doivent désigner un Correspondant SISERI de l'Employeur (CSE) ; celui-ci dispose d'un

accès sécurisé à SISERI, lui permettant de renseigner les informations requises. La désignation de ce CSE est comparable à la désignation de la PCR et du MDT par l'employeur : elle se fait au travers de la signature par l'employeur d'un protocole d'accès à SISERI, au titre duquel CSE,

PCR et MDT sont nommément désignés et autorisés à se connecter.

### **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 doit retirer, sur une adresse internet, un certificat électronique d'authentification et de chiffrement des données, à installer sur son poste de travail (procédure détaillée sur le site public SISERI). Elle reçoit alors par mail un code d'accès confidentiel à SISERI, garantissant la sécurité et la confidentialité des envois ou des consultations de données.

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

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

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

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

maintenus à l'identique de ce qu'ils étaient, l'arrêté du 17 juillet 2013 n'ayant apporté aucune modification de ce point.

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

Les accès aux résultats dosimétriques du travailleur déjà accordés à la PCR n'ont pas été modifiés par l'arrêté du 17 juillet 2013 n'ayant apporté aucune évolution de ces droits d'accès. En revanche, elle a désormais accès aux listes des travailleurs afin de faciliter ses échanges avec les organismes de dosimétrie agréés. Par ailleurs, les modalités d'envoi des résultats de dosimétrie opérationnelle par la PCR sont inchangées.

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

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

### **Autres utilisations de SISERI**

Au-delà du fonctionnement propre du système d'information, la base de données de SISERI est exploitée par l'IRSN pour répondre à différentes demandes ou missions réglementairement encadrées.

Dans les cas de dépassements de limite réglementaire de dose constatés dans SISERI, notamment par cumul des valeurs issues des différents organismes agréés, l'IRSN alerte aussitôt les médecins du travail.

L'IRSN répond par ailleurs aux demandes de cumul de dose carrière émanant des médecins du travail ou des travailleurs eux-mêmes. Les résultats fournis sont établis sur la base des informations du registre collectées depuis la mise en service de SISERI en 2005 et des informations dosimétriques antérieures, récupérées à partir des différents supports, correspondant aux modes d'archivage en vigueur aux différentes époques concernées.

L'IRSN effectue des extractions de données dosimétriques sur demande des inspecteurs du travail et de la radioprotection, selon les dispositions prévues au code du travail (cf. Figure 4).

## La transmission des données à SISERI en 2015

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 en vérifie la qualité et veille à leur intégration dans la base de données afin de les rendre consultables le plus rapidement possible. Les constats suivants ont pu être faits :

- Bilan concernant les données administratives à la fin mars 2016

Sur les 366 268 travailleurs ayant eu au moins une donnée enregistrée dans le système au premier trimestre 2016, 93 % avaient leur RNIPP renseigné, 43 % le métier précisé, 36 % le secteur d'activité renseigné, et 34 % leur statut d'emploi indiqué. Les informations relatives à la carte médicale étaient complètes pour 48 % d'entre eux. Le renseignement des données administratives progresse donc mais n'est pas encore réalisé de façon exhaustive par tous les employeurs (cf. focus ci-après). Plus de 6 000 signatures de protocole par an sont réalisées depuis mars 2014 ; le nombre de CSE nommés s'élevait à 7 200 fin mars 2016, contre 4 300 fin mars 2015 ; la moitié des CSE sont des PCR.

- Bilan concernant les données dosimétriques à la fin mars 2016

### Nombre de données transmises à SISERI en 2015

Dosimétrie externe passive	2,3 millions
Dosimétrie opérationnelle	13,7 millions
Exposition interne (mesures d'activité)	81 829
Exposition au radon et chaînes U et Th	7 404
Exposition des PN	373 705

Au-delà des chiffres présentés dans l'encadré ci-dessus, des réalités différentes sont observées suivant les types de dosimétrie.

#### Dosimétrie externe passive

Les délais de transmission des données par les organismes agréés et le laboratoire de dosimétrie de l'IRSN ont été globalement respectés même si

quelques retards ont pu être observés ponctuellement. La qualité des données transmises a été du même niveau que celle observée les années précédentes avec toutefois un léger retrait : 85 % d'entre elles ont été intégrées sans qu'aucune intervention de l'IRSN ne soit nécessaire ; ces données ont donc été immédiatement accessibles aux utilisateurs de SISERI. Les 15 % de données demandant un traitement par des opérateurs de l'IRSN ont été intégrées le lendemain ou dans les quelques jours suivant leur réception dans SISERI.

En 2015, les premières données de dosimétrie du cristallin ont été intégrées dans SISERI (cf. page 32).

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

L'envoi des résultats est devenu effectif pour la plupart des laboratoires au cours de l'année 2010 et depuis 2011, l'ensemble des organismes agréés transmet régulièrement des fichiers à SISERI. Toutefois en 2015, les écarts de transmission observés en 2014 subsistent malgré les actions entreprises par l'IRSN auprès des organismes concernés ; en effet, la transmission des données se fait encore trop souvent en dehors des délais prévus par la réglementation.

#### Dosimétrie des personnels navigants

En 2015, les données de sept compagnies aériennes ayant adhéré à SIEVERTPN ont été transmises à SISERI, contre quatre compagnies en 2014.

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

Depuis fin 2010, le système SISERI reçoit les données envoyées par le laboratoire agréé pour ce type de surveillance.

#### Dosimétrie externe opérationnelle

Le nombre moyen de fichiers reçus s'élève à près de 2 600 par mois, sans variation notable par rapport aux années précédentes. Parmi ces données, 55 % proviennent des entreprises du nucléaire, 35 % du domaine médical et vétérinaire, 4 % de l'industrie non nucléaire et 3 % du domaine

de la recherche. 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. Déteçtées par le système, elles ne sont intégrées qu'une seule

fois dans la base, nécessitant de ce fait une intervention de l'IRSN.

Ces constats expliquent que le bilan annuel des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants ne soit toujours pas réalisable directement à partir des données transmises à SISERI (cf. page 39).

## FOCUS

### Le renseignement des données administratives dans SISERI par les employeurs

Le renseignement de données administratives dans SISERI par les employeurs, via leurs représentants désignés dans SISERI, les CSE (correspondant SISERI de l'employeur), est obligatoire depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2014, date d'entrée en vigueur de l'arrêté du 17 juillet 2013 relatif à la carte de suivi médical et au suivi dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants. Selon les dispositions finales de cet arrêté, les employeurs ont jusqu'au 1<sup>er</sup> juillet 2016 pour mettre à jour les données de leurs travailleurs.

En plus des informations déjà enregistrées dans SISERI via l'enregistrement des données dosimétriques envoyées par les organismes agréés, les employeurs doivent compléter, si besoin, le n° RNIPP des travailleurs, demander l'établissement de la carte individuelle de suivi médical, si celle-ci n'est pas déjà renseignée dans SISERI, et renseigner l'activité, le métier, le statut d'emploi des travailleurs selon les nomenclatures établies.

Ce focus présente un bilan de l'appropriation par les employeurs de ces dispositions, fin mars 2016, soit 3 mois avant l'échéance prévue dans l'arrêté.

#### Combien d'employeurs concernés par la mise à jour des données administratives ?

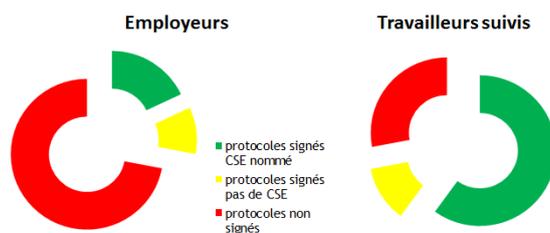
Sur la base des informations reçues avec les résultats de dosimétrie externe, le nombre des intitulés d'employeurs pour lesquels au moins un résultat de dosimétrie a été enregistré en 2015 s'élève à 32 400. Ces employeurs peuvent avoir de 1 à plus de 17 000 travailleurs bénéficiant d'une surveillance individuelle : 74 % d'entre eux ont entre 1 et 5 travailleurs suivis, 13 % de 6 à 10 travailleurs, 9 % de 11 à 50 travailleurs, 1,4 % de 51 à 100 travailleurs et 1,7 % plus de 100 travailleurs.

#### Combien de protocoles d'accès à SISERI signés ?

Afin de pouvoir renseigner les informations relatives aux travailleurs dans SISERI, les employeurs doivent avoir signé le protocole d'accès à SISERI et désigné un CSE. Sur les 32 400 intitulés d'employeurs répertoriés dans SISERI, 9 160 (soit 28 %) ont signé un protocole ; cela couvre les 3/4 des travailleurs bénéficiant d'une surveillance dosimétrique.

#### Combien d'employeurs, ayant signé un protocole, ont désigné un CSE ?

Sur les 9 160 employeurs qui ont signé le protocole d'accès à SISERI, 63 % ont nommé au moins un CSE couvrant ainsi 60 % de l'effectif total des travailleurs suivis. A la même date, l'activité des travailleurs dans SISERI n'était effectivement renseignée que pour 36 % d'entre eux.



#### Qu'observe-t-on dans SISERI sur les employeurs qui n'ont pas encore signé le protocole d'accès à SISERI ?

85 % d'entre eux ont 5 travailleurs ou moins, et 25 % n'ont qu'un seul travailleur.

**La consultation des données de SISERI en 2015**

Seuls les PCR et MDT travaillant pour le compte d'un employeur qui en ont fait la demande peuvent, après avoir signé le protocole d'accès à SISERI, accéder aux résultats de la dosimétrie des travailleurs dont ils ont la charge, dans le strict respect des conditions de consultation fixées par la réglementation. Le nombre de PCR et de MDT ayant une clé d'accès au système est en constante progression depuis le 15 février 2005. A la fin de

l'année 2015, 4 530 MDT et 8 440 PCR avaient accès à SISERI, soit une augmentation par rapport à 2014 de près de 18 % pour les MDT et de 16 % pour les PCR.

FOCUS

### Quelles sont les données présentes dans le registre national SISERI ?

Le principe de la traçabilité du suivi de l'exposition des travailleurs est édicté avec l'arrêté du 19 avril 1968, qui a imposé pour la première fois la transmission obligatoire des résultats de la surveillance dosimétrique des travailleurs à un organisme centralisateur chargé de leur archivage. D'abord assuré par le SCPRI puis par l'OPRI, cet archivage est depuis 2002 l'une des missions de l'IRSN qui, au titre de l'article R4451-125 du code du travail, centralise, vérifie et conserve les résultats des mesures individuelles de l'exposition des travailleurs.

The timeline shows key events: 1960 (start), 1967 (Décret), 1975 (Décret), 1986 (Décret), 1996, 2003 (Décret), 2005, 2013, and 2015. Below the timeline, an arrow illustrates the evolution of data storage: from paper files to punch cards, then to floppy disks, hard drives, and finally to the SISERI database system.

**Archivage centralisé des résultats de la surveillance**

≈1,5 million de travailleurs

#### Quels travailleurs ?

SALARÉS DU CEA + PRESTATAIRES + EN PARTIE DOMAINE MÉDICAL OU INDUSTRIE SUIVIS AU CEA	SALARÉS HORS INB	SALARÉS DES INB	TRAVAILLEURS INDÉPENDANTS	PERSONNEL NAVIGANT	PERSONNEL NORM/ RADON
--	------------------	-----------------	---------------------------	--------------------	-----------------------

#### Quels résultats de la surveillance ?

Doses externes passives corps entier (toutes composantes puis photons + neutrons) et progressivement extrémités, peau, cristallin					
				Doses opérationnelles	
			Dose calculées (PN)		
					Exposition interne activité et dose

#### Quels types de résultats ?

Cumuls annuels	Valeurs par périodes de port
----------------	------------------------------

D'abord sous forme papier, cette centralisation nationale des résultats de suivi individuel de l'exposition des travailleurs a progressivement évolué avec l'avancée des technologies numériques. A partir de 1996, les résultats de la surveillance de l'exposition externe ont été centralisés dans une base informatique gérée par l'OPRI préfigurant l'actuel système d'information SISERI. Ce système permet, en plus de centraliser les résultats, de mettre ceux-ci à disposition des acteurs de la radioprotection (PCR et MDT), en temps quasi réel, via un accès internet sécurisé garantissant la confidentialité des données.

La population des travailleurs pour lesquelles une surveillance de l'exposition a été mise en place s'est élargie au fil du temps, incluant progressivement à partir de 1975 les salariés des INB, puis les travailleurs indépendants avec le décret de 1986 et enfin les personnels exposés à la radioactivité naturelle à partir de 2003.

Le système SISERI a été mis en service en février 2005. D'abord en capacité de ne recevoir que les résultats des dosimétries externes passive et opérationnelle, ses fonctionnalités ont été peu à peu étendues : depuis février 2010, SISERI est en mesure d'archiver l'ensemble des résultats de la surveillance de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants, y compris les résultats du suivi de l'exposition interne (activités et doses engagées), de l'exposition au radon d'origine géologique ou encore de l'exposition au rayonnement cosmique des personnels navigants.

En plus des données transmises depuis son démarrage en 2005, la base de données de SISERI, qui constitue le registre national de l'exposition des travailleurs, a été enrichie des données « historiques » numérisées à partir de différents supports (papier, microfiche, disquette) ou déjà centralisées dans la première base de données développée par l'OPRI en 1996.

## 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 autant 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 2015, l'IRSN a rendu des avis sur l'adéquation des matériels et méthodes avec la surveillance individuelle des travailleurs de quatre organismes en charge de la surveillance de l'exposition interne des travailleurs. Deux d'entre eux, ont vu leur agrément renouvelé par l'ASN et

les deux autres ont été agréés par décision de l'ASN pour la première fois.

La liste des organismes agréés par l'ASN, incluant le lien vers les portées d'agrément correspondantes, est disponible sur le site Internet de SISERI <http://siseri.irsn.fr/>.

### **Intercomparaison de dosimétrie passive**

Conformément aux dispositions de la réglementation précisant les conditions de délivrance du certificat et de l'agrément pour les organismes en charge de la dosimétrie individuelle pour la surveillance de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants, l'IRSN est chargé d'organiser au moins tous les trois ans une intercomparaison des résultats dans le but de vérifier la qualité des mesures de l'exposition.

La dernière intercomparaison réglementaire de dosimètres individuels passifs, organisée par le Service de Dosimétrie Externe de l'IRSN s'est déroulée entre fin 2015 et début 2016. Pour la première fois, cette intercomparaison incluait des essais en dosimétrie du cristallin pour les laboratoires ayant développé cette technique.

### **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 2015, cette intercomparaison a concerné 10 laboratoires et les radionucléides testés étaient les actinides (méthode radiative et pondérale), le tritium et le carbone 14.

de scores statistiques (Z et zêta) comme recommandé selon la norme ISO 13528,

- à la plage [- 25 % à + 50 %] par rapport à la valeur cible, tel que recommandé par la norme ISO 12790-1 [6].

Chaque laboratoire a la possibilité de situer ses résultats par rapport :

A la date de publication de ce rapport, la synthèse des résultats indique que 96 % des résultats par grandeur mesurée sont conformes.

- aux valeurs cibles des radionucléides introduits dans chaque échantillon et/ou à la moyenne robuste des participants, par l'intermédiaire

### **Intercomparaison de mesures anthroporadiométriques**

L'IRSN a organisé une nouvelle campagne d'intercomparaison des mesures anthroporadiométriques corps entier entre mars 2015 et janvier 2016. Cette intercomparaison a concerné 41 installations pour 23 laboratoires (dont 7 laboratoires étrangers).

alors que les comparaisons sur les deux autres morphologies étaient laissées au libre choix des laboratoires participants.

Les mesures ont été réalisées à l'aide du fantôme anthropomorphe corps entier « VICTOR » (Figure 5). Pour cette intercomparaison, trois morphologies ont été considérées, fantôme 50 kg, 70 kg et 90 kg. La participation aux mesures était requise pour le fantôme de morphologie 70 kg,



**Figure 5 - Fantôme anthropomorphe corps entier « VICTOR »**

Les radionucléides à mesurer étaient les suivants : le sodium 22, le baryum 133 et le césium 137. Les données fournies par les laboratoires participants ont été comparées aux valeurs cibles attendues et placées dans un intervalle défini selon la norme NF ISO 12790-1 (erreur de justesse comprise entre - 25 % et + 50 % afin que le laboratoire réponde aux critères de performance).

Il ressort des résultats que pour le sodium 22, le baryum 133 et le césium 137, toutes les installations sont conformes aux critères de performance

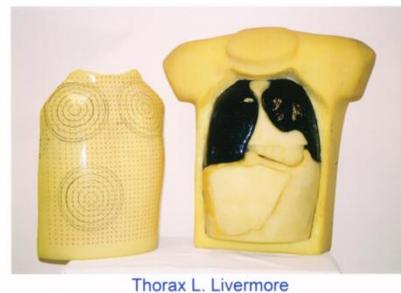
## ESTIMATION DE LA DOSE INTERNE

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

A la demande des médecins du travail, neuf travailleurs ont fait l'objet en 2015 d'une évaluation de la dose efficace interne à la suite d'incidents ou de retours d'examen positifs réalisés dans le cadre de la surveillance régulière :

définis par la norme sur les trois morphologies proposées.

En 2016, l'IRSN a également lancé une nouvelle campagne d'intercomparaison concernant la mesure anthroporadiométrique pulmonaire, elle se terminera en octobre 2016. Cette intercomparaison concerne 13 laboratoires (dont 6 laboratoires étrangers). Les mesures sont à réaliser à l'aide du fantôme anthropomorphe LIVERMORE (Figure 6). Les radionucléides ciblés sont les suivants : le plutonium 239 et l'uranium naturel.



**Figure 6 - Fantôme anthropomorphe pulmonaire LIVERMORE**

- trois estimations ont concerné des travailleurs du secteur de la médecine nucléaire ; l'une à la suite d'une contamination par de l'iode 131 lors de la préparation de radiopharmaceutiques, les deux autres à la suite d'une contamination par le technétium 99m, au cours d'un examen de scintigraphie pulmonaire de ventilation et lors d'une injection au patient, suite à des projections sur le visage consécutives à la chute d'une seringue sur son piston ;
- quatre estimations ont concerné des travailleurs de laboratoires de recherche ; les demandes d'évaluations étaient consécutives à des retours d'examen radiotoxicologiques positifs en iode 125 et en soufre 35 ;
- une estimation a été réalisée à la suite d'un incident survenu dans un site de production de produits radiopharmaceutiques, lors de

l'évacuation des déchets. Un recueil urinaire a été rapidement mis en route pour un travailleur qui présentait une contamination externe sur ses équipements de protection. Les examens radiotoxicologiques ont mis en évidence une contamination par du strontium 82, du rubidium 83 ainsi que du strontium 85 ;

- la dernière estimation dosimétrique a concerné un travailleur chargé de conditionner des fûts

dans un laboratoire pharmaceutique désaffecté. Des contaminations par du tritium et du carbone 14 ont été révélées dans le cadre de sa surveillance radiotoxicologique.

Dans tous les cas, les doses efficaces estimées étaient inférieures à 1 mSv (millisievert).

## SUIVI DES INCIDENTS ET EVENEMENTS DE RADIOPROTECTION

### *Panorama global des événements*

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

Les événements de radioprotection recensés par l'IRSN recouvrent :

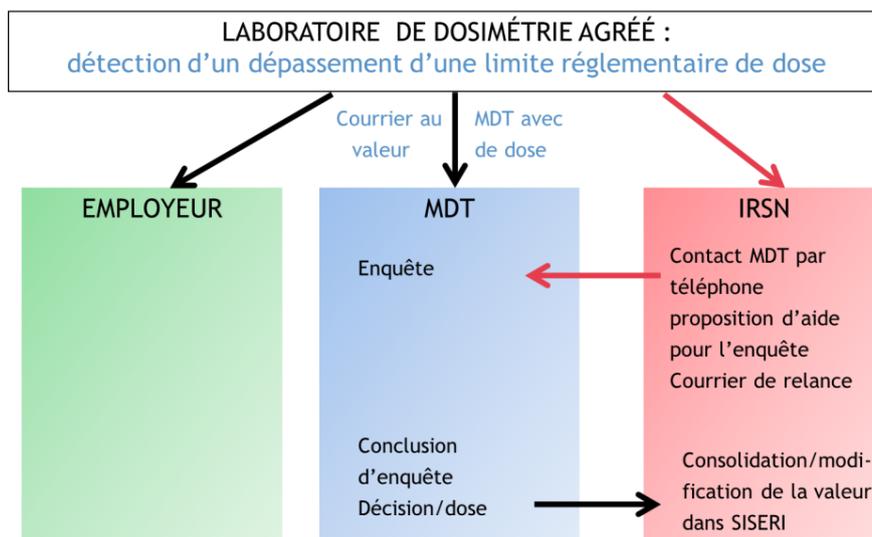
- les événements déclarés à l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) dont l'IRSN est destinataire d'une copie, au titre des différents guides de déclaration mis en place par l'ASN,
- les quelques événements non déclarés dont l'IRSN a connaissance et qu'il considère comme des signaux intéressants pour la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

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

Des valeurs limites d'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants sont réglementairement fixées par le code du travail (Tableau 1). Ces valeurs concernent la dose efficace, la dose équivalente aux extrémités, la dose équivalente à la peau et la dose équivalente au cristallin.

Les laboratoires et organismes agréés en charge des mesures de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants doivent, sans délai, informer le médecin du travail et l'employeur de la survenue d'un dépassement de l'une de ces limites

d'exposition. Conformément à l'arrêté du 17 juillet 2013 relatif à la carte individuelle de suivi médical et au suivi dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants [1], le médecin du travail (MDT) diligente une enquête en cas de résultat dosimétrique jugé anormal et donc *a fortiori* en situation de dépassement de limite réglementaire de dose. Cette enquête doit conduire *in fine* à la confirmation ou, au contraire, à une modification, voire une annulation de la dose attribuée au travailleur (Figure 7).



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

Afin que des modifications puissent être prises en compte dans la base SISERI, une procédure permettant le retour des conclusions d'enquête vers l'IRSN a été mise en place après consultation de la Direction Générale du Travail. Cette organisation permet de consolider les données de la base SISERI et d'avoir un suivi de chacun des cas de dépassement de limite réglementaire de dose signalés. L'IRSN, informé par le laboratoire de l'alerte de dépassement faite au MDT, 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 MDT 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 MDT suite à une alerte de dépassement de limite réglementaire de dose, le dépassement est considéré comme avéré et la dose mesurée est conservée dans SISERI.

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

### Reconstitutions de dose

Dans quelques cas de contamination à la peau, l'IRSN peut participer à des reconstitutions des doses externes à l'intervenant, réalisées par des calculs faisant intervenir des coefficients de dose (issus de normes) et les données d'entrée recueillies par le médecin du travail (MDT). Ces dernières sont relatives à l'activité mesurée de la contamination (ex. : particule de cobalt 60), au

temps de contact entre le début supposé de la contamination et la détection, ainsi qu'à la localisation sur le corps.

Il importe de minimiser l'incertitude sur l'ensemble de ces facteurs qui interviennent au premier ordre dans l'estimation de la dose externe (dose peau, dose corps entier, dose extrémités, dose cristallin).

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

L'IRSN a publié en 2015 la quatrième édition du « [Guide pratique pour la réalisation des études dosimétriques de poste de travail présentant un risque d'exposition aux rayonnements ionisants](#) » (PRP-HOM/DIR n°2015-00009) qui met à jour et complète la version précédente diffusée en 2010.

Ce guide, fondé sur l'expérience acquise par l'IRSN, propose aux différents acteurs impliqués dans la radioprotection du personnel, notamment aux employeurs, aux personnes compétentes en radioprotection et aux médecins du travail, une approche méthodologique leur permettant de réaliser des études dosimétriques de poste de travail. Il traite de l'identification des risques d'exposition aux rayonnements ionisants, de la mise en œuvre du processus d'optimisation de la radioprotection et du classement des travailleurs.

Par extension, ce guide fournit également une aide pour la délimitation des zones réglementées dans l'environnement de travail concerné.

Les évolutions principales portent sur la mise à jour des références réglementaires et l'ajout de deux fiches spécifiques : une relative à la scanographie, et l'autre relative la curiethérapie (cf. chapitre relatif au domaine médical et vétérinaire).

Cette nouvelle édition prend également en compte les recommandations de l'IRSN sur les bonnes pratiques en matière de radioprotection des travailleurs dans la perspective de l'abaissement de la limite réglementaire de dose équivalente pour le cristallin (cf. note en bas du Tableau 1).

### *Une approche méthodologique générale déclinée pour différents domaines d'activité*

Conformément à la réglementation, l'employeur doit procéder à une analyse des postes de travail vis-à-vis de l'ensemble des conditions pouvant affecter la santé et la sécurité des travailleurs. Lorsque les travailleurs sont susceptibles d'être exposés à des rayonnements ionisants, cette analyse doit comprendre une évaluation du risque encouru [art. R4451-112], couramment appelée « étude dosimétrique du poste de travail ».

Ainsi ce guide propose une approche méthodologique générale, développée pour être applicable à la plupart des cas.

Dans cette approche sont décrites en détail les étapes successives nécessaires à la réalisation d'une étude de poste, à savoir :

- la phase de préparation, qui consiste à recueillir des informations relatives, d'une part à l'installation, et d'autre part aux tâches effectuées à ce poste par le personnel concerné ;
- l'évaluation des doses, c'est-à-dire l'établissement de la cartographie des débits d'équivalent de dose, s'il y a lieu, la détermination des niveaux de contamination associés, et la détermination de la dose pour chaque tâche ;

- et enfin l'exploitation des résultats dans le but d'identifier les risques d'exposition aux rayonnements ionisants et de proposer un classement du personnel. Ces résultats peuvent également contribuer au processus d'optimisation de la radioprotection.

Il est également précisé comment les éléments nécessaires à une étude dosimétrique prévisionnelle peuvent être exploités pour la délimitation des zones de travail.

Cette méthode générale est ensuite déclinée en une série de fiches, chacune consacrée à un domaine d'activité particulier. Les informations contenues dans ces fiches sont complémentaires de la méthodologie générale présentée dans le guide. L'objet est de donner des recommandations spécifiques pour la réalisation d'une étude de poste de travail dans un domaine particulier. Des valeurs de doses, de débits de dose sont présentées à titre indicatif pour chacun des domaines. Ces valeurs ne sont pas destinées à être utilisées directement pour une étude de poste donnée. Elles ont pour principal objet de servir d'appui aux exemples de classement des travailleurs et de délimitation des zones de travail choisis qui sont fournis pour illustrer les réflexions

et calculs qui peuvent être appliqués pour réaliser une étude de poste.

Développé à l'origine pour le secteur médical, il est prévu à l'avenir de compléter ce guide par

l'ajout de nouvelles fiches pour d'autres secteurs de l'industrie (gammagraphie par exemple).

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

L'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) est régulièrement sollicité par les médecins du travail ou les personnes compétentes en radioprotection pour ses capacités de mesure et d'expertise en cas de risque ou de suspicion d'une contamination interne chez un travailleur.

L'assistance fournie par l'IRSN dans ce domaine recouvre aussi bien des études de poste que la mise en place d'une surveillance au travers d'examens anthroporadiométriques ou d'analyses radiotoxicologiques des excréta (analyses urinaires, fécales,...). En appui à de telles interventions, l'IRSN peut mobiliser ses laboratoires fixes ou mobiles, notamment son installation d'anthroporadiométrie du Vésinet et le Laboratoire d'Analyses Médicales Radiotoxicologiques (LAMR).

En 2015, l'IRSN a ainsi réalisé 728 examens anthroporadiométriques, 219 sur site du Vésinet et 509 hors Ile-de-France, avec les laboratoires mobiles d'anthroporadiométrie (LMA).

- Les travailleurs suivis sur site du Vésinet étaient principalement issus du secteur

industriel et des services de médecine nucléaire, respectivement 45 % et 31 %. Sur les 219 examens réalisés, il y a eu 38 cas positifs, pour l'essentiel liés à la détection de technétium 99m (services de médecine nucléaire) et de césium 137 (secteur industriel).

- L'IRSN a également réalisé sept campagnes de mesures avec ses LMA (Figure 8), en réponse aux demandes de 11 établissements, 10 relevant du domaine médical, et 1 du secteur industriel. Parmi les 309 examens réalisés (relevant très majoritairement de la surveillance de contrôle), 58 étaient positifs : 15 à l'iode 131, 38 au technétium 99m, 4 au fluor 18, et 1 au thallium 201. Les bilans des campagnes ont permis à plusieurs établissements de revoir certaines pratiques aux postes de travail.



© Noak/Le bar Floréal/IRSN

**Figure 8 - Vues du laboratoire mobile d'anthroporadiométrie LMA**

Concernant les examens radiotoxicologiques, l'année 2015 a été marquée par une demande accrue d'analyse des émetteurs alpha dans les excréta, majoritairement sous la forme d'une surveillance de chantier, définie dans la norme ISO 20553 [2]. Jusqu'à présent ce type d'analyse ne dépassait pas 4 % de l'activité globale du laboratoire d'analyses médicales radiotoxicologiques de l'IRSN. Le pourcentage s'élève 10 % en 2015. La demande émane principalement des chantiers de démantèlement en cours sur le territoire.

Il convient de noter également un accroissement des demandes issues d'autres secteurs, notamment d'équipes de recherche en charge de développement de nouveaux radiopharmaceutiques. Le nombre de salariés concernés reste faible mais les radionucléides recherchés sont parfois assez « exotiques », par exemple l'holmium 166, le thorium 227, le plomb 212, ce qui nécessite des ajustements de protocoles au cas par cas.

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

---

Comme les années précédentes ([7] à [19]), ce bilan est établi à partir des données de la surveillance individuelle mise en œuvre pour les

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

### BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

Tout porteur d'au moins un dosimètre entre le 1<sup>er</sup> janvier et le 31 décembre 2015 est compté dans l'effectif suivi par chaque laboratoire.

Le bilan des expositions professionnelles pour l'année 2015 a été établi à partir des données agrégées de chaque laboratoire de dosimétrie passive (cf. liste page 14) : effectifs des travailleurs par secteur d'activité professionnelle, doses collectives correspondantes (somme des doses individuelles reçues par un groupe de personnes) et répartition des travailleurs par classe de dose. Les données relatives aux activités civiles et de défense ont été regroupées dans chaque

secteur des domaines d'activités : activités médicales et vétérinaires, nucléaire, industrie non nucléaire, recherche. Pour chaque domaine est précisée la part concernant les effectifs des activités de la défense suivis par le Service de Protection Radiologique des Armées (SPRA).

Dans les chapitres présentant le bilan général et celui des grands domaines d'activité, le rapport présente les données relatives à la dose corps entier, mais aussi à la dose neutrons pour les activités concernées, à la dose extrémités, ainsi que les premières données sur le cristallin.

### Sélection des données

Certaines hypothèses ont été retenues pour agréger les données fournies par les laboratoires avec des caractéristiques différentes (seuils d'enregistrement des doses, règles d'affectation par secteurs d'activité). Les classes de doses retenues pour le bilan se basent sur une répartition

en classes de dose issue d'un consensus international (UNSCEAR, ESOREX) permettant ainsi de pouvoir comparer les résultats français aux données internationales :

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

Le bilan réalisé est une « photographie » de la situation au moment de l'envoi des informations par chaque laboratoire. Le nombre de cas de dépassements de la limite réglementaire indiqué dans ce rapport tient compte des résultats d'enquêtes après alertes validant ou réfutant les doses mesurées (cf. page 34).

Par ailleurs, le bilan est établi sur la base des résultats des mesures de la surveillance des expositions, sans pouvoir préjuger si les conditions de port des dosimètres sont conformes ou non à la réglementation. Ainsi, les doses réellement reçues par les porteurs sont dans certains cas surestimées, par exemple lorsque le dosimètre est porté sur le tablier de plomb ou lorsqu'il est placé sur le tube émetteur de rayons X. Dans d'autres cas, les doses peuvent être sous-estimées ou même non enregistrées lorsque les dosimètres ne sont pas portés de façon systématique par les travailleurs.

La période de port des dosimètres peut aussi influencer sur les mesures réalisées : ainsi, des valeurs d'équivalent de dose inférieures au seuil d'enregistrement du dosimètre sur un mois d'exposition sont assimilées à des doses nulles, mais pourraient être positives dans le cas d'une période de port plus importante, du fait du cumul des expositions.

### **Agrégation des données par secteurs d'activité**

La méthodologie utilisée et notamment la classification des travailleurs dans les différents domaines et secteurs d'activité par les organismes de dosimétrie impacte aussi nécessairement le bilan établi. En effet, dans un souci d'amélioration de la connaissance des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants, l'IRSN a amorcé en 2008 l'utilisation d'une nomenclature unique des secteurs d'activité (présentée en annexe), généralisée à partir de 2009. Mais cette application reste toujours 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. En outre, par souci de concision, les secteurs pour lesquels il y a moins de 20 travailleurs sont regroupés dans la catégorie « Autres » du domaine concerné.

### **Vers une extraction directe à partir du système SISERI ?**

L'entrée en vigueur de l'arrêté du 17 juillet 2013 devrait permettre d'intégrer directement dans SISERI la connaissance précise de l'activité de chaque travailleur, du fait de l'obligation qui est faite à l'employeur de renseigner cette information dans SISERI. Une fois cette disposition pleinement appliquée, ce système deviendra alors totalement opérationnel pour établir des statistiques des expositions professionnelles aux

rayonnements ionisants plus précises et plus fiables.

En outre, seul l'établissement du bilan à partir du système SISERI permettra d'éviter les doublons 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 en 2015 établi à partir des données communiquées par chaque laboratoire s'élève à 366 505 travailleurs. L'extraction des données de SISERI dénombre 353 424

travailleurs uniques ayant été suivis par dosimétrie externe passive corps entier (photons + neutrons) sur cette même période

## BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

Le bilan présenté dans ce rapport a été établi à partir des données communiquées à l'IRSN par les laboratoires de biologie médicale (LBM) ou les services de santé au travail (SST) en charge de la surveillance de l'exposition interne dans les établissements concernés, sur la base d'un questionnaire ou, pour le LAMR de l'IRSN, d'une extraction des données de SISERI (cf. page 25).

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'analyse :

- le nombre de travailleurs concernés (lorsqu'il est connu/ communiqué),
- le nombre total d'analyses réalisées,
- parmi celles-ci, le nombre d'analyses considérées comme positives selon les seuils considérés par chaque laboratoire (cf. page 20),
- parmi les analyses considérées comme positives, le nombre de travailleurs concernés (lorsqu'il est connu/ communiqué).

Sont également présentés de façon globale, et ensuite pour chaque domaine, le nombre de travailleurs pour lesquels un calcul de dose interne a été effectué au cours de l'année 2015, 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 [2] qui fixe une valeur maximale pour ce niveau égale à 5% des limites annuelles de dose, reprises par la réglementation en vigueur.

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

- en fonction de leur activité professionnelle, tous les travailleurs suivis n'ont pas eu systématiquement un examen avec analyses au cours de l'année 2015. C'est pourquoi le nombre d'analyses réalisées 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'analyses effectuées mais pas toujours le nombre précis de travailleurs que cela concerne, ce qui explique que le nombre de travailleurs suivis peut parfois être différent (dans les deux sens) du nombre d'analyses réalisées ;
- chaque examen n'est pas nécessairement exclusif. Pour un suivi optimal de l'exposition interne d'un travailleur, il peut être utile de combiner les différents types de mesures : par exemple, lorsqu'une mesure d'iode 131 par anthroporadiométrie au niveau de la thyroïde donne un résultat positif, il sera généralement effectué à la suite une analyse radiotoxicologique urinaire. La méthode de collecte de données ne permet pas d'éviter des doubles 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'examen 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.

En conséquence, 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 (en italique) dans les tableaux ci-après de bilan par domaines sont indicatifs et seuls les nombres d'examen 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 SIEVERTPN (cf. page 28).

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 RADIOACTIVITE NATURELLE



## SOMMAIRE

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES .....	p. 44
Dosimétrie corps entier	
Dosimétrie des extrémités	
Dosimétrie du cristallin	
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES .....	p. 53
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	
Surveillance spéciale	
Estimations dosimétriques	
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE .....	p. 56
Bilan 2015	
Evolution sur la période 1996 - 2015	
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION .....	p. 58
Répartition des événements entre les domaines d'activité	
Evolution sur la période 2005 - 2015	



Le bilan qui suit porte sur le suivi dosimétrique des travailleurs dans les activités civiles 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 premier chapitre présente les statistiques globales pour l'ensemble des domaines d'activités, hors radioactivité naturelle. Les quatre chapitres suivants détaillent les statistiques pour chaque domaine : successivement activités médicales et vétérinaires, nucléaire, industrie non nucléaire, recherche et enseignement.

## BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

### DOSIMETRIE CORPS ENTIER

Le nombre total de travailleurs suivis par dosimétrie externe dans les activités civiles soumises à autorisation ou à déclaration et dans les activités intéressant la défense est en augmentation de 1,7 % par rapport à l'année 2014.

Au sein de cet effectif, le nombre de travailleurs « exposés », c'est à dire ceux pour lesquels au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement a été enregistrée, représente 23 % contre 21 % en 2014. Au total, ce sont 85 783 travailleurs qui ont reçu au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement en 2015 contre 76 503 en 2014. Ainsi, la dose collective a augmenté de 10,1 % entre 2014 et 2015, passant de 56,3 homme.Sv à 61,9 homme.Sv.

Finalement, la valeur de la dose individuelle annuelle moyenne calculée pour l'effectif exposé en 2015 (0,72 mSv) est proche de 2014 (0,74 mSv).

- **365 830** travailleurs suivis

- Dose collective annuelle :

**61,9** homme.Sv

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

**0,72** mSv

### Analyse suivant les activités professionnelles

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

Pour chaque domaine d'activité, les données concernant les travailleurs civils et ceux de la défense ont été regroupées. Les travailleurs des activités de défense suivis par le SPRA se retrouvent dans les quatre domaines : activités

médicales et vétérinaires, nucléaire, industrie non nucléaire, recherche et enseignement. Ils représentent, comme en 2014, 2,5 % de l'effectif total suivi, avec une contribution à la dose collective à hauteur de 0,9 %, chiffre identique à celui de 2014.

La répartition des effectifs entre domaines est relativement stable par rapport à 2014. Le

domaine des activités médicales et vétérinaires compte plus de 62 % de l'effectif total suivi, contre 20 % pour l'industrie nucléaire, 10 % pour l'industrie non nucléaire et presque 4 % pour le domaine de la recherche et de l'enseignement.

Les 6 184 travailleurs suivis en plus par rapport à 2014 se répartissent principalement entre le domaine de l'industrie non nucléaire et le médical.

S'agissant de la dose collective, le domaine nucléaire contribue à lui seul à hauteur de 44 % en 2015 tout comme en 2014. Les activités médicales et vétérinaires participent pour 25 % contre 29 % en 2014, et les activités du domaine industriel non nucléaire en recouvrent 29 % contre 26 % en 2014.

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

Domaine d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total <sup>(a)</sup> (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé <sup>(b)</sup> (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Activités médicales et vétérinaires	228 371	15,38	0,07	0,34	182 955	42 810	2 296	266	38	5	1
Nucléaire <sup>(c)</sup>	73 363	27,45	0,37	1,17	49 860	16 431	5 806	1 160	105	1	0
Industrie non nucléaire	36 797	17,99	0,49	1,38	23 758	8 768	3 249	905	111	5	1
Recherche et enseignement <sup>(d)</sup>	13 223	0,42	0,03	0,25	11 526	1 639	57	1	0	0	0
Autres <sup>(e)</sup>	14 076	0,70	0,05	0,33	11 948	1 997	124	6	1	0	0
<b>Total</b>	<b>365 830</b>	<b>61,94</b>	<b>0,17</b>	<b>0,72</b>	<b>280 047</b>	<b>71 645</b>	<b>11 532</b>	<b>2 338</b>	<b>255</b>	<b>11</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. Les seuils sont précisés dans le Tableau 2 en fonction des organismes de dosimétrie

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

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

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

Comme les années précédentes, il existe des disparités entre les domaines en termes de doses individuelles moyennes : dans l'industrie non nucléaire et dans le domaine nucléaire, les doses moyennes calculées sur l'effectif ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement restent

les plus élevées, avec respectivement 1,38 mSv et 1,17 mSv. Pour mémoire, les valeurs en 2014 se situaient à 1,45 mSv et 1,16 mSv. Concernant les activités médicales et vétérinaires, la dose individuelle moyenne est en légère baisse en 2015, à 0,34 mSv contre 0,38 mSv en 2014.

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

Sur l'ensemble de l'effectif suivi, le bilan de l'exposition 2015 montre que la grande majorité des travailleurs n'a effectivement reçu aucune dose (77 % de l'effectif tous domaines confondus), avec des différences selon les domaines d'activité, comme le montre la Figure 9. Le personnel des secteurs nucléaire et de l'industrie non nucléaire, d'une manière générale plus spécialisé et intervenant dans une ambiance radiologique plus contraignante que celle des autres secteurs, s'avère plus exposé.

Parmi les 23 % de travailleurs exposés, c'est-à-dire ceux pour lesquels au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement a été enregistrée en 2015, soit 85 783 travailleurs (tous domaines confondus), il apparaît que 84 % d'entre eux sont exposés à moins de 1 mSv. Ce sont en conséquence 96 % de la population des travailleurs suivis dont la dose est inférieure à 1 mSv.

La répartition par classe de dose (cf. Figure 10) montre une grande similitude avec celle observée en 2014 : l'effectif exposé entre 1 et 5 mSv est de 11 532 travailleurs soit 13,4 % de l'effectif total exposé (14 % en 2014) et provient à hauteur de 79 % des domaines de l'industrie nucléaire et non nucléaire. L'effectif exposé à plus de 5 mSv est de 2 606 travailleurs, représentant 3 % de l'effectif total exposé, comme en 2014. Il provient très majoritairement (88 %) des deux domaines de l'industrie nucléaire et non nucléaire. Au total, ce sont 315 travailleurs de plus qu'en 2014 qui ont dépassé les 5 mSv.

L'exposition à plus de 20 mSv, limite réglementaire de dose efficace, concerne deux travailleurs et la dose individuelle maximum enregistrée en 2015 s'élève à 81,9 mSv pour une activité relevant du domaine industriel non nucléaire.

### *Contribution des neutrons*

En 2015, l'effectif suivi pour l'exposition aux neutrons est à nouveau en très légère hausse par rapport à l'année précédente, avec 53 105 travailleurs (vs 52 476 travailleurs en 2014), soit 14,5 % de l'effectif total suivi. La dose collective « neutrons » est de 1,98 homme.Sv, en légère hausse par rapport à 2014 (1,86 homme.Sv). La dose collective due aux neutrons représente 3,2 % de la dose collective totale (toutes composantes de rayonnements confondues).

La répartition par domaine d'activité est proche de celle observée les années précédentes : 66 % des effectifs suivis pour leur exposition aux neutrons appartiennent au domaine nucléaire, et

contribuent à la dose collective à hauteur de 94 % (Figure 11).

Les effectifs suivis dans l'industrie non nucléaire et la recherche représentent respectivement 18 % et 8 % de l'effectif total, avec des contributions à la dose collective totale respectivement de 3 % et 1 %.

Les effectifs suivis dans le domaine médical poursuivent une baisse déjà observée en 2014, et représentent 5 % de l'effectif total. Du fait d'un cas de dépassement de limite réglementaire à 21 mSv (dose neutrons dans le domaine médical), la dose collective de ce secteur dépasse 1 % de la dose neutrons totale en 2015.

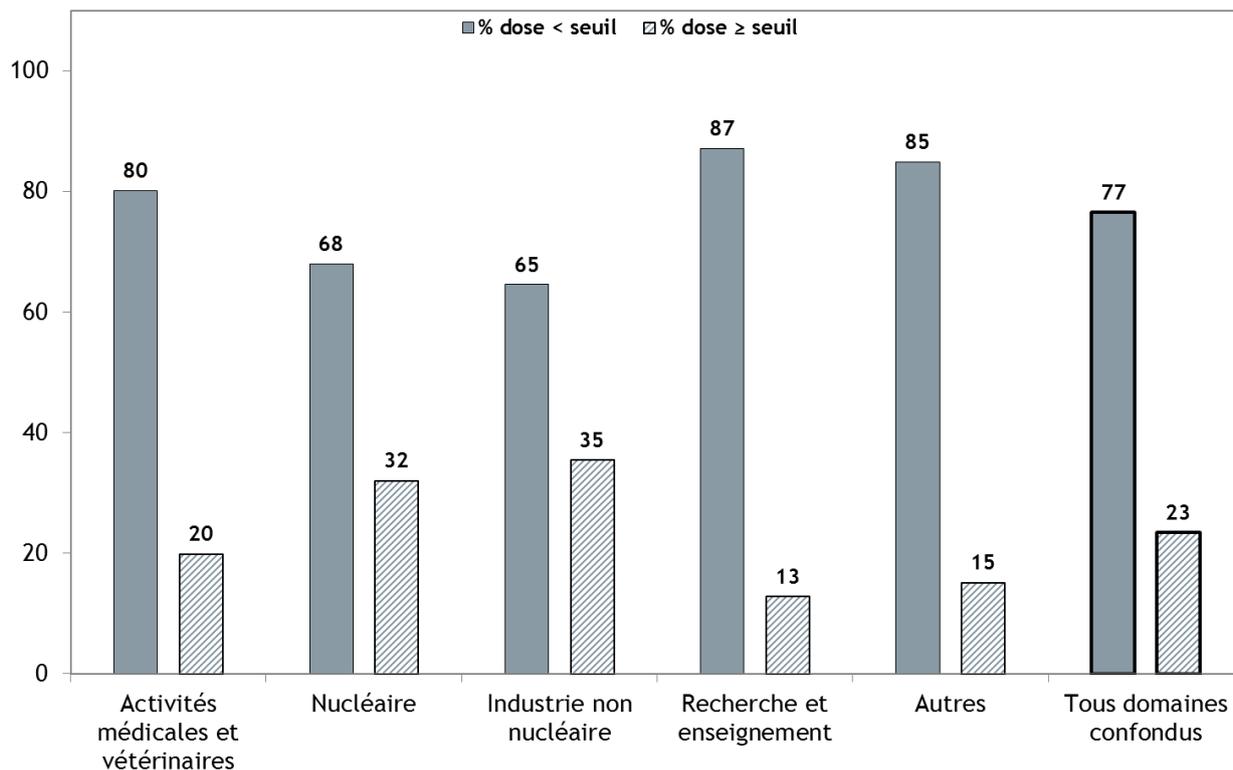


Figure 9 - Répartition (en pourcentage) des effectifs suivis par rapport au seuil d'enregistrement de la dose

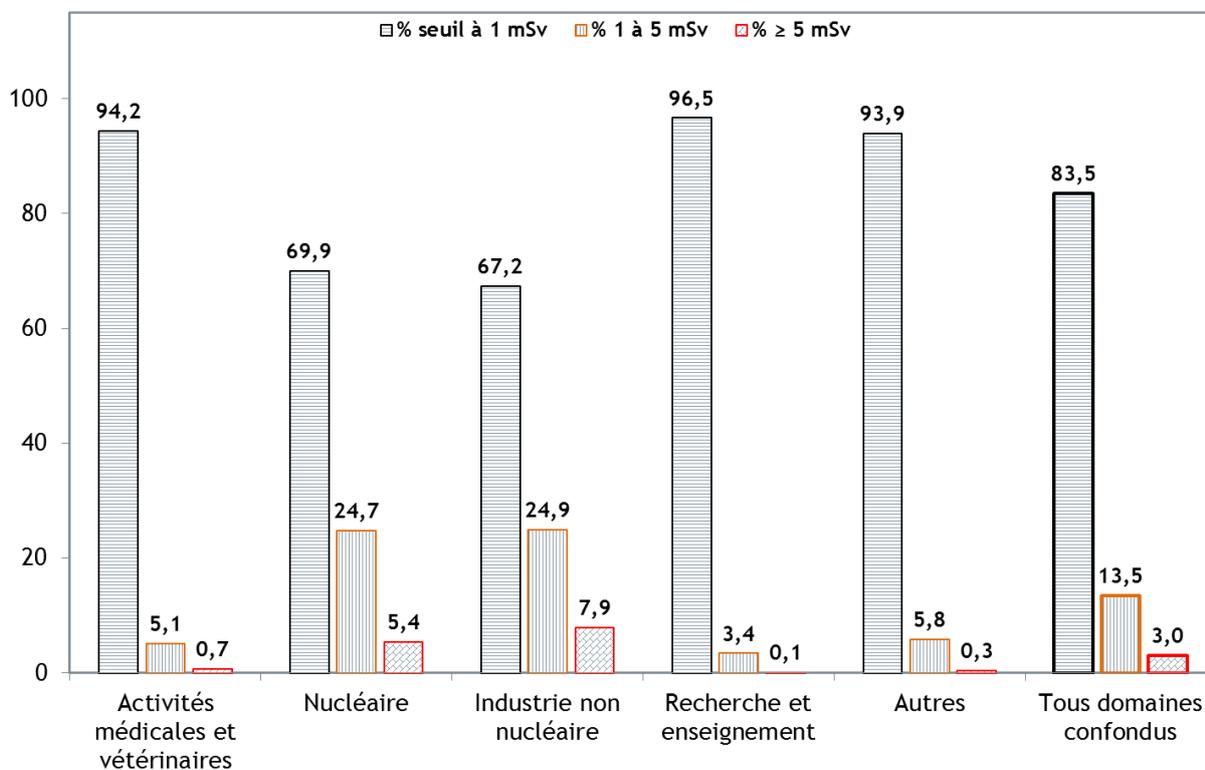


Figure 10 - Répartition (en pourcentage) de l'effectif exposé en fonction de différentes classes de dose efficace par exposition externe

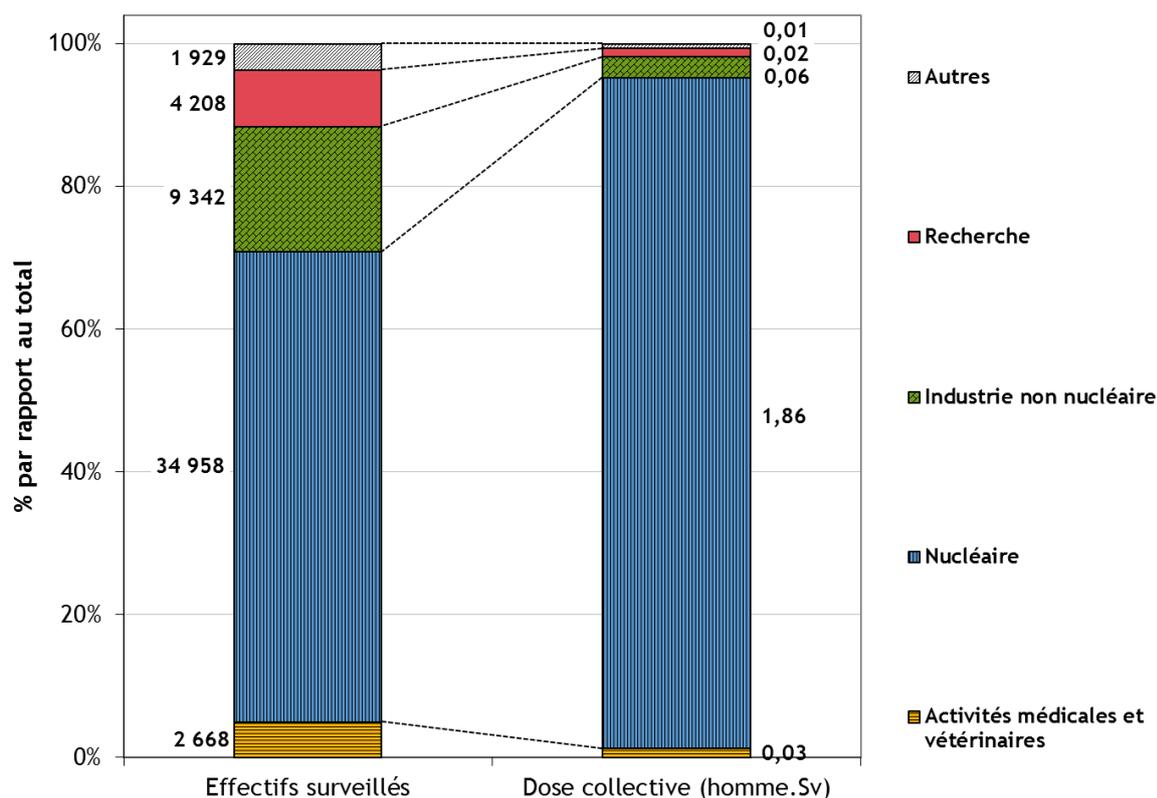


Figure 11 - Répartition des effectifs suivis et des doses collectives pour la dosimétrie des neutrons en 2015

### Evolution de la dose externe sur la période 1996-2015

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

La Figure 12 présente l'évolution des effectifs suivis et de la dose collective entre 1996 et 2015.

Sur cette période, l'effectif total suivi est passé de 230 385 à 365 830 travailleurs, soit une augmentation de presque 60 %. De 1996 à 2008, cette évolution a été successivement le résultat d'une croissance des activités mettant en œuvre des sources de rayonnements ionisants, conjuguée ensuite à une plus large surveillance des travailleurs, particulièrement dans le domaine médical (Figure 24) 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. Hormis une légère diminution observée en 2013, le nombre de travailleurs n'a pas cessé de croître depuis l'année 2001.

Dans le même temps, la dose collective a globalement diminué, avec cependant une tendance à l'augmentation entre 2006 et 2009 suivie d'une certaine stagnation sur la période 2009-2012. Après une évolution singulière observée en 2013 et 2014, la dose collective enregistrée en 2015 (61,9 homme.Sv) revient dans la fourchette des valeurs observées entre 2009 et 2012.

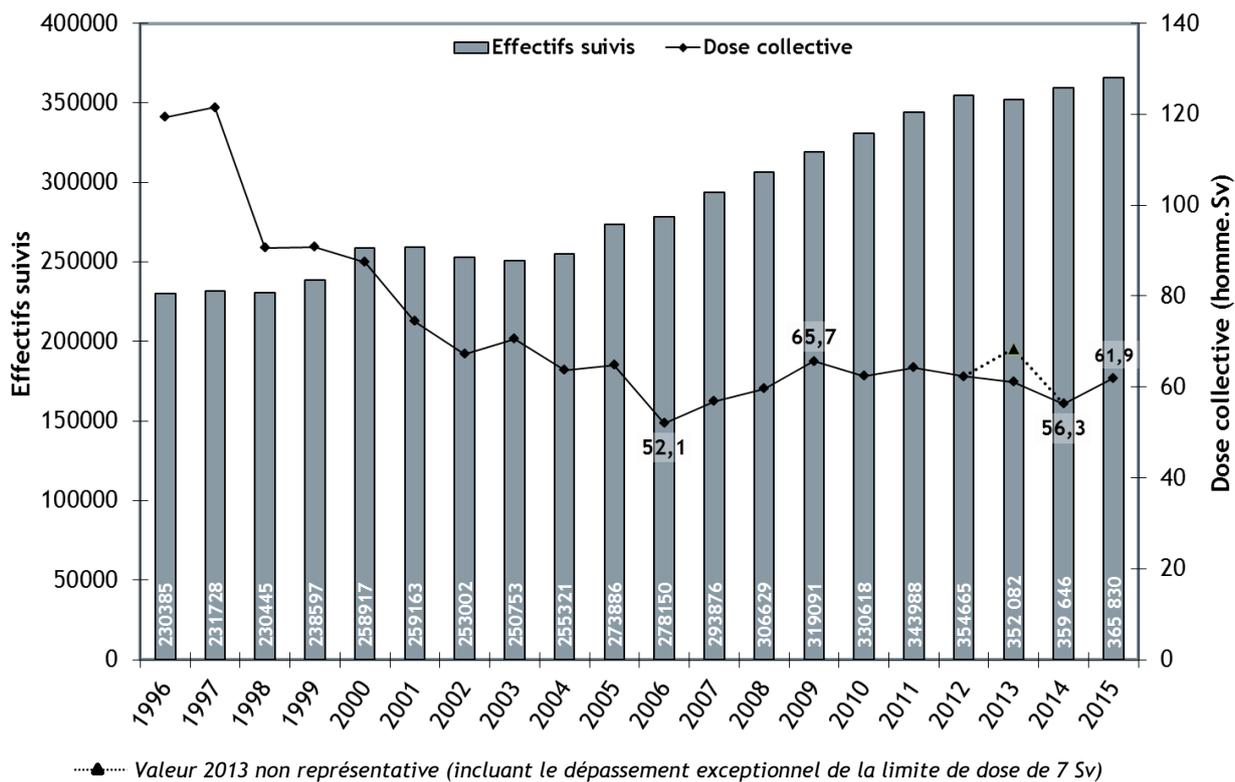


Figure 12 - Evolution des effectifs suivis et de la dose collective (photons + neutrons) de 1996 à 2015

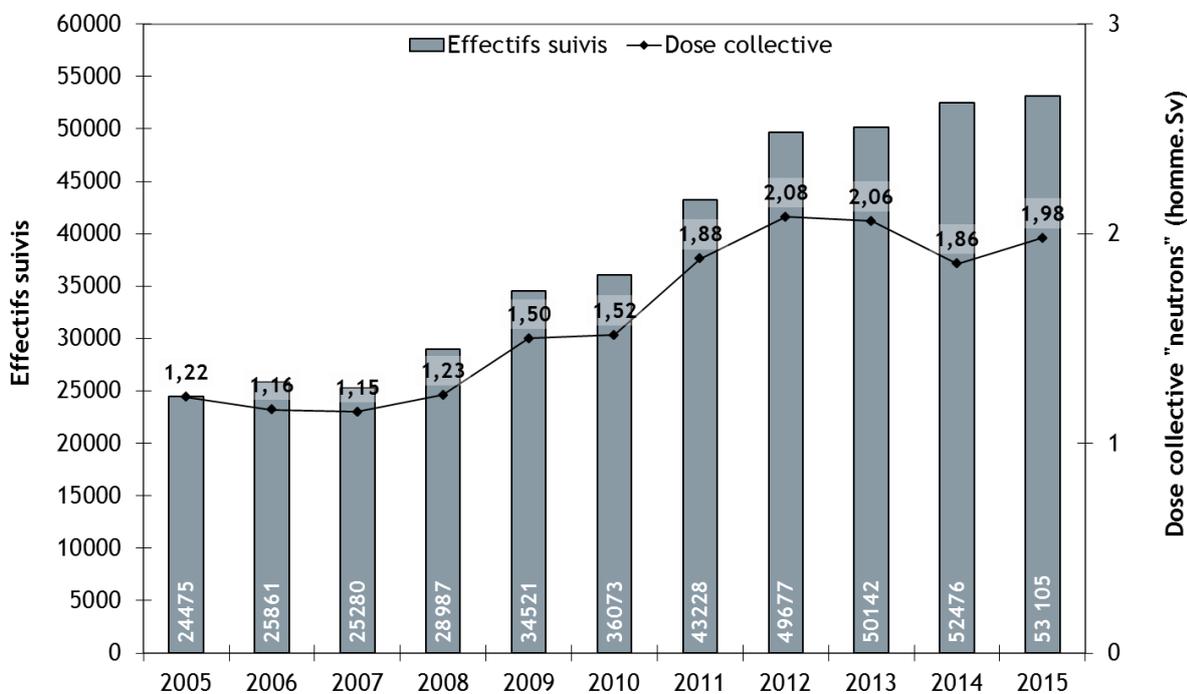


Figure 13 - Evolution des effectifs suivis et de la dose collective « neutrons » de 2005 à 2015

### Contribution des neutrons

Comme pour l'exposition globale (photons et neutrons) décrite précédemment, l'année 2015 marque une légère augmentation des effectifs

ayant un suivi dosimétrique pour les neutrons (1,2 %) ainsi qu'une hausse de la dose collective de 6,5 %, inversant ainsi la tendance des deux années précédentes (cf. Figure 13).

## DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2015, 28 070 travailleurs ont bénéficié d'une surveillance de l'exposition aux extrémités (port de dosimètres « bague » ou dosimètre « poignet »), soit 7,7 % de l'effectif total suivi. La dose totale enregistrée pour ces porteurs est de 136,8 Sv et la dose individuelle annuelle moyenne se situe à 4,9 mSv.

Le nombre des travailleurs bénéficiant d'un suivi dosimétrique au niveau des extrémités ne cesse de croître depuis 2012. En 2014, 27 068 travailleurs avaient été suivis, avec une dose totale s'élevant à 129,3 Sv.

La Figure 14 illustre la répartition des doses enregistrées aux extrémités en 2015 selon les domaines d'activité. Les contributions relatives à l'effectif total ou à la dose totale sont quasiment identiques à celles observées les années précé-

dentes, indiquant des pratiques relativement constantes quant au port de ce type de dosimètres.

Le domaine des activités médicales et vétérinaires contribue majoritairement aux expositions des extrémités, avec plus de la moitié des travailleurs suivis et les deux tiers de la dose totale. L'effectif suivi dans le nucléaire représente 26 % de l'effectif total suivi pour une contribution à la dose totale de 25 %. L'industrie non nucléaire et la recherche comptent respectivement 10 % (stable par rapport à 2014) et 5 % (légère baisse) de l'effectif total suivi et contribuent à la dose collective à hauteur de 4,0 % (légère hausse) et 1,4 % (légère baisse).

La dose maximale est de 685 mSv, enregistrée pour un travailleur du domaine médical (secteur de la radiologie) et correspond au seul dépassement de la limite réglementaire de dose équivalente (500 mSv) enregistré en 2015 aux extrémités.

### *Répartition entre dosimètres « bague » et dosimètres « poignet »*

La situation observée en 2015 confirme la tendance observée depuis 2012, première année où l'effectif suivi par une dosimétrie par bague avait dépassé l'effectif suivi par dosimétrie au poignet. Le nombre des travailleurs bénéficiant d'une dosimétrie par bague est de 17 323, soit 62 % de l'effectif total (vs 58 % en 2014).

Cette progression globale s'explique par une augmentation du nombre de porteurs dans le nucléaire et dans l'industrie non nucléaire, ainsi que dans les activités médicales et vétérinaires.

Mais 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 ne s'est pas poursuivie : la proportion des

dosimètres par bague se situe en peu de dessous de 20 % en 2015.

Concernant les activités médicales et vétérinaires, la progression de la dosimétrie par bague se poursuit, passant à 81 % de l'effectif suivi aux extrémités en 2015 (contre 78 % en 2014). La proportion des dosimètres bagues dans l'industrie non nucléaire passe de 55 % en 2014 à 61 % en 2015. Après une diminution notée jusqu'en 2010, puis une augmentation de la proportion des dosimètres bague par rapport aux dosimètres poignet jusqu'en 2014, le domaine de la recherche se situe en 2015 à 63 % de dosimètres « bagues ».

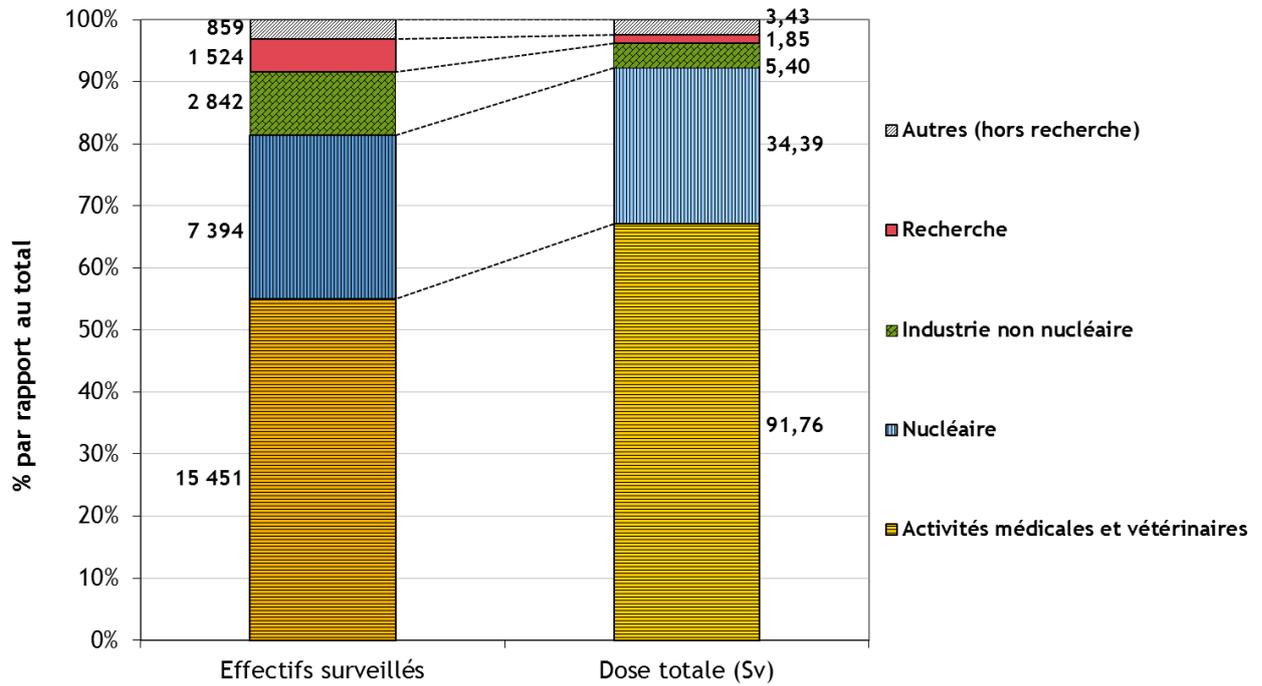


Figure 14 - Répartition des effectifs suivis et des doses enregistrées aux extrémités en 2015

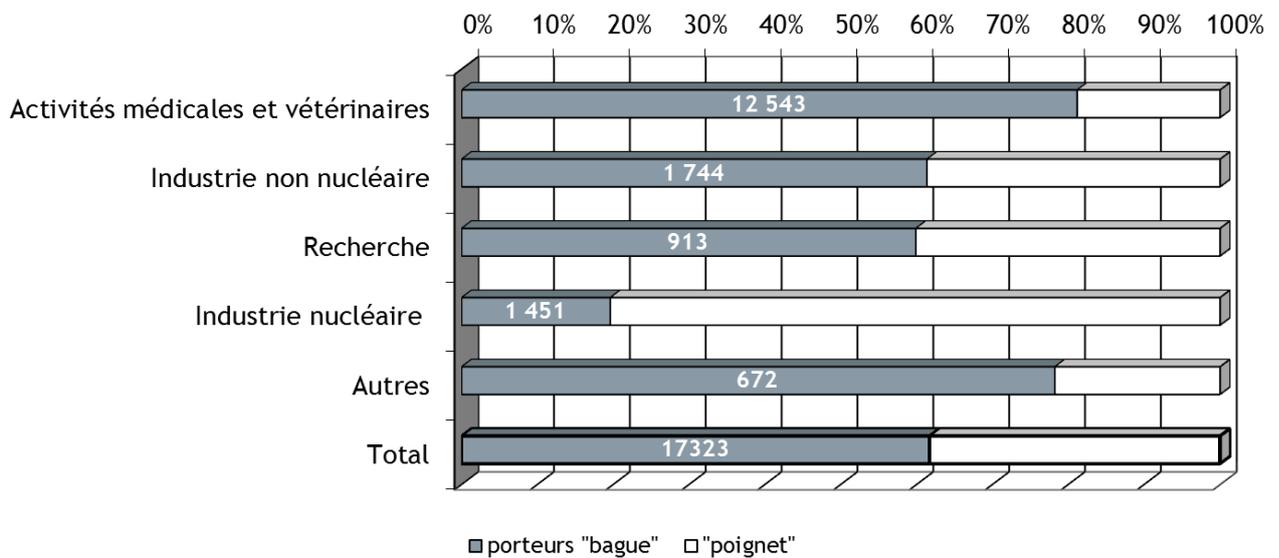


Figure 15 - Importance relative de la surveillance de l'exposition aux extrémités par dosimétrie par bague ou au poignet en 2015, suivant les domaines d'activité

## DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

Ce rapport présente pour la première fois des données relatives à la surveillance de l'exposition du cristallin (cf. page 28). Elles concernent un effectif total de 200 personnes dont 91 % dans le secteur des activités médicales et vétérinaires (cf. Figure 16). La dose totale est de 101,22 mSv, dont 74 % pour le secteur médical et vétérinaire. Pour ce secteur, la dose individuelle maximale enregistrée est de 5,05 mSv.

La dose collective enregistrée sur les autres secteurs n'est pas significative (faible effectif), mais il en ressort néanmoins quelques doses individuelles du même ordre de grandeur, voire plus élevées : de l'ordre de 7 mSv sur une installation de recherche liée au nucléaire et sur un usage industriel hors nucléaire. Ces chiffres sont à mettre en regard de la perspective de la diminution de la limite réglementaire de dose au cristallin de 150 à 20 mSv (cf. Tableau 1).

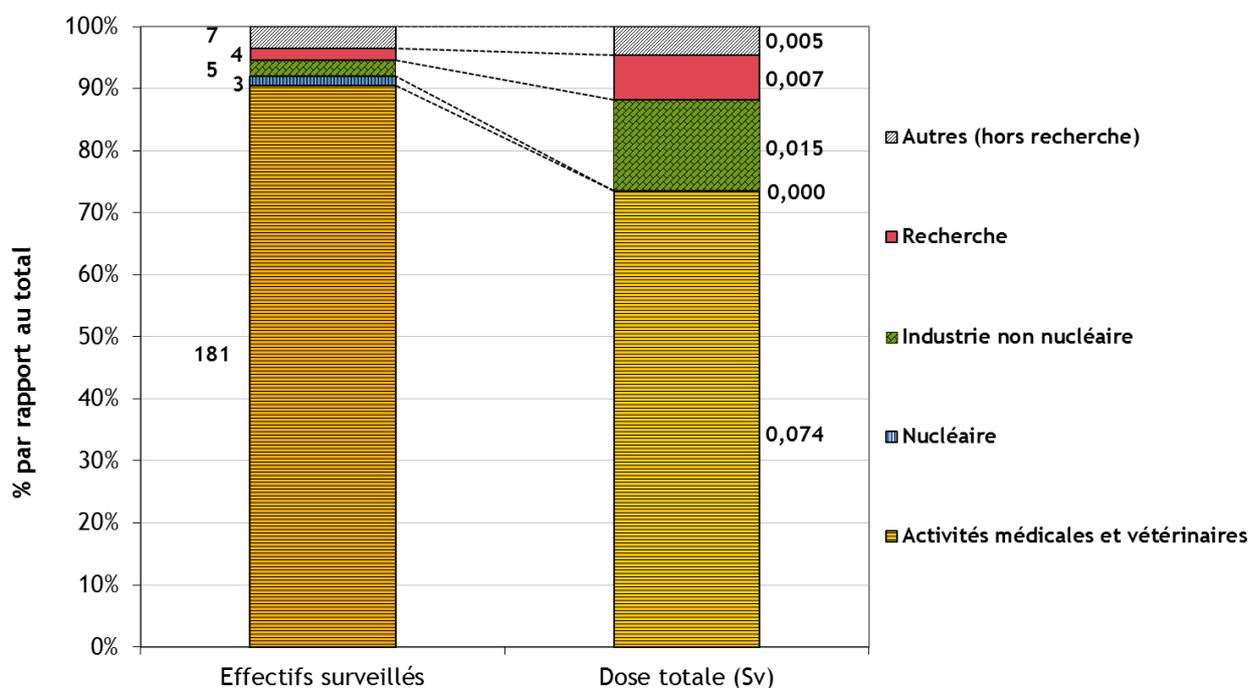


Figure 16 - Répartition des effectifs suivis et des doses enregistrées au cristallin en 2015

## BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

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

Le nombre indicatif de travailleurs suivis au titre de la surveillance de routine s'élève en 2015 à 109 167, dont 89 % dans le domaine des activités nucléaires. Suivent les domaines de la recherche (8 %), des activités médicales ou vétérinaires (2 %), et de l'industrie non nucléaire.

Le nombre total d'analyses réalisées dans le cadre de cette surveillance en 2015, tous types confondus, s'élève à 279 877 (contre 306 220 en 2014). Ce constat traduit les conséquences d'une diminution de l'ordre de 10 % du nombre d'analyses réalisées dans le secteur largement majoritaire du nucléaire (voir chapitre dédié, p. 85), qui n'est pas complètement compensé par une augmentation pourtant significative (37 %) du nombre d'analyses dans le domaine de l'industrie non nucléaire et, dans une moindre mesure, dans celui de la recherche (8 %).

Les analyses anthroporadiométriques demeurent les plus nombreuses, avec 135 599 analyses (48 %) réalisées en 2015, suivies par les comptages sur prélèvements nasaux et mouchages, puis les analyses radiotoxicologiques des urines, représentant respectivement 93 420 (33 %) et 41 093 (15 %) analyses. Enfin, 9 765 analyses radiotoxicologiques fécales (3,5 % des analyses) ont également été réalisées.

Le Tableau 5 présente la répartition des analyses effectuées suivant les domaines d'activité. La Figure 17 détaille cette répartition suivant les types d'analyse. Il ressort des données transmises que les grandes entreprises du nucléaire font appel à l'ensemble des techniques de surveillance, avec pour certaines des spécificités notables. Ainsi, EDF utilise préférentiellement les analyses anthroporadiométriques par rapport aux analyses radiotoxicologiques : 104 713 des 120 520 analyses réalisées par EDF en 2015 (soit 87 %) sont des anthroporadiométriques. AREVA réalise le suivi de l'exposition interne par les deux types d'analyses : sur un total de 24 841 analyses,

13 645 sont des anthroporadiométriques, soit 55 %. Le complément est partagé entre les analyses d'urines (38 %) et les analyses de selles (7 %). Les prélèvements nasaux (80 066 réalisés en 2015) sont largement majoritaires pour la surveillance des personnels des sites du CEA, puisqu'ils représentent 69 % des analyses réalisées en 2015 (11 % pour l'anthroporadiométrie, 15 % pour les analyses d'urine et 5 % pour les selles).

En 2015, le suivi de routine du personnel dans les établissements du domaine médical et vétérinaire repose toujours essentiellement sur des analyses radiotoxicologiques urinaires (à 97 %). Celui du personnel des installations de recherche est réalisé à 54 % par des analyses radiotoxicologiques (dont 37 % d'analyses d'urines) et à 46 % par des analyses anthroporadiométriques. Du fait d'activités globalement moins sujettes à une exposition interne, 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 de pouvoir bénéficier des moyens mobiles de l'Institut.

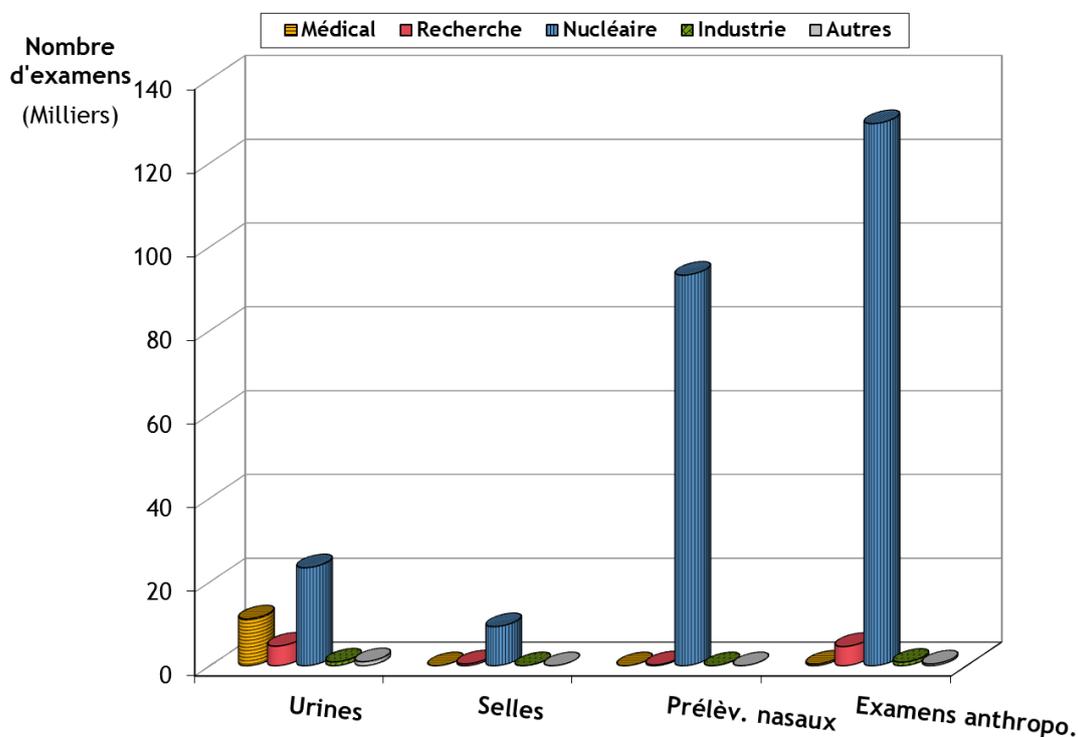
Il est à noter que la proportion d'exams positifs en 2015 est en baisse (0,42 % du nombre total d'exams de routine, contre 0,77 % en 2014).

**Tableau 5 - Exposition interne : surveillance de routine dans les différents domaines d'activité en 2015**

Domaines d'activité	<i>Nombre de travailleurs suivis (*)</i>	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (**)	<i>Nombre de travailleurs avec résultat positif (*)</i>
Activités médicales et vétérinaires	2 031	11 557	123	≥ 28
Industrie non nucléaire	905	1 743	23	11
Nucléaire	≥ 96 940	255 334	1 005	≥ 425
Recherche	8 525	9 862	11	≥ 7
Autres	766	1381	3	≥ 2
<b>Total</b>	<b>≥ 109 167</b>	<b>279 877</b>	<b>1 165</b>	<b>≥ 473</b>

(\*) Colonne en italique : le nombre de travailleurs est donné à titre indicatif (cf. page 40)

(\*\*) Les analyses considérées positives sont celles 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 17 - Nombre d'examens selon les types d'analyses mises en œuvre dans la surveillance de l'exposition interne pour les différents domaines d'activités en 2015 (surveillance de routine)**

## SURVEILLANCE SPECIALE

En 2015, 11 196 analyses ont été réalisées dans le cadre de la surveillance spéciale pour environ 2 189 travailleurs. Ceci représente une augmentation d'un facteur 2 par rapport à 2014, et ce chiffre dépasse légèrement celui de 2013.

Seule une partie de ces analyses ont été réalisées à la suite d'un événement ou d'un incident de

radioprotection. Pour 1 806 des analyses, soit 16 % de l'ensemble des analyses effectuées dans le cadre de cette surveillance, le résultat a été positif. Le Tableau 6 présente la répartition des analyses selon les domaines d'activité : 98 % a concerné le domaine nucléaire. A titre indicatif, cela représente environ 686 personnes, dont 673 dans le domaine du nucléaire.

**Tableau 6 - Exposition interne : surveillance spéciale dans les différents domaines d'activité en 2015**

Domaines d'activité	<i>Nombre de travailleurs suivis (*)</i>	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (**)	<i>Nombre de travailleurs avec résultat positif (*)</i>
Activités médicales et vétérinaires	40	117	3	≥ 1
Industrie non nucléaire	30	88	1	1
Nucléaire	≥ 1 912	10 339	1 780	≥ 673
Recherche	184	516	8	7
Autres	23	136	14	4
<b>Total</b>	<b>≥ 2 189</b>	<b>11 196</b>	<b>1 806</b>	<b>≥ 686</b>

(\*) Colonne en italique : le nombre de travailleurs est donné à titre indicatif (cf. page 40)

(\*\*) Les analyses considérées positives sont celles 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 2015, 588 travailleurs sont identifiés comme ayant fait l'objet d'un calcul de dose interne. Ce sont pour 95 % d'entre eux des travailleurs du domaine nucléaire. Tous domaines confondus, deux cas d'exposition interne conduisant à une dose efficace engagée supérieure à 1 mSv ont été rapportés. Une dose individuelle de 3 mSv (valeur

maximale enregistrée en 2015) a été estimée pour un travailleur du nucléaire.

La Figure 18 présente pour les années 2006 à 2015 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.

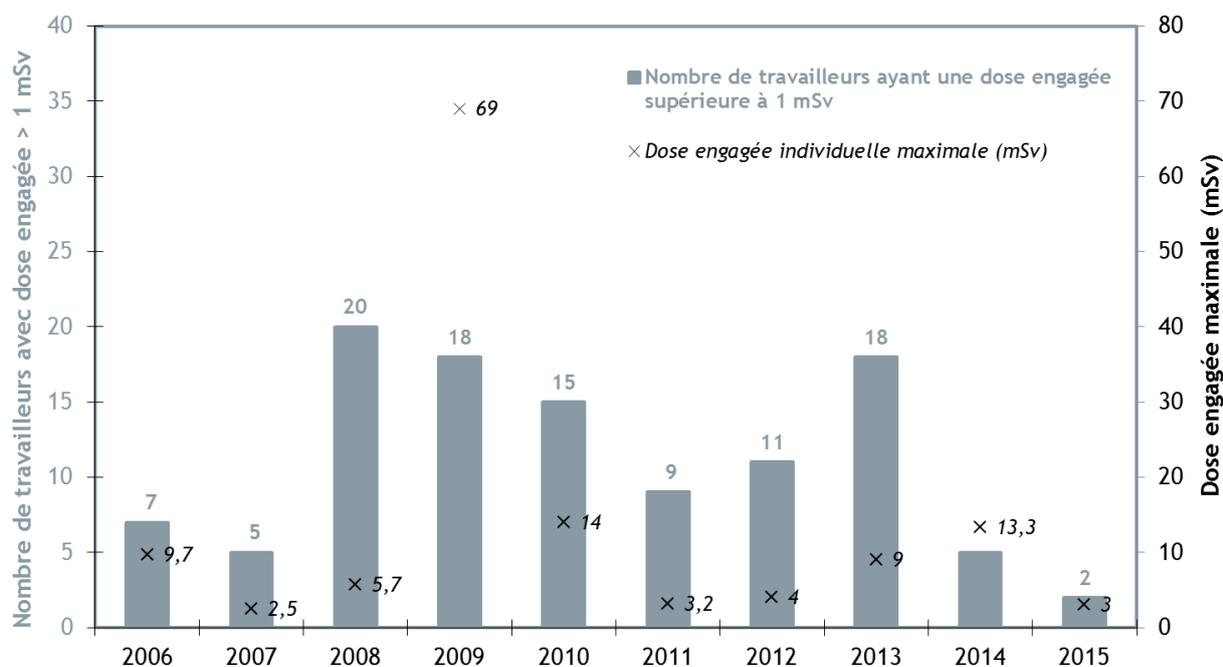


Figure 18 - Evolution, de 2006 à 2015, du nombre de travailleurs avec une dose engagée supérieure à 1 mSv

## DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

### BILAN 2015

Le bilan arrêté au 14 avril 2016 met en évidence un dépassement de l'une des limites réglementaires de dose, entre le 1<sup>er</sup> janvier et le 31 décembre 2015, pour quatre travailleurs (Tableau 7).

Les dépassements de la limite réglementaire de 20 mSv pour la dose efficace concernent 2 travailleurs (Tableau 4 et Figure 19). L'un à 81,9 mSv est lié au rayonnement X pour une activité dans le secteur de l'industrie hors installations nucléaires (cf. chapitre dédié) ; l'autre à 21 mSv est dû aux neutrons dans une installation médicale de radiothérapie (Figure 21).

Un cas de dépassement de la limite de dose équivalente aux extrémités (500 mSv) est enregistré dans le domaine médical, dans le secteur de la radiologie, avec une valeur égale à 685 mSv (dose main).

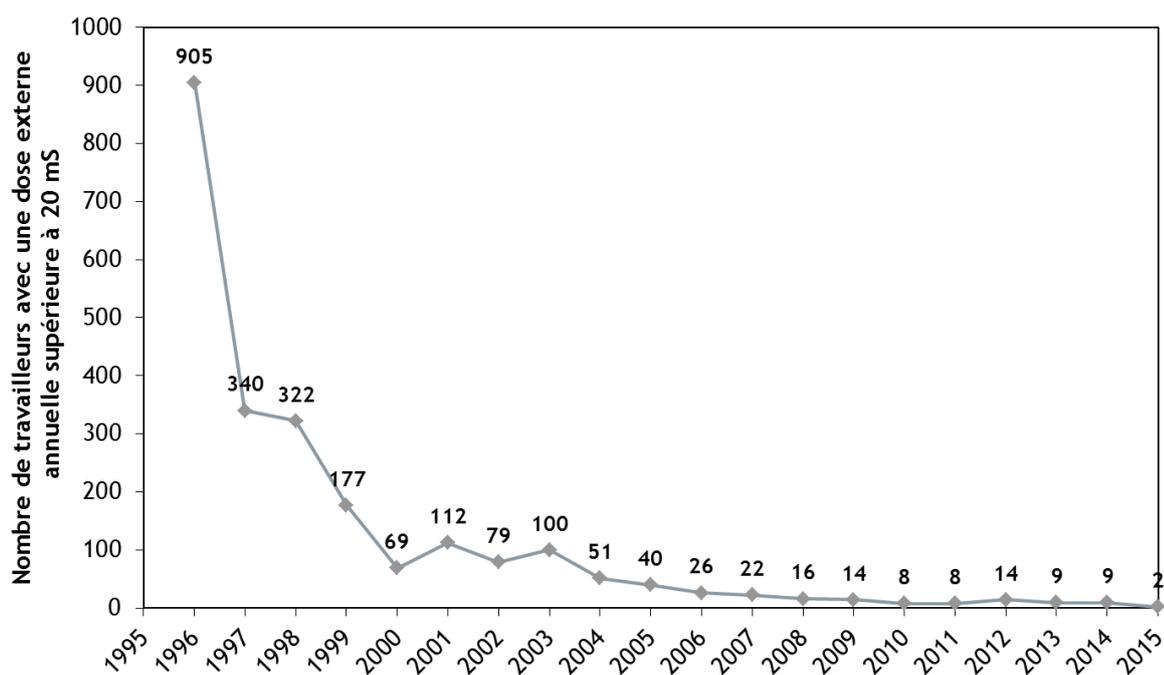
Un cas de dépassement de la limite de dose équivalente à la peau (500 mSv sur le cm<sup>2</sup> le plus exposé) est enregistré en 2015 dans le secteur logistique et maintenance du nucléaire, avec une valeur de 1 524 mSv (cf. focus dans le chapitre dédié au nucléaire).

Dans de telles situations, selon les dispositions réglementaires en vigueur, le médecin du travail (MDT) doit diligenter une enquête visant à confirmer, ou non, la réalité de la dose enregistrée (selon la démarche explicitée en page 34).

En 2015, le retour des MDT a été meilleur que les années précédentes. Ceci a conduit à ramener après enquête le nombre de dépassements finalement comptabilisés dans le bilan à quatre, alors que 39 signalements de dépassements de limite réglementaire avaient été enregistrés.

**Tableau 7 - Dépassements des limites annuelles réglementaires de doses : bilan 2015**

Limite réglementaire	Nombre de travailleurs
Dose efficace	2
- due à une exposition externe	2
- due à une exposition interne	0
Dose équivalente aux extrémités	1
Dose équivalente à la peau	1



**Figure 19 - Evolution, de 1996 à 2015, du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv**

### EVOLUTION SUR LA PERIODE 1996-2015

La Figure 19 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 2004-2015 (Figure 20). Le domaine des activités médicales et vétérinaires est celui où les cas de dépassement de limites réglementaires sont les plus nombreux. C'est aussi le domaine où les écarts par rapport aux bonnes pratiques de port des dosimètres sont

très régulièrement constatés. Il est ainsi vraisemblable qu'un certain nombre des fortes valeurs de dose 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,...).

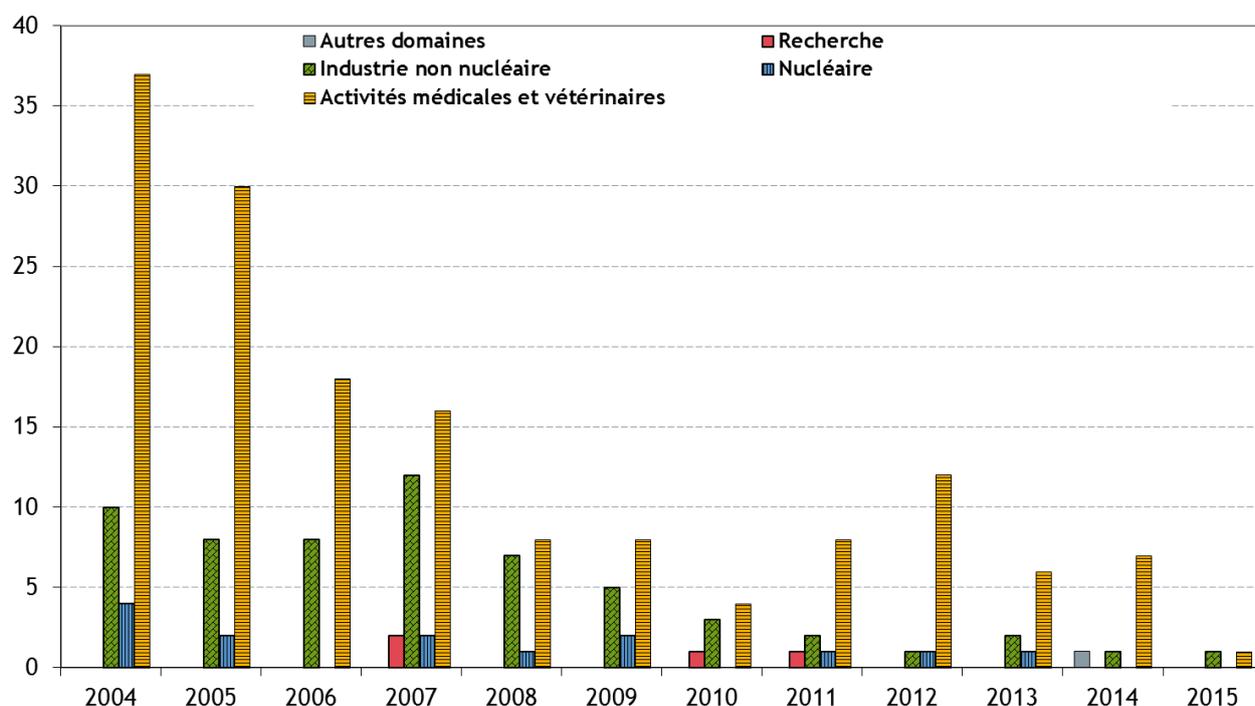


Figure 20 - Répartition par domaine d'activité du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (période 2004-2015)

## SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

### REPARTITION DES EVENEMENTS ENTRE LES DOMAINES D'ACTIVITE

Parmi l'ensemble des événements de radioprotection que l'IRSN a recensés en 2015, 259 impliquent directement les travailleurs surveillés, soit 5 % de plus qu'en 2014. La Figure 21 illustre la répartition de ces événements selon les domaines

d'activité. Ces événements concernent très majoritairement le nucléaire (60 %) puis le domaine médical et vétérinaire (17 %) suivi par l'industriel non nucléaire (15 %).

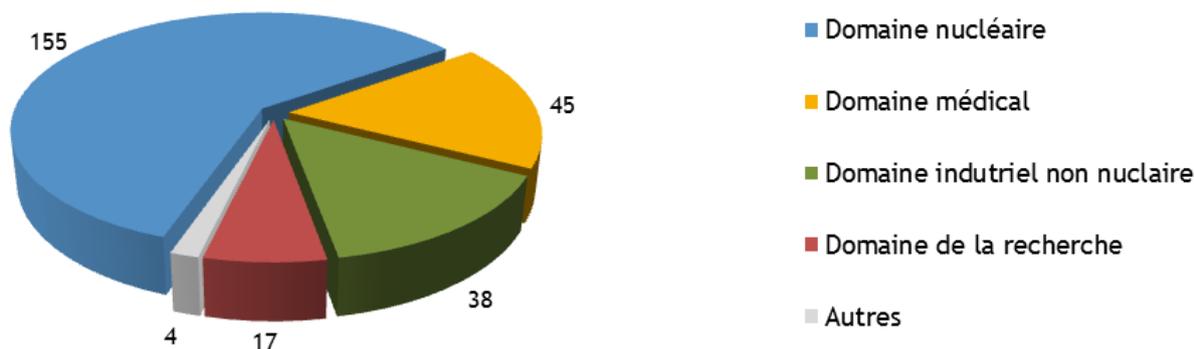


Figure 21 - Répartition des événements entre les domaines d'activité

Parmi les 259 événements « travailleurs » recensés, 220 événements sont 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 PERIODE 2005 - 2015

Le Tableau 8 reprend la répartition des événements « travailleurs » recensés par l'IRSN depuis 2005, selon les grands domaines d'activité. Il montre qu'aucune évolution significative n'a été observée sur ces 10 années. Le domaine médical reste le principal pourvoyeur d'alertes de dépassement de limite réglementaire de dose, dans une proportion supérieure (72 %) à la proportion des travailleurs de ce domaine (65 %) dans l'effectif total des travailleurs suivis.

Si la culture de déclaration entre peu à peu dans les habitudes du domaine médical en ce qui

concerne les événements patients, il semblerait qu'il y ait peu d'évolution en ce qui concerne les autres événements affectant la radioprotection des travailleurs. Les domaines d'activité ayant historiquement une culture déclarative plus forte, à l'image du domaine nucléaire, affichent un nombre relativement stable d'événements.

**Tableau 8 - Evolution des événements concernant des travailleurs sur la période 2005 - 2015**

Alertes de dépassements de limite réglementaire de dose	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Activités médicales et vétérinaires	63	53	54	36	44	32	34	36	44	25	28
Industrie non nucléaire	17	13	18	17	13	5	12	4	11	13	9
Nucléaire	0	1	0	4	2	5	3	6	6	1	0
Recherche	2	1	0	0	0	0	0	3	0	3	2
Autres	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total alertes de dépassements</b>	<b>82</b>	<b>68</b>	<b>72</b>	<b>57</b>	<b>59</b>	<b>42</b>	<b>49</b>	<b>52</b>	<b>61</b>	<b>43</b>	<b>39</b>
Autres événements	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Activités médicales et vétérinaires	8	9	10	7	11	13	17	22	12	16	17
Industrie non nucléaire					19	17	2	5	7	23	29
Nucléaire	182	170	169	183	137	137	132	148	167	155	155
Recherche					6	1	2	18*	9	9	17
Autres	1	0	0	0							2
<b>Total autres événements</b>	<b>190</b>	<b>179</b>	<b>179</b>	<b>190</b>	<b>173</b>	<b>168</b>	<b>153</b>	<b>194</b>	<b>195</b>	<b>203</b>	<b>220</b>
<b>TOTAL</b>	<b>272</b>	<b>247</b>	<b>251</b>	<b>247</b>	<b>232</b>	<b>210</b>	<b>202</b>	<b>246</b>	<b>256</b>	<b>246</b>	<b>259</b>

\* Les événements survenus dans les installations de recherche liées au nucléaire sont classés à partir de 2012 dans le domaine de la recherche à la place du domaine nucléaire. Ceci explique l'augmentation du nombre d'événements dans le domaine de la recherche.

# DOMAINE DES ACTIVITES MEDICALES ET VETERINAIRES



## SOMMAIRE

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES .....	p. 62
Dosimétrie corps entier	
Dosimétrie des extrémités	
Dosimétrie du cristallin	
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES .....	p. 69
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	
Surveillance spéciale	
Estimations dosimétriques	
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE .....	p. 70
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION .....	p. 71
DEUX NOUVELLES FICHES POUR LE GUIDE D'ETUDE DE POSTES.....	p. 72
OPTIMISATION DE LA RADIOPROTECTION EN RADIOTHERAPIE .....	p. 73



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 % par rapport à l'année 2014. Dans le même temps, la dose collective est en très légère diminution de 1,7 %. Il en est de même pour la dose individuelle annuelle moyenne, calculée sur l'effectif exposé (travailleurs pour lesquels au moins une dose dans l'année a été supérieure au seuil d'enregistrement), qui passe de 0,38 mSv en 2014 à 0,34 mSv en 2015.

• **228 371** travailleurs suivis (62,4 % de l'effectif)

• Dose collective annuelle :

**15,4** homme.Sv

• Dose individuelle annuelle moyenne

calculée sur l'effectif exposé :

**0,34** mSv

### Analyse suivant les activités professionnelles

Le Tableau 9 présente les résultats de la surveillance dosimétrique (photons + neutrons) répartis par secteur d'activité.

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

données sont regroupées dans la catégorie « Radiologie ».

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

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

Domaine d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total <sup>(a)</sup> (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé <sup>(b)</sup> (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Radiologie	117 153	9,19	0,08	0,38	92 814	22 749	1 342	218	27	3	0
Soins dentaires	51 103	2,06	0,04	0,22	41 575	9 330	192	3	3	0	0
Médecine du travail et dispensaires	3 605	0,16	0,04	0,25	2 989	599	16	0	1	0	0
Radiothérapie	6 690	0,98	0,15	0,60	5 048	1 468	125	40	6	2	1
Médecine nucléaire	4 164	1,14	0,27	0,68	2 495	1 266	401	2	0	0	0
Laboratoires d'analyses (RIA)	129	0,00	0,01	0,22	123	6	0	0	0	0	0
Médecine vétérinaire	20 821	0,52	0,03	0,20	18 266	2 507	47	1	0	0	0
Logistique et maintenance (prestataires)	131	0,01	0,04	0,36	116	13	2	0	0	0	0
Autres	24 575	1,34	0,05	0,26	19 529	4 872	171	2	1	0	0
<b>Total</b>	<b>228 371</b>	<b>15,38</b>	<b>0,07</b>	<b>0,34</b>	<b>182 955</b>	<b>42 810</b>	<b>2 296</b>	<b>266</b>	<b>38</b>	<b>5</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.

Les effectifs, doses collectives et doses moyennes indiquées pour ces secteurs du domaine médical sont donc à considérer avec prudence. L'obligation faite aux employeurs de déclarer directement le secteur d'activité de leurs travailleurs dans SISERI permettra à terme de réduire considérablement 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 %.

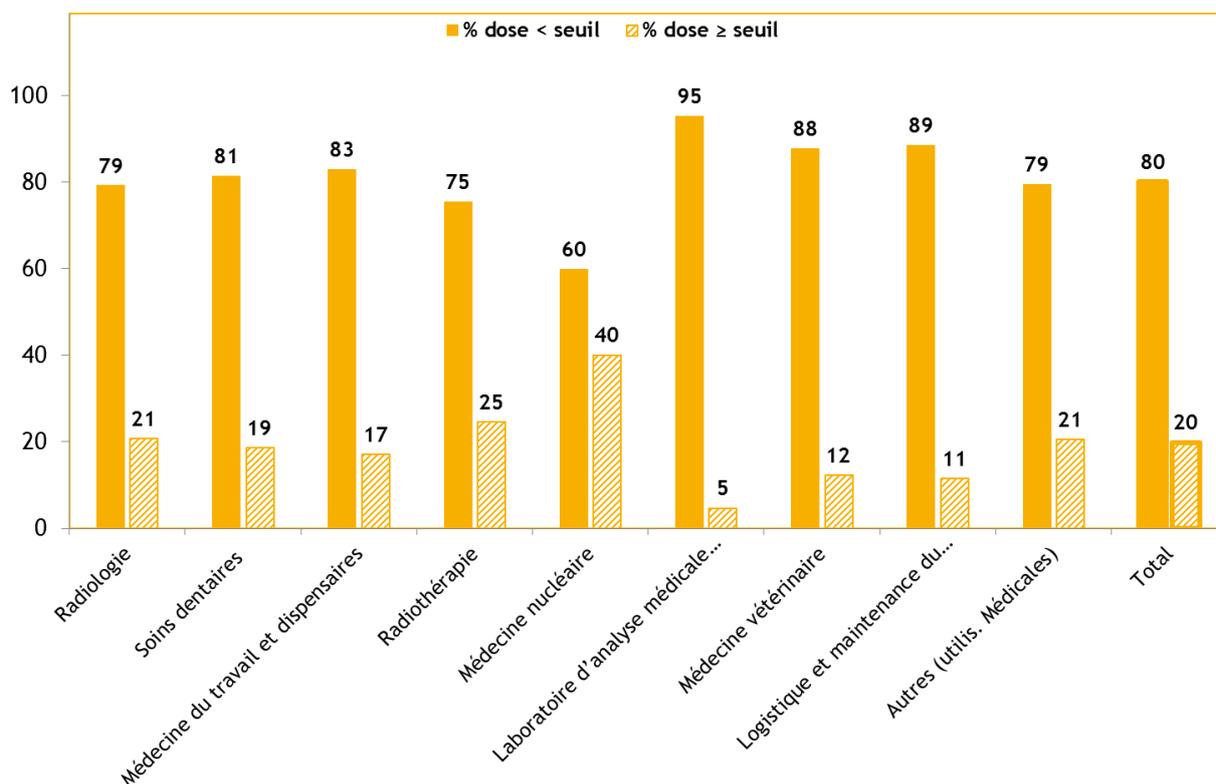


Figure 22 - Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis des principaux secteurs médicaux et vétérinaires, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose

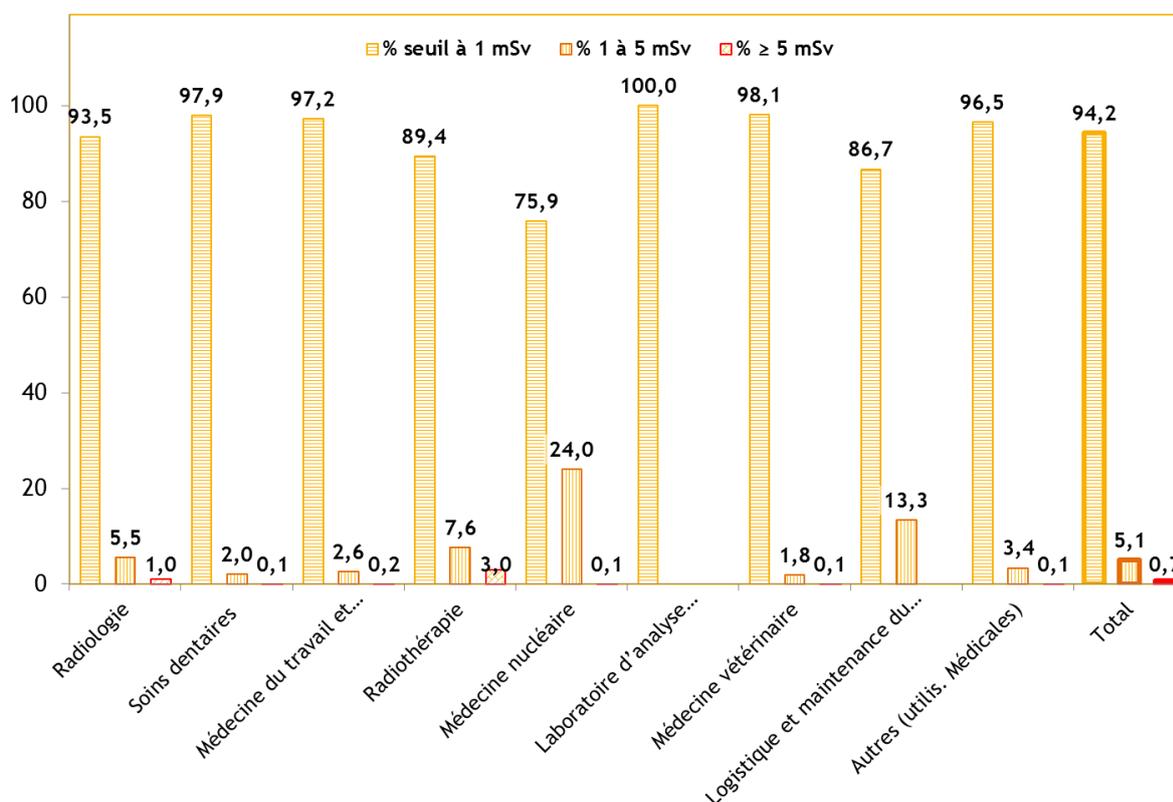


Figure 23 - Répartition (en pourcentages) de l'effectif exposé des principaux secteurs médicaux et vétérinaires, en fonction de différentes classes de dose externe corps entier

La répartition des effectifs évolue peu par rapport à l'année 2014 : les activités de radiologie (voir ci-dessus) en regroupent 51 %. Suit le personnel affecté aux soins dentaires (22 %), puis celui des activités de médecine vétérinaire (9 %). Les activités de radiothérapie représentent 3 % de l'effectif ; la médecine nucléaire regroupe 2 % des travailleurs suivis.

Les doses individuelles moyennes sur l'effectif de ces deux derniers secteurs sont nettement plus élevées, de 2 à 3 fois supérieures aux doses individuelles moyennes observées dans les autres secteurs du domaine médical. La dose individuelle annuelle maximale de ce domaine a été enregistrée en 2015 dans le secteur de la radiothérapie, avec une dose neutrons de 21 mSv.

L'analyse de la répartition des effectifs en fonction de leur niveau d'exposition (cf. Figure 22) montre que la très grande majorité des travailleurs est non exposée (doses inférieures au seuil d'enregistrement). C'est notamment le cas pour 95 % des travailleurs du secteur des laboratoires d'analyse médicale, 89 % de ceux de la logistique et maintenance,

ainsi que pour 88 % de l'effectif du secteur de la médecine vétérinaire. Les deux secteurs ayant une proportion de l'effectif exposé plus importante restent la médecine nucléaire (40 %) et la radiothérapie (25 %).

Parmi les travailleurs du domaine des activités médicales et vétérinaires ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement, tous secteurs confondus, plus de 94 % sont exposés à moins de 1 mSv (proportion en légère hausse par rapport à 2014). Ce chiffre varie de 76 % dans le secteur de la médecine nucléaire à des valeurs proches de 100 % pour nombre d'autres secteurs tels que les soins dentaires et la médecine vétérinaire (cf. Figure 23). Le reste de l'effectif exposé se concentre ensuite dans la classe de dose de 1 à 5 mSv, les expositions à plus de 5 mSv ne concernant que moins de 1,4 % des travailleurs exposés, dans les secteurs de la radiothérapie et de la radiologie.

Les résultats observés dans le domaine médical peuvent être illustrés par les données issues d'une étude récente (cf. focus ci-après).

### *Contribution des neutrons*

2 668 travailleurs du domaine médical, soit 1,2 % de l'effectif de ce domaine, ont un suivi pour l'exposition aux neutrons. Ce chiffre est en diminution, de 16,5 % par rapport à 2014. La dose collective correspondante est égale à 26,42 homme.mSv. Hormis le cas de dépassement de la limite réglementaire à 21 mSv, les doses individuelles annuelles enregistrées sont toutes inférieures à 1 mSv. En excluant ce cas de dépassement pour comparer à l'année précédente, la dose collective est de 5,42 homme.mSv, valeur en hausse de 44 % par rapport à 2014.

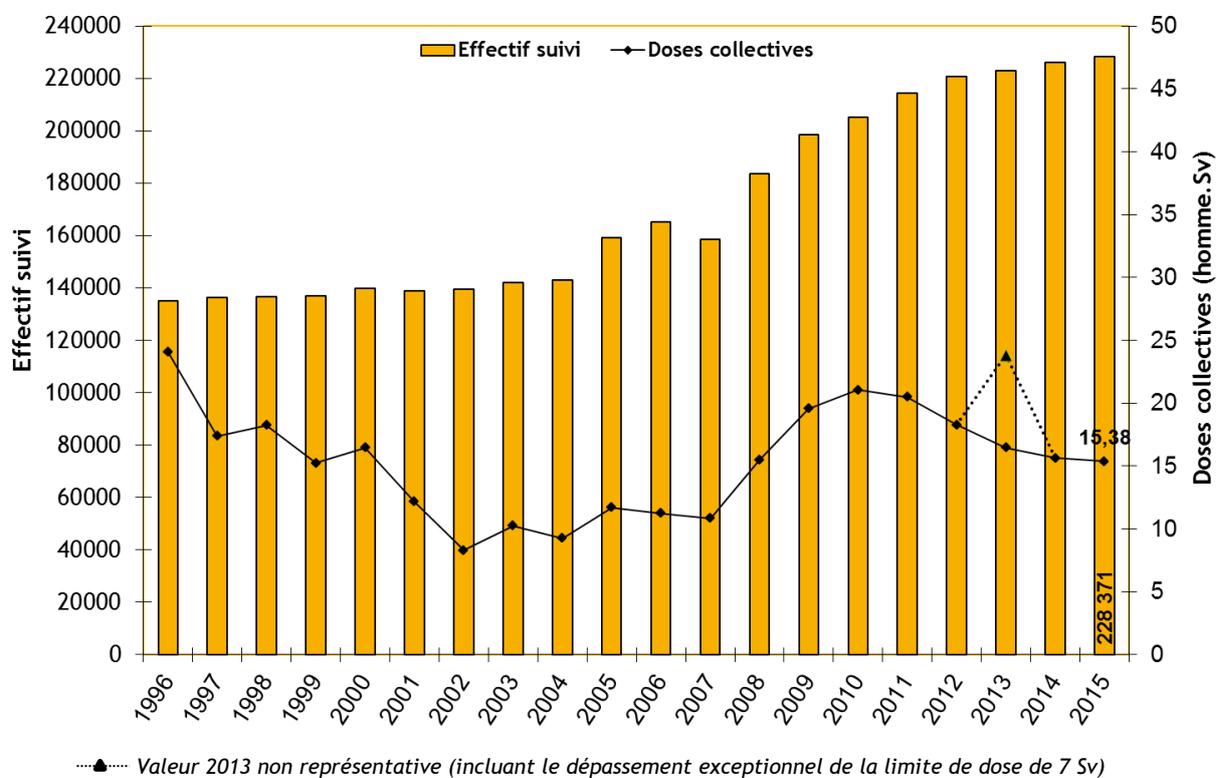
En 2015 (en tenant compte du dépassement), 86 % de la dose collective provient du secteur de la radiothérapie, 8 % du radiodiagnostic, 1,4 % du secteur de la médecine vétérinaire, 1,2 % de la radiologie interventionnelle et 4,1 % des autres activités (utilisations médicales non précisées).

Le domaine des activités médicales et vétérinaires n'est pas celui dans lequel le risque d'exposition aux neutrons est le plus élevé. Ceci ne doit toutefois pas empêcher une certaine vigilance, tout particulièrement en radiothérapie, afin de limiter la survenue d'événements.

**Evolution de la dose externe sur la période 1996-2015****Exposition externe totale (photons et neutrons)**

L'évolution de la dosimétrie entre 1996 et 2015 présente trois périodes distinctes (Figure 24) : une première période (1996 - 2004) au cours de laquelle l'effectif évolue peu alors que la dose collective diminue, ce qui peut refléter un certain progrès dans les pratiques, avec une optimisation de la radioprotection entraînant une diminution progressive des doses reçues. Lors d'une seconde période (2005-2010), l'effectif et les doses collectives augmentent parallèlement. Enfin, depuis 2010, une tendance à la baisse de la dose collective est à nouveau observée alors que l'effectif suivi continue d'augmenter.

Ces observations montrent que l'optimisation des pratiques se poursuit mais peuvent également refléter le fait que l'augmentation des effectifs du domaine concerne en majorité des travailleurs qui sont très faiblement exposés. La valeur de la dose collective enregistrée en 2015 suit la tendance observée déjà en 2014, même si la baisse semble observer un certain ralentissement.



**Figure 24 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (période 1996-2015)**

**DOSIMETRIE DES EXTREMITES**

En 2015, 15 451 travailleurs exerçant dans le domaine médical et vétérinaire ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités, la dose totale enregistrée étant de 92 Sv et la dose individuelle moyenne de 5,9 mSv. Ces chiffres sont en légère

augmentation par rapport à 2014, respectivement de 5 et 8 %.

### Dosimétrie par bague

72 % des travailleurs exerçant dans le domaine des activités médicales et vétérinaires, bénéficiant d'un suivi dosimétrique aux extrémités, portent un dosimètre bague, soit 12 543 travailleurs. La dose totale enregistrée par ces porteurs est de 89,93 Sv. La Figure 25 illustre la répartition des doses enregistrées en 2015 suivant les secteurs d'activité de ce domaine. C'est le secteur de la radiologie (sans distinction du radiodiagnostic et de la radiologie interventionnelle) qui contribue

majoritairement aux expositions des extrémités, avec 69 % 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 47 % des travailleurs n'ont pas été exposés, 53 % des travailleurs ont reçu une dose comprise entre le seuil d'enregistrement et 150 mSv, et moins de 1 % des travailleurs ont reçu une dose comprise entre 150 et 500 mSv.

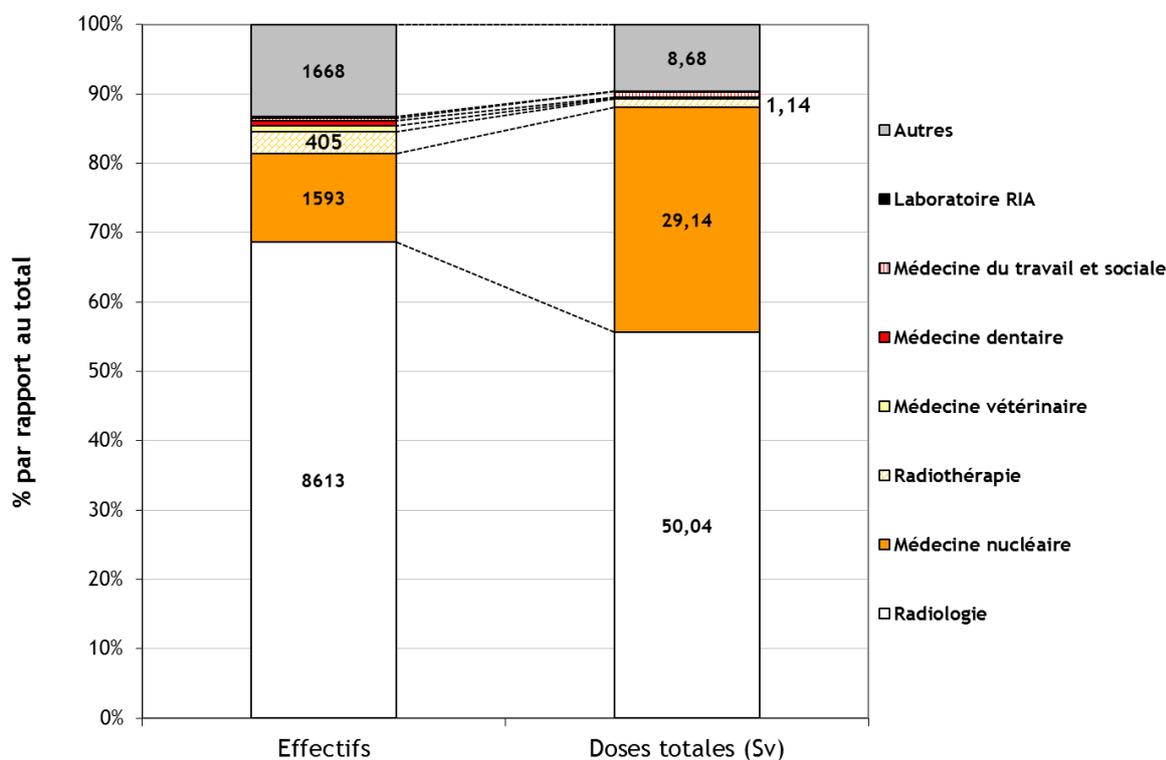


Figure 25 - Répartition des doses enregistrées pour la dosimétrie par bague en 2015 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires

### Dosimétrie au poignet

En 2015, une dose totale de 1,8 Sv a été enregistrée dans le domaine des activités médicales et vétérinaires à l'aide de la dosimétrie au poignet, pour un effectif de 2 908 travailleurs. Le secteur du radiodiagnostic contribue à lui seul à 70 % de l'effectif suivi et à 74 % de la dose totale enregistrée. La dose individuelle maximale enregistrée en 2015 a été de 79,5 mSv, enregistrée dans le même secteur.

Par rapport à l'effectif total suivi aux extrémités par un dosimètre poignet, 74 % des travailleurs ont reçu une dose enregistrée inférieure au seuil d'enregistrement, 26 % ont reçu une dose comprise entre le seuil et 150 mSv, aucun travailleur n'a reçu une dose supérieure à 150 mSv. Ces chiffres sont comparables à ceux de 2014.

## DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

Plus de 90 % de l'effectif suivi pour le cristallin en 2015 appartient au domaine des activités médicales et vétérinaires. Cet effectif est de 181 travailleurs, dont 74 % exerce dans le secteur de la radiologie. L'activité des autres travailleurs du médical n'est pas clairement identifiée, mais c'est pour l'un deux qu'a été enregistrée la dose individuelle maximale du domaine (5 mSv).

La dosimétrie du cristallin n'est en 2015 pas encore réalisée en routine dans tous les établissements. L'abaissement de la limite réglementaire de 150 mSv à 20 mSv, attendu avec la transposition de la directive européenne 2013/59/EURATOM, rendra dans l'avenir cette surveillance plus systématique.

### FOCUS

#### Exposition des professionnels médicaux : analyse partielle pour le personnel de trois hôpitaux de l'AP-HP

Actuellement, le système SISERI ne contient pas de façon exhaustive les données sur l'activité professionnelle ou le métier des travailleurs (cf. page 39). Une étude de terrain réalisée par l'IRSN en 2015 a permis de consolider ces informations pour les professionnels de santé de trois établissements de l'Assistance Publique - Hôpitaux de Paris (AP-HP). L'objectif de cette étude était d'avoir une première estimation de la répartition des professionnels de santé exposés aux rayonnements ionisants pour l'année 2014 en fonction de leur activité professionnelle et de leur service. La dosimétrie de chaque personnel référencé a été extraite de SISERI. Le présent focus présente la répartition des doses par métiers pour la population étudiée.

Au total, 2 347 travailleurs ont été inclus dans l'étude. Les médecins (35 %), les infirmiers (31 %) et les manipulateurs en radiologie (17 %) sont les professions les plus représentées au sein des personnels exposés aux rayonnements ionisants qui portent des dosimètres individuels. Les radiopharmaciens représentent 1 % des personnels exposés, de même que les radiophysiciens. La catégorie « Autres » regroupe le personnel administratif et technique, le personnel des laboratoires de recherche, les aides-soignants, les agents de ménage, les brancardiers, les techniciens de laboratoire et des psychologues et regroupe 16 % des individus.

PROFESSION	Dose efficace moyenne (mSv)	(écart type)	Dose efficace maximale (mSv)	Dose extrémités moyenne (mSv)	(écart type)	Dose extrémités maximale (mSv)
MEDECINS	0,03	(0,18)	2,6	8,7	(33,76)	370,4
INFIRMIERS	0,01	(0,06)	1,1	9,5	(17,6)	43,9
MANIPULATEURS EN ELECTORADIOLOGIE	0,09	(0,30)	2,6	14,1	(18,67)	85,7
RADIOPHARMACIENS	0,09	(0,11)	0,3	6,9	(12,67)	52,7
RADIOPHYSICIENS	0,02	(0,05)	0,2	0,05	(0,12)	0,3

La dose efficace était disponible pour l'ensemble de la population étudiée. La dose mesurée aux extrémités était disponible pour 346 individus. La dose moyenne efficace reçue était de 0,03 mSv sur l'année 2014. A titre de comparaison, la dose reportée au niveau national dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2014 était de 0,07 mSv [19]. La dose moyenne mesurée aux extrémités était de 7,8 mSv et la dose maximale de 370 mSv. Dans le bilan national précité, la dose moyenne aux extrémités pour le domaine médical et vétérinaire était en 2014 de 5,8 mSv.

Les doses moyennes et maximales par catégorie professionnelle sont reportées dans le tableau ci-dessus pour les catégories les plus impactées. Les catégories les plus exposées sont celles des manipulateurs en électroradiologie et des radiopharmaciens. Pour les médecins, la spécialité de médecine nucléaire est associée avec la dose efficace moyenne la plus élevée (0,11 mSv), suivie par la radiologie (0,07 mSv), la cardiologie (0,06 mSv) et la radiothérapie (0,02 mSv).

Ce sont les radiologues pour qui la dose moyenne aux extrémités est la plus forte (17 mSv), suivis par les manipulateurs (14 mSv), les cardiologues et les infirmiers (10 mSv).

## BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

---

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

Sur les 11 557 analyses réalisées sur un effectif de 2 031 personnes dans le cadre de la surveillance de routine, 11 184 sont des analyses radiotoxicologiques urinaires.

Elles concernent des travailleurs des secteurs de la médecine du travail ou des dispensaires, de la médecine nucléaire, des laboratoires d'analyses médicales utilisant des techniques de radio-immunologie, de l'irradiation des produits sanguins et des travailleurs de médecine vétérinaire (Tableau 10).

Sur l'ensemble des analyses urinaires réalisées, 0,3 % sont positives et concernent 28 travailleurs, essentiellement dans le secteur de la médecine nucléaire (chiffre comparable à 2014).

Les 373 autres analyses réalisées sur 280 personnes sont des anthroporadiométries, dont 84 ont été positives en 2015 (chiffre en hausse de 47 % par rapport à 2014).

### SURVEILLANCE SPECIALE

Comme en 2014, les analyses demandées dans le cadre d'une surveillance spéciale ont été majoritairement réalisées pour le secteur de la médecine nucléaire (79 % des analyses et 72 % du

personnel concerné). Le nombre d'analyses positives et de personnes concernées reste très faible (Tableau 11).

### ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

Trois travailleurs du domaine des activités médicales et vétérinaires ont été concernés par un calcul de dose en 2015, la dose efficace engagée

enregistrée étant inférieure à 1 mSv dans les trois cas.

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

Secteurs d'activité	<i>Nombre de travailleurs suivis (*)</i>	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs (**)	<i>Nombre de travailleurs avec résultat positif (*)</i>
Médecine du travail et dispensaires	5	10	0	0
Médecine nucléaire	1 448	10 394	37	26
Laboratoire d'analyse médicale avec radio-immunologie	279	709	2	2
Irradiation de produits sanguins	9	43	0	0
Médecine vétérinaire	10	28	0	0
Transport médical	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>1 751</b>	<b>11 184</b>	<b>39</b>	<b>28</b>

(\*) Colonnes en italique : le nombre de travailleurs est donné à titre indicatif (cf. page 40)

(\*\*) 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)

**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	<i>Nombre de travailleurs suivis (*)</i>	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs (**)	<i>Nombre de travailleurs avec résultat positif (*)</i>
Médecine du travail et dispensaires	1	1	0	0
Médecine nucléaire	29	93	3	≤ 3
Laboratoire d'analyse médicale avec radio-immunologie	9	21	0	0
Irradiation de produits sanguins	1	2	0	0
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>117</b>	<b>3</b>	<b>≤ 3</b>

(\*) Colonnes en italique : le nombre de travailleurs est donné à titre indicatif (cf. page 40)

(\*\*) 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)

## DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Concernant la dosimétrie du corps entier, un cas de dépassement de la limite de 20 mSv a été recensé. Il s'agit d'un dépassement survenu dans le

secteur de la radiothérapie, avec une mesure d'une exposition aux neutrons de 21 mSv.

Concernant la dosimétrie aux extrémités, un cas de dépassement a été enregistré dans le secteur de la radiologie, avec une dose au doigt de 685 mSv.

Enfin, concernant la dosimétrie à la peau, aucun cas de dépassement de la limite de 500 mSv n'a été recensé en 2015 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires.

## SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Au cours de l'année 2015, 45 événements de radioprotection (ERP) concernant des travailleurs du domaine médical ont été recensés. Ces événements se répartissent selon les secteurs d'activités indiqués dans le Tableau 12.

Sur l'ensemble des événements du domaine médical recensés, seulement 17 des ERP ont fait l'objet d'une déclaration (selon le guide n°11 de l'ASN) portée à la connaissance de l'IRSN :

- 8 ERP 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 ;
- 6 ERP déclarés au titre du critère n°4 relatif aux sources radioactives :

- 1 perte de contrôle de sources,
- 4 cas de perte ou vol de sources,
- 1 livraison non conforme à l'autorisation délivrée ;

- 3 ERP déclarés au titre du critère n°6 « Autres ».

Les autres événements sont des alertes de dépassement des limites annuelles réglementaires de dose ; soit ils n'ont pas été déclarés à l'autorité, soit ils l'ont été mais l'IRSN n'a pas été informé. En effet, l'IRSN, par le biais de ses actions d'expertise, peut être alerté d'un événement sans pour autant savoir s'il a été déclaré ou non à l'autorité. Ces événements ont par défaut été comptabilisés comme étant non déclarés.

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

Activités médicales et vétérinaires	Nombre d'événements recensés
Radiodiagnostic	13
Radiologie interventionnelle	2
Soins dentaires	1
Radiothérapie	5
Médecine nucléaire	9
Médecine vétérinaire	3
Logistique et maintenance du médical	1
Transport de produits radio-pharmaceutiques	1
Autres	10
<b>Total</b>	<b>45</b>

## DEUX NOUVELLES FICHES POUR LE GUIDE D'ETUDE DE POSTES

Le guide pratique d'aide à la réalisation des études de postes de travail développé pour le secteur médical (voir page 35) s'est enrichi en

2015 de nouvelles fiches relatives à la scanographie et à la curiethérapie.

### FICHE RELATIVE A LA SCANOGRAPHIE

Les installations fixes de scanographie fixes où sont réalisés des actes diagnostiques ou thérapeutiques occasionnent un risque d'exposition externe (corps entier et parfois extrémités) du personnel aux rayonnements ionisants.

Cette fiche s'intéresse aux positions susceptibles d'être les plus couramment occupées par les opérateurs à la console d'acquisition ou en salle d'examen lors de la réalisation d'actes guidés sous radioscopie.

Les exemples mentionnés dans la fiche sont l'occasion de rappeler certaines spécificités de ce secteur d'activité, générant des difficultés pour l'application des limites de débit d'équivalent de dose au corps entier applicables pour les zones spécialement réglementées :

- Dans la mesure où l'émission de rayonnements ionisants n'est pas continue, les zones contrôlées définies peuvent être intermittentes. Si aucun patient n'est présent dans la salle de scanographie mais le générateur à rayons X toujours alimenté, la salle est considérée comme zone surveillée. Si le générateur à rayons X n'est plus

alimenté, la salle peut être considérée comme une zone non réglementée ;

- la dose mesurée au pupitre de commande n'excède en général pas 80  $\mu\text{Sv}$  en 1 mois, limite de dose de la zone non réglementée, toutefois, il est recommandé de classer la salle du pupitre de commande en zone surveillée.

La fiche souligne l'importance de bonnes pratiques pour l'optimisation de la radioprotection en scanographie :

- Optimiser les paramètres techniques d'acquisition scanographique en maintenant la qualité diagnostique de l'image ;
- se tenir entièrement derrière la protection radiologique vitrée lors des acquisitions scanographiques ;
- éviter, dans la mesure du possible, le contrôle en salle d'examen des injections du produit de contraste ;
- maintenir les portes de la salle d'examen fermées pendant les acquisitions.

### FICHE RELATIVE A LA CURIETHERAPIE

Une nouvelle fiche visant à donner des recommandations spécifiques pour la réalisation d'une étude de poste de travail dans une unité de curiethérapie a également été élaborée.

Elle concerne les installations disposant de projecteurs de sources pour des traitements de curiethérapie à débit de dose pulsé (PDR) ou à haut débit de dose (HDR) ainsi que les installations où sont mises en œuvre des techniques de curiethérapie interstitielle, de contact et par implants permanents.

Ces types d'installation occasionnent un risque d'exposition externe (corps entier et extrémités) du personnel.

La fiche fournit des données complémentaires telles que les principaux radionucléides utilisés, leurs caractéristiques radioactives et leurs domaines d'application clinique. Les postes de travail susceptibles d'être les plus couramment occupés par les opérateurs y sont évoqués :

- dans la salle de réception, de préparation, et de stockage des sources,
- en salle d'application,
- au poste de commande des projecteurs de sources,
- dans les chambres d'hospitalisation.

Cette fiche rappelle que contrairement à la curiethérapie à bas débit de dose, en

curiethérapie HDR ou PDR, le personnel n'est jamais en contact avec la source puisque toutes les manipulations sont réalisées à distance *via* le projecteur. Toute entrée dans le local de traitement doit déclencher une rentrée automatique de la source. Cette fiche insiste ainsi sur la nécessité de disposer de systèmes de sécurité opérationnels : systèmes de rentrée automatique et manuelle de source, arrêts d'urgence, la mise en œuvre de moyens de protection et le respect des bonnes pratiques pour l'optimisation de la radioprotection.

## OPTIMISATION DE LA RADIOPROTECTION EN RADIOTHERAPIE

### CALCULS DE RADIOPROTECTION EN RADIOTHERAPIE

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

La majorité des prestations réalisées par l'IRSN concernent la radiothérapie externe. Les accélérateurs de particules utilisés produisent des faisceaux d'électrons et de photons dans la gamme d'énergies de 4 à 25 MeV et délivrent des débits de dose allant jusqu'à  $24 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$  à 1 mètre de la source. Les faisceaux de photons X d'énergie nominale supérieure à une valeur seuil de l'ordre de 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 protections. Un rayonnement  $\gamma$  est également produit par l'interaction des neutrons avec les protections, en particulier 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.

D'autres prestations concernent l'aménagement de locaux de curiethérapie (radiothérapie au moyen de sources scellées placées à l'intérieur ou à proximité immédiate de la zone à traiter) ou d'irathérapie (radiothérapie interne par ingestion d'iode 131). 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 rayonnement primaires et secondaires (fuite, diffusé). 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) et par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA). 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.

### *Projet d'installation d'un appareil de radiothérapie à haut débit (sans filtre)*

En 2015, l'IRSN a réalisé une prestation en radiothérapie externe dans le cadre du réaménagement d'un bunker dans un centre hospitalier pour l'installation d'un accélérateur linéaire d'électrons d'énergie maximale en photons de 15 MeV et produisant des faisceaux de photons à haut débit ( $14 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$  pour le faisceau sans filtre de 6 MeV). Les calculs de l'IRSN ont pris en compte les techniques de traitement envisagées : la radiothérapie conformationnelle 3D, la radiothérapie par

modulation d'intensité classique (IMRT) et par arcthérapie (VMAT), et la radiothérapie stéréotaxique. L'installation présentait diverses particularités susceptibles de conduire à une exposition directe ou indirecte de l'entrée du bunker.

L'IRSN a réalisé des calculs analytiques et par simulation Monte Carlo. Les résultats des calculs ont conduit à recommander des modifications ou le renforcement des protections envisagées.

### *Validation d'un outil de calcul Monte Carlo pour les installations médicales de curiethérapie et d'irathérapie*

Afin de se disposer d'un outil de calcul pour les expertises qui soit performant tant du point de vue de la justesse des calculs (y compris pour des installations complexes et/ou non standards) que du point de vue de la rapidité de mise en œuvre, l'IRSN s'est doté d'un logiciel de calcul par simulation Monte Carlo offrant une interface permettant de construire rapidement des géométries 3D complexes. Après une première prise en main en 2014, le logiciel a été testé en 2015 pour des applications médicales utilisant des sources radioactives : l'iridium 192 en curiethérapie et l'iode 131 en irathérapie. Des calculs ont été réalisés afin d'évaluer l'impact sur les résultats du choix des paramètres de calcul, en particulier concernant l'énergie du rayonnement émis par les sources et les méthodes de biaisage permettant d'accélérer les

calculs. Ensuite, des calculs de transmission du rayonnement au travers d'épaisseurs croissantes de protection ont été entrepris pour différents matériaux utilisés habituellement dans les protections (béton, acier, plomb, brique).

Les résultats ont été comparés aux valeurs obtenues au moyen du logiciel MCNP, code de calcul par simulation Monte Carlo pris comme référence. L'ensemble des résultats ont permis de valider l'utilisation du logiciel pour les calculs d'exposition, la délimitation des zones de travail et le dimensionnement des protections en curiethérapie et en irathérapie.

L'objectif est de pouvoir simuler les configurations réelles des installations (géométrie et matériaux), dans un but d'optimisation des protections.

### *Calculs pour un projet d'aménagement de chambres de curiethérapie à débit pulsé*

Dans le cadre d'un projet d'aménagement de deux chambres de curiethérapie, l'IRSN a évalué les protections à mettre en place afin de respecter les limites réglementaires de doses dans les locaux environnants. Le projet consistait à réaménager les chambres pour mettre en place de la curiethérapie à débit de dose pulsé (PDR)

Certaines protections en place étant mobiles et d'étendue limitée, non adaptées à la curiethérapie PDR, il s'agissait de définir les

en remplacement de la curiethérapie à bas débit de dose avec fils d'iridium (LDR), suite à l'arrêt de la commercialisation des fils d'iridium en 2014. Chaque chambre était destinée à recevoir un projecteur de source à débit de dose pulsé contenant une source d'iridium 192 d'une activité maximale de 18,5 GBq.

caractéristiques optimales des protections fixes à mettre en place au niveau des parois, de façon à limiter la charge au sol. Plusieurs calculs ont

été réalisés afin de tenir compte de différentes hypothèses d'occupation des locaux du service de curiethérapie envisagées par l'exploitant (notamment, occupation ou non d'autres chambres par des patients non traités par curiethérapie). Les différentes positions possibles de chaque source, en fonction des localisations traitées, ont également été prises en compte.

Pour ses calculs, l'IRSN a utilisé les données de l'étude par Monte Carlo évoquée ci-dessus. Les résultats de l'analyse de l'IRSN ont conduit à proposer un nouveau classement des locaux, suivant les différentes hypothèses d'occupation, et à préciser les caractéristiques du blindage nécessaire : matériau, emplacement, épaisseur variable, étendue.



# DOMAINE NUCLEAIRE



## SOMMAIRE

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES.....	p. 78
Dosimétrie corps entier	
Dosimétrie des extrémités	
Dosimétrie du cristallin	
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES .....	p. 84
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	
Surveillance spéciale	
Estimations dosimétriques	
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE.....	p. 89
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION.....	p. 89



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 stable par rapport à l'année 2014. Dans le même temps, la dose collective augmente de 11 % sans augmentation de la dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé (1,17 mSv vs 1,16 mSv en 2014). Ceci s'explique par une distribution de la dose différente parmi les travailleurs, puisqu'on observe une augmentation de plus de 2 000 travailleurs pour lesquels une dose supérieure au seuil d'enregistrement a été enregistrée. Cette augmentation est de l'ordre de 10 à 15 % des effectifs dans les classes de doses comprises entre 1 et 10 mSv ; elle atteint 50 % pour les effectifs exposés entre 10 et 15 mSv avec 35 travailleurs de plus dans cette gamme de dose.

• **73 363** travailleurs suivis (20,1 % de l'effectif)

• Dose collective annuelle :

**27,5** homme.Sv

• Dose individuelle annuelle moyenne

calculée sur l'effectif exposé :

**1,17** mSv

### Analyse suivant les activités professionnelles

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

Pour chaque secteur, les données pour les travailleurs civils et ceux de la défense ont été regroupées. Les travailleurs des activités de défense suivis par le SPRA se retrouvent ainsi dans les secteurs de la propulsion nucléaire, de l'armement, du transport et dans le secteur

« Autres ». Ils représentent 5 % de l'effectif total du domaine nucléaire, avec une contribution à la dose collective de 0,9 %.

La part de l'effectif du domaine nucléaire pour lequel le secteur d'activité n'est pas connu en 2015 reste importante (28 %), quasi-identique à 2014 (29 %). Il s'ensuit que les résultats présentés dans le Tableau 13 doivent être considérés avec une certaine prudence, à l'exception des secteurs

où l'activité est déjà bien caractérisée, à savoir les principales étapes du cycle du combustible nucléaire et le secteur des réacteurs de production d'énergie. Dans ces secteurs, des variations d'effectifs entre 2014 et 2015 sont observées, notamment une diminution du nombre des travailleurs suivis de 10 % dans les secteurs « enrichissement et conversion » et « démantèlement » réunis (- 681 travailleurs) et une augmentation des effectifs suivis dans le secteur « réacteurs de production d'énergie » (+ 590 travailleurs).

Les activités de la fabrication du combustible et de la logistique et maintenance enregistrent les doses individuelles moyennes les plus élevées, respectivement de 2,71 mSv et 1,65 mSv. La dose individuelle annuelle maximale du domaine des activités nucléaires en 2015, égale à 15,30 mSv, a été enregistrée dans le secteur « Réacteurs de production d'énergie ».

Aucun cas de dépassement de la limite réglementaire annuelle n'a été observé en 2015 dans ce domaine.

L'analyse de la répartition des effectifs en fonction des niveaux de dose enregistrés (cf. Figure 26 et Figure 27) montre que certains secteurs comme le traitement des effluents et des déchets, le retraitement ou le démantèlement présentent une forte proportion de travailleurs non exposés (plus de 85 %).

Pour la plupart des autres secteurs cette proportion est comprise entre 63 % et 76 %. C'est le cas des secteurs des réacteurs de production d'énergie, de la propulsion nucléaire et de l'armement, de l'enrichissement et de la conversion, et des transports.

Les activités de fabrication du combustible et de prestation pour la logistique ou la maintenance se démarquent des autres avec une proportion de

travailleurs exposés respectivement de 41 % et 47 %. Enfin, le secteur de l'extraction et du traitement de l'uranium est le seul où la part de l'effectif exposé dépasse 50 %.

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

- Dans les secteurs de la propulsion nucléaire, de l'armement, de l'enrichissement et de la conversion, du retraitement, et des effluents et déchets, les travailleurs sont très majoritairement exposés (> 90 %) à moins de 1 mSv par an.
- Les secteurs de l'extraction et du traitement de l'uranium, des réacteurs de production d'énergie, du démantèlement et de la logistique présentent une proportion plus importante de travailleurs exposés à plus de 1 mSv/an, dont une proportion de travailleurs ayant reçu des doses comprises entre 1 et 5 mSv, respectivement de 22 %, 30 %, 17 % et 30 %. Pour les secteurs des réacteurs de production d'énergie et de la logistique et maintenance (plus de la moitié de l'effectif total), la classe de dose « > 5 mSv » représente respectivement 2,2 et 9,6 % de l'effectif exposé, alors que dans le démantèlement, les effluents et déchets et le retraitement, aucun travailleur n'est exposé à plus de 5 mSv en 2015.
- Le secteur de la fabrication du combustible se distingue toujours des autres secteurs par une proportion de travailleurs exposés à plus de 5 mSv qui s'élève à 23 %, en rapport avec la dose individuelle moyenne des travailleurs exposés de ce secteur la plus élevée (2,71 mSv), soit plus de deux fois la dose individuelle moyenne de l'ensemble des travailleurs du domaine du nucléaire.

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

Domaine d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total <sup>(a)</sup> (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé <sup>(b)</sup> (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Propulsion nucléaire	2 508	0,18	0,07	0,20	1 589	914	5	0	0	0	0
Armement	2 617	0,22	0,08	0,28	1 819	767	31	0	0	0	0
Extraction et traitement de l'uranium	195	0,08	0,40	0,68	82	87	25	1	0	0	0
Enrichissement et conversion	1 148	0,12	0,11	0,45	871	256	21	0	0	0	0
Fabrication du combustible	1 605	1,80	1,12	2,71	942	287	226	149	1	0	0
Réacteurs de production d'énergie	25 769	7,91	0,31	0,99	17 816	5 436	2 343	169	4	1	0
Retraitement	2 969	0,13	0,04	0,42	2 658	290	21	0	0	0	0
Démantèlement	2 270	0,18	0,08	0,55	1 937	276	57	0	0	0	0
Effluents, déchets	101	0,00	0,00	0,08	95	6	0	0	0	0	0
Logistique et maintenance	12 992	10,04	0,77	1,65	6 890	3 689	1 828	529	56	0	0
Transports	609	0,12	0,19	0,78	460	126	17	6	0	0	0
Autres	20 580	6,68	0,32	1,14	14 701	4 297	1 232	306	44	0	0
<b>Total</b>	<b>73 363</b>	<b>27,45</b>	<b>0,37</b>	<b>1,17</b>	<b>49 860</b>	<b>16 431</b>	<b>5 806</b>	<b>1 160</b>	<b>105</b>	<b>1</b>	<b>0</b>

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

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

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

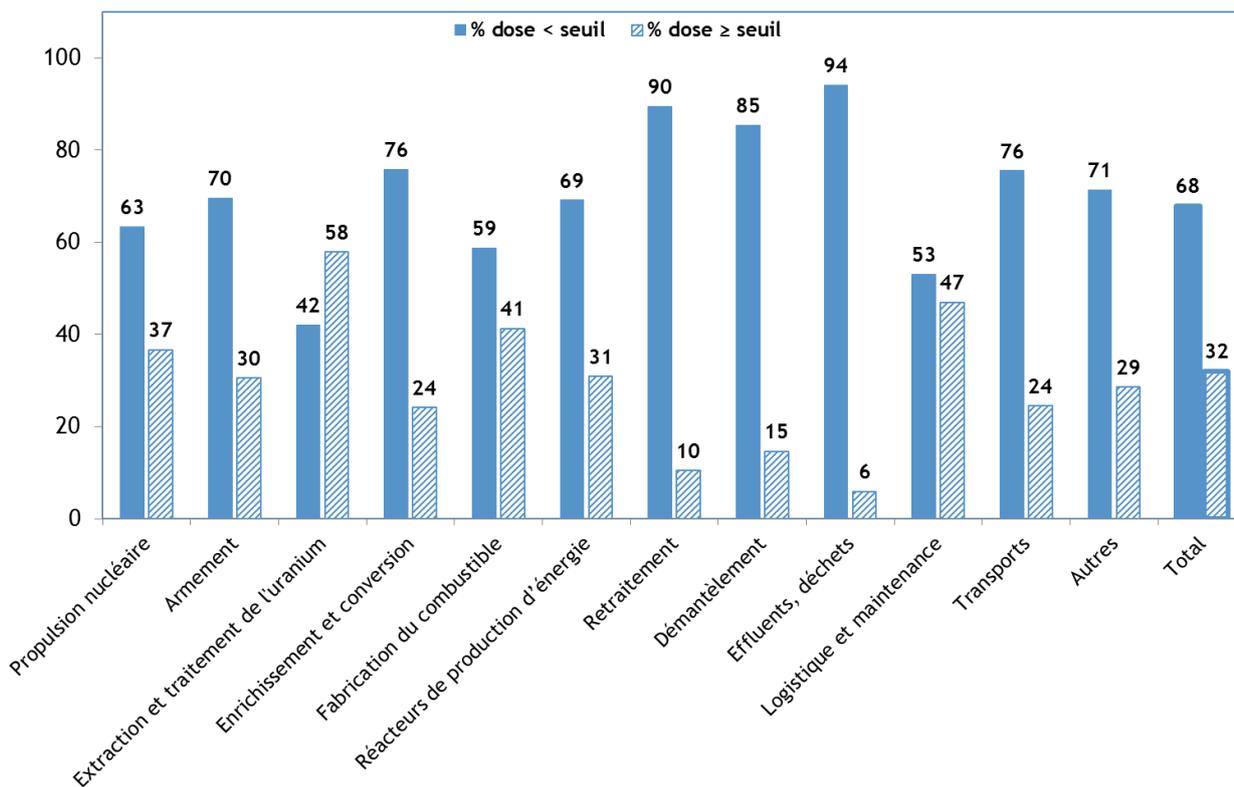


Figure 26 - Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis des principaux secteurs de l'industrie nucléaire, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose

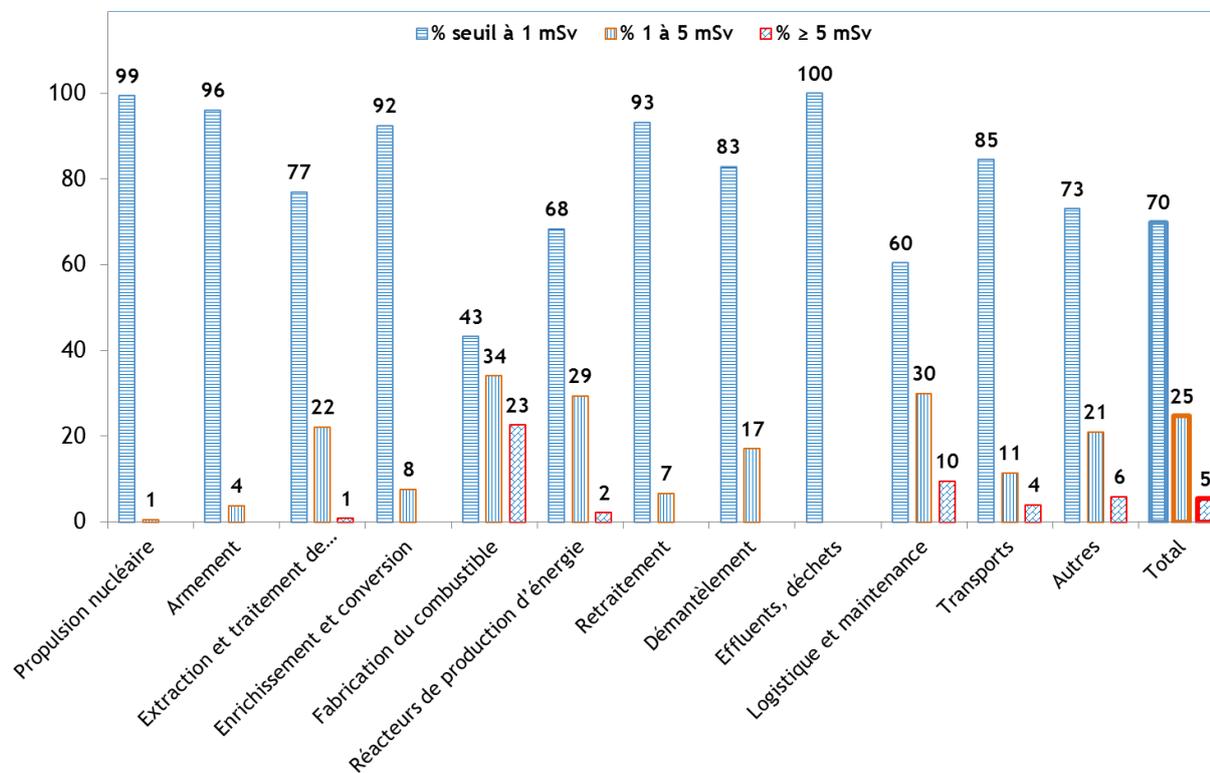


Figure 27 - Répartition de l'effectif exposé des principaux secteurs de l'industrie nucléaire, en fonction de différentes classes de dose externe corps entier

### Contribution des neutrons

34 958 travailleurs du domaine nucléaire ont eu une surveillance de l'exposition aux neutrons (soit la moitié de l'effectif de ce domaine). La dose collective correspondante s'élève à 1,86 mSv (Figure 11), soit 6,8 % de la dose collective totale dans ce domaine. L'effectif des travailleurs de ce domaine suivis pour une exposition aux neutrons est en légère augmentation par rapport à 2014 (+ 1,9 %) ; la dose collective correspondante augmente de 4,5 %.

La Figure 28 présente pour l'année 2015 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 au sein de l'établissement MELOX) et 30 % dans le secteur de la logistique et de la maintenance. Ces chiffres sont voisins de ceux de 2014.

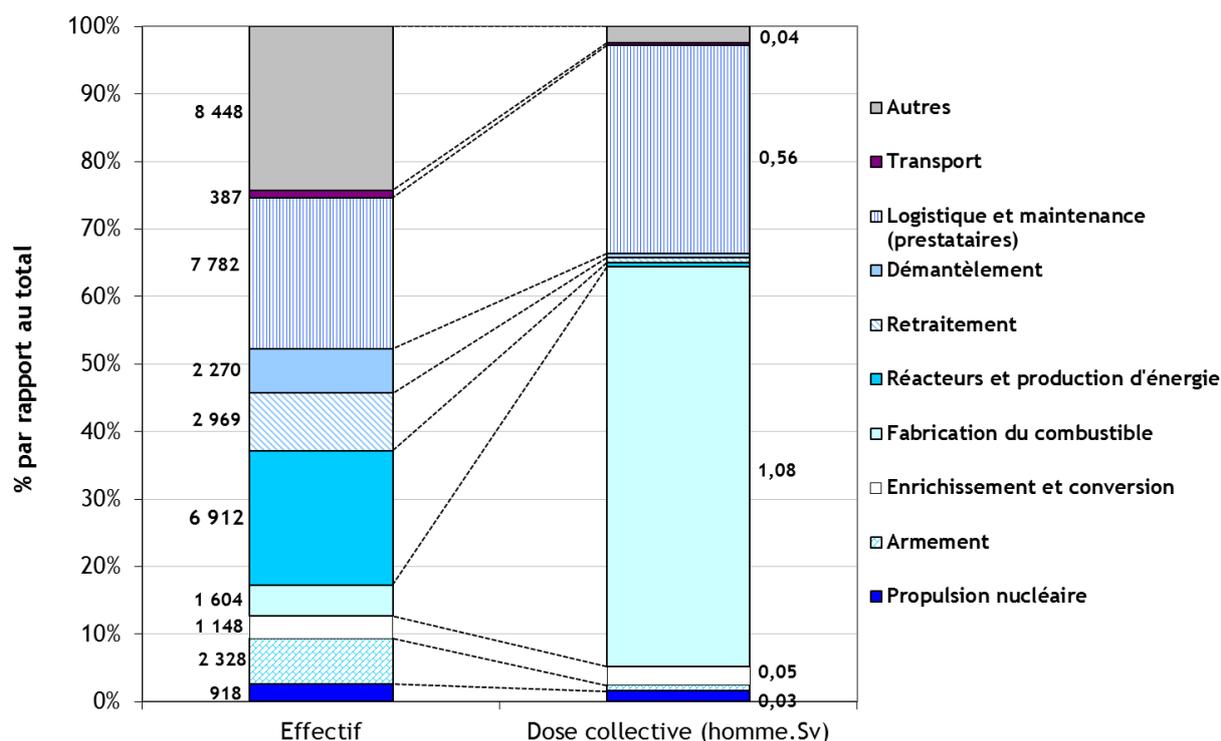


Figure 28 - Répartition des effectifs et des doses enregistrées en 2015 pour la dosimétrie neutron dans le nucléaire civil et militaire

### Evolution de la dose externe sur la période 1996-2015

La Figure 29 présente l'évolution de l'effectif suivi et de la dose collective entre 1996 et 2015 dans le nucléaire. Il est possible de distinguer deux périodes : jusqu'en 2006, la dose collective diminue globalement pendant que l'effectif suivi connaît des variations plus aléatoires ; entre 2006 et 2015, l'effectif suivi augmente assez régulièrement alors qu'une relative stabilité de la dose collective est observée. La dose collective moyenne sur la période 2006-2015 est ainsi de 24,7 homme.Sv.

Avec 27,45 homme.Sv pour un effectif comparable à celui de 2014, la dose collective de 2015 semble marquer une reprise de la tendance à la hausse, pouvant trouver une explication dans le début des grands chantiers de rénovation du parc électronucléaire : des augmentations de la dose collective sont observées pour les réacteurs de production d'énergie (20 %) et pour les activités de logistique et maintenance (18 %), représentant les plus gros effectifs.

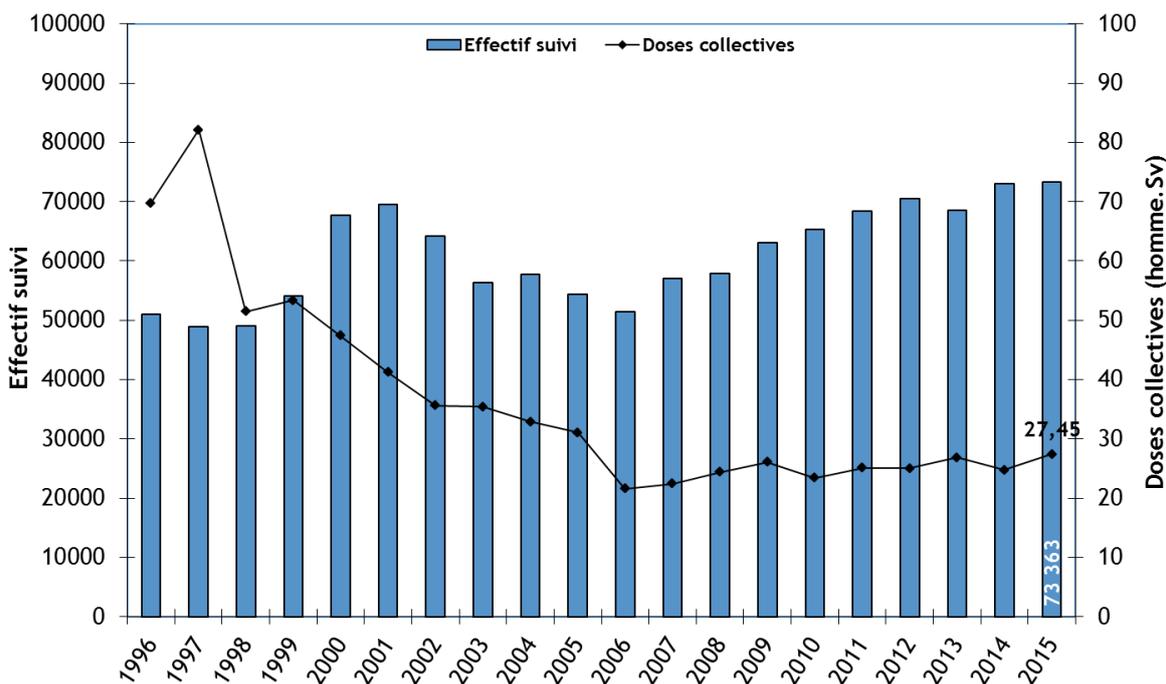


Figure 29 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le nucléaire civil et militaire (période 1996-2015)

## DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2015, 7 394 travailleurs du domaine nucléaire ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités (+ 5,6 % par rapport à 2014), la dose totale enregistrée étant de 34,39 Sv et la dose individuelle moyenne de 4,7 mSv. L'exposition aux

extrémités est en augmentation de 1,4 % par rapport aux données de 2014.

### Dosimétrie par bague

En 2015, la proportion des travailleurs portant un dosimètre bague pour leur suivi de l'exposition des extrémités (1 451 personnes) passe de 16 % à 20 % de l'ensemble des travailleurs suivis aux extrémités.

La dose totale enregistrée par ces porteurs est de 1,42 Sv (augmentation de 34 %), et la dose individuelle maximale est égale à 63,5 mSv dans le secteur « autres activités du nucléaire ».

### Dosimétrie au poignet

La dose totale enregistrée en 2015 pour les 5 943 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet est de 33,0 Sv ; elle reste comparable à celle de 2014.

La dose individuelle maximale est enregistrée dans le secteur de la logistique et de la maintenance (204 mSv).

## DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

En 2015, trois travailleurs du domaine nucléaire répertoriés dans la catégorie « autres » ont

bénéficié d'un suivi dosimétrique au cristallin. Aucune dose n'a été enregistrée.

## 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	SPRA
Armement	CEA Valduc, SPRA
Extraction et traitement du minerai d'uranium	AREVA Mines, SPRA
Enrichissement et conversion	AREVA Pierrelatte, AREVA SET (GB II), AREVA EURODIF, AREVA Malvési
Fabrication du combustible	AREVA FBFC Romans-sur-Isère, AREVA MELOX
Réacteurs de production d'énergie	EDF
Retraitement	AREVA La Hague
Démantèlement des installations nucléaires	AREVA STMI Cadarache, AREVA STMI Gif-sur-Yvette, AREVA Cadarache, AREVA MSIS, CEA Fontenay-aux-Roses, CEA DAM Ile de France, CEA Grenoble, IRSN Cadarache EDF
Effluents, déchets et matériaux récupérables	CENTRACO, CEA Fontenay-aux-Roses
Logistique et maintenance (prestataires)	Entreprises extérieures du CEA Marcoule, du CEA Cadarache, d'AREVA MELOX, AREVA Intercontrôle (Cadarache), AREVA Romans-sur-Isère, AREVA Jeumont, AREVA Amalis
Installations de recherche liées au nucléaire (*)	CEA Cadarache, CEA DAM Ile-de-France, CEA Marcoule, CEA Saclay AREVA TA Cadarache IRSN Cadarache
Transport	AREVA Saint-Quentin-en-Yvelines
Autres activités (nucléaire)	AREVA Paris (siège NP, NC, BS), AREVA Châlon-sur-Saone, AREVA Marcoule, AREVA Bagnol-sur-Cèze, AREVA Intercontrôle (Rungis), AREVA Saint-Quentin-en-Yvelines, AREVA TA Cadarache

(\*) 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 2015, il apparaît que ce sont les examens anthroporadiométriques qui sont majoritairement réalisés dans le domaine nucléaire puisqu'ils représentent 50,7 % des 255 334 examens réalisés en surveillance de routine dans ce domaine. Viennent ensuite les comptages sur les prélèvements nasaux ou mouchages (36,5 %), puis les analyses radiotoxicologiques urinaires (9,2 %) et de selles (3,7 %). Les analyses sur le mucus nasal sont généralement réalisées pour vérifier la non-contamination en sortie de zone et elles sont complétées par d'autres examens en cas de détection d'une contamination.

Le Tableau 15 présente les résultats de la surveillance faite en 2015 sur un nombre indicatif de 11 344 travailleurs par 23 391 analyses radiotoxicologiques urinaires. Les deux secteurs effectuant majoritairement ces analyses sont celui du retraitement et celui de l'armement, avec respectivement 32 % et 27 %.

Le pourcentage d'analyses radiotoxicologiques urinaires qui sont positives est de 1,4 %, en net recul par rapport à 2014 (4,2 %).

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

Secteurs d'activité	<i>Nombre de travailleurs suivis (*)</i>	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (**)	<i>Nombre de travailleurs avec résultat positif (*)</i>
Propulsion nucléaire	249	984	0	0
Armement	<i>nd</i>	6 200	166	8
Enrichissement et conversion	2 309	1924	17	<i>nd</i>
Fabrication du combustible	765	31	3	3
Réacteurs de production d'énergie	66	180	79	26
Retraitement	4 239	7 510	20	20
Démantèlement des installations nucléaires	233	1 185	5	4
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	1 785	3 047	24	14
Autres activités (nucléaire)	968	2 330	18	18
<b>Total</b>	<i>nd</i>	<b>23 391</b>	<b>332</b>	<i>nd</i>

(\*) Colonne en italique : le nombre de travailleurs est donné à titre indicatif (cf. page 40)

(\*\*) 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)

nd = non disponible

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

Secteurs d'activité	<i>Nombre de travailleurs suivis (*)</i>	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (**)	<i>Nombre de travailleurs avec résultat positif (*)</i>
Armement	<i>nd</i>	1 165	0	0
Enrichissement et conversion	<i>1 690</i>	133	6	<i>nd</i>
Fabrication du combustible	<i>1 210</i>	727	121	103
Réacteurs de production d'énergie	<i>171</i>	2 281	218	48
Retraitement	<i>694</i>	1 142	8	7
Démantèlement des installations nucléaires	<i>987</i>	927	25	14
Effluents, déchets et matériaux récupérables (y compris ne provenant pas du cycle)	<i>19</i>	19	0	0
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	<i>2 643</i>	2 783	55	53
Autres activités (nucléaire)	<i>1 030</i>	154	1	1
<b>Total</b>	<i>nd</i>	<b>9 331</b>	<b>434</b>	<i>nd</i>

(\*) Colonne en italique : le nombre de travailleurs est donné à titre indicatif (cf. page 40)

(\*\*) 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)

nd = non disponible

Le Tableau 16 présente le nombre d'analyses radiotoxicologiques des selles pour les différents secteurs, au nombre de 9 331 réalisées en 2015 sur 8 444 personnes. Le secteur de la logistique et maintenance est celui pour lequel le nombre d'examen est le plus élevé (30 % des analyses de selles réalisées dans ce domaine), suivi des secteurs des réacteurs de production d'énergie (24 %), de l'armement (13 %) et du retraitement (12 %). Tous secteurs confondus, le pourcentage d'analyses radiotoxicologiques de selles qui sont

positives est de 4,7 % (226 personnes concernées), soit un taux deux fois plus élevé que celui enregistré en 2014 (2,2 %).

Le Tableau 17 présente le bilan du nombre de comptages sur prélèvements nasaux réalisés en 2015 sur un effectif indicatif de 5 728 personnes. Le nombre important d'analyses s'explique par le fait qu'il s'agit chez certains exploitants d'une surveillance faite à chaque sortie de locaux classés en zone contrôlée. Le taux d'analyses positives est très faible.

**Tableau 17 - Surveillance de routine par comptages sur prélèvements nasaux dans le domaine nucléaire**

Secteurs d'activité	<i>Nombre de travailleurs suivis (*)</i>	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (**)	<i>Nombre de travailleurs avec résultat positif (*)</i>
Armement	<i>nd</i>	51 662	1	<i>nd</i>
Fabrication du combustible	<i>759</i>	0	0	<i>0</i>
Réacteurs de production d'énergie	<i>553</i>	13 346	121	<i>63</i>
Démantèlement des installations nucléaires	<i>1 023</i>	28 205	4	<i>4</i>
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	<i>2 887</i>	8	1	<i>1</i>
Autres activités (nucléaire)	<i>506</i>	0	0	<i>0</i>
<b>Total</b>	<i>nd</i>	<b>93 221</b>	<b>127</b>	<i>nd</i>

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

Secteurs d'activité	<i>Nombre de travailleurs suivis (*)</i>	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (**)	<i>Nombre de travailleurs avec résultat positif (*)</i>
Transport nucléaire	<i>58</i>	19	0	<i>0</i>
Propulsion nucléaire	<i>2 351</i>	2 769	3	<i>1</i>
Armement	<i>nd</i>	1 380	0	<i>0</i>
Fabrication du combustible	<i>881</i>	124	0	<i>0</i>
Réacteurs de production d'énergie (***)	<i>&gt; 54 137</i>	104 713	74	<i>22</i>
Retraitement	<i>6 630</i>	11 257	20	<i>11</i>
Démantèlement des installations nucléaires	<i>1 436</i>	1 839	0	<i>0</i>
Effluents, déchets et matériaux récupérables	<i>252</i>	232	0	<i>0</i>
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	<i>3 748</i>	4 678	11	<i>nd</i>
Autres activités (nucléaire)	<i>1 882</i>	2 380	4	<i>3</i>
<b>Total</b>	<i>nd</i>	<b>129 391</b>	<b>112</b>	<i>nd</i>

(\*) Colonne en italique : le nombre de travailleurs est donné à titre indicatif (cf. page 40)

(\*\*) 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) », y compris pour les travaux sur réacteurs en démantèlement.

nd = non disponible

Le Tableau 18 présente la répartition des 129 391 analyses anthroporadiométriques réalisées en 2015 sur 71 424 travailleurs. Pour 81 %, ces analyses sont réalisées par EDF sur les sites des centrales nucléaires, pour les travailleurs d'EDF ainsi que pour les prestataires, représentant un effectif de 54 137 travailleurs. La baisse du nombre de ces examens déjà observée entre 2013 et 2014 (- 27 %) se poursuit en 2015, avec une diminution de 17 % par rapport à 2014. Cette baisse est liée à l'installation de nouveaux portiques de détection plus sensibles sur les CNPE (Centres Nucléaires

de Production d'Electricité), qui supprime les examens anthroporadiométriques systématiques d'entrée de site. Ces analyses sont dorénavant réalisées en sortie de zone contrôlée pour les chantiers identifiés à risque de contamination interne. Les 74 examens anthroporadiométriques positifs enregistrés sur les CNPE d'EDF ont concerné 22 travailleurs.

Le retraitement est le deuxième secteur en nombre d'analyses réalisées (8,7 % des examens anthroporadiométriques du domaine nucléaire). Ce pourcentage et les chiffres des autres secteurs sont comparables à ceux de 2014.

**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	<i>Nombre de travailleurs suivis (*)</i>	<i>Nombre total d'analyses</i>	<i>Nombre d'analyses considérées positives (**)</i>	<i>Nombre de travailleurs avec résultat positif (*)</i>
Propulsion nucléaire	8	28	4	2
Armement	<i>nd</i>	1 611	21	<i>nd</i>
Enrichissement et conversion	<i>nd</i>	499	21	<i>nd</i>
Fabrication du combustible	767	146	33	21
Réacteurs de production d'énergie (***)	129	5 932	1 447	505
Retraitement	118	1 101	94	31
Démantèlement des installations nucléaires	70	181	22	12
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	657	710	136	100
Autres activités (nucléaire)	32	131	2	2
<b>Total</b>	<i>nd</i>	<b>10 339</b>	<b>1 780</b>	<i>nd</i>

(\*) Colonne en italique : le nombre de travailleurs est donné à titre indicatif (cf. page 40)

(\*\*) 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) ».

nd = non disponible

## SURVEILLANCE SPECIALE

Les analyses réalisées sur 1 912 personnes dans le cadre d'une surveillance spéciale (Tableau 19) se répartissent majoritairement entre les travailleurs des centrales nucléaires d'EDF (57 % des analyses),

ceux de l'armement (16 %) et ceux du retraitement (11 %). 1 780 analyses se sont révélées positives, concernant 673 travailleurs du secteur nucléaire.

## ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

Dans le domaine nucléaire, 556 travailleurs ont fait l'objet d'un calcul de dose interne en 2015. Les trois secteurs d'activité les plus concernés sont la fabrication du combustible (418 travailleurs), les réacteurs de production d'énergie (76 travailleurs) et le secteur de la logistique et de la maintenance (54 travailleurs). Sept personnes sont concernées dans le

démantèlement ; une personne dans la propulsion nucléaire.

Pour deux travailleurs, la dose efficace engagée estimée dépasse 1 mSv, avec une valeur maximale de 3 mSv enregistrée pour un travailleur du secteur des réacteurs. L'autre dose engagée (1,1 mSv) relève du secteur de la fabrication du combustible.

## DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

---

Un cas de dépassement de la limite de 500 mSv en dose équivalente à la peau est enregistré en 2015 (voir focus ci-dessous).

## SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

---

En 2015, 155 événements de radioprotection (ERP) recensés concernent des personnes travaillant dans le domaine. Le Tableau 20 montre que ces événements sont très majoritairement (71 %) issus du secteur des réacteurs de production d'énergie.

Tous les événements recensés dans le domaine nucléaire ont été déclarés selon les critères de déclaration au titre de la radioprotection. Parmi

les événements déclarés, 4 événements ont été classés au niveau 1 de l'échelle INES et 1 événement au niveau 2. Cet événement fait l'objet du focus ci-après.

La répartition des ERP concernant les INB du domaine nucléaire, déclarés au titre de la radioprotection (Tableau 21) montre que 27 % d'entre eux relèvent du critère « zonage ».

**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	110
Démantèlement des installations nucléaires	15
Enrichissement et conversion	9
Traitement et conditionnement des déchets	8
Retraitement	6
Fabrication du combustible	3
Armement	1
Logistique et maintenance du nucléaire	1
Autres activités (nucléaire)	2
<b>Total</b>	<b>155</b>

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

Critères de déclaration radioprotection INB	Nombre d'événements recensés
1 - Dépassement d'une limite annuelle de dose individuelle (réel ou potentiel)	3
2 - Dépassement du quart d'une limite annuelle de dose individuelle	2
3 - Propreté radiologique	15
6 - Source	12
7 - Zonage	42
8 - Défaillance non compensée des systèmes de surveillance radiologique	1
9 - Contrôle périodique appareil de surveillance radiologique	3
10 - Tout autre écart significatif pour l'ASN ou l'exploitant	77
<b>Total général</b>	<b>155</b>

## FOCUS

## Contamination à la peau d'intervenants en centre nucléaire de production d'électricité

En août 2015, lors du contrôle réalisé avant la sortie de zone contrôlée d'un intervenant dans un centre nucléaire de production d'électricité, une contamination a été détectée au niveau de son menton. L'intervenant a alors été pris en charge par le service de prévention des risques du site, qui a procédé aux opérations de décontamination. Au cours de celles-ci, la matière radioactive à l'origine de la contamination a été localisée puis retirée. L'évaluation de la dose reçue par l'intervenant au niveau du menton atteint une valeur supérieure à la limite réglementaire à la peau. La dose que l'intervenant a reçue au niveau du corps entier est nettement inférieure à la limite réglementaire annuelle.

Depuis 2012, il est constaté en moyenne deux événements par an de contamination cutanée conduisant au dépassement du quart de la limite de dose réglementaire voire de la limite elle-même. Ces contaminations font suite, en majorité, à des chantiers réalisés sur des matériels en fond de piscine ou lors d'opérations de brossage d'échangeur. Ces zones et activités sont à risque de contamination par des particules fortement irradiantes. L'origine de la contamination cutanée est attribuée au transfert du point de contamination de la tenue vers la peau lors du retrait des tenues étanches ventilées. La détection de ces événements de contamination s'est faite pour la plupart des cas au moment du contrôle au portique C1. Cela met en évidence que le contrôle en sortie de chantier par un contaminamètre (MIP 10 par exemple) n'est pas réalisé de façon systématique ou réalisé de façon partielle par l'opérateur.

Les intervenants doivent être davantage sensibilisés au risque de contamination engendré par leur intervention comme cela est mentionné dans les actions correctives de certains comptes rendus d'événement. Cependant, d'autres événements font état de l'absence de contaminamètre en sortie immédiate de chantier ou de contaminamètres présentant des défauts de fonctionnement. Selon l'exploitant, l'absence de contaminamètre en sortie de chantier à risque de contamination est justifiée notamment par un bruit de fond radiologique trop élevé ; la mesure est donc déportée dans une zone à « bas bruit de fond ». Les réflexions menées par l'exploitant doivent être poursuivies afin d'améliorer les conditions de contrôle des intervenants en sortie de chantier à risque de contamination.



# DOMAINE INDUSTRIEL NON NUCLEAIRE



## SOMMAIRE

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES .....	p. 94
Dosimétrie corps entier	
Dosimétrie des extrémités	
Dosimétrie du cristallin	
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES.....	p. 97
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	
Surveillance spéciale	
Estimations dosimétriques	
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE .....	p. 99
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION .....	p. 99



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

## BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

### DOSIMETRIE CORPS ENTIER

En 2015, le nombre total de travailleurs suivis dans le domaine de l'industrie non nucléaire est en augmentation de 9,4 % par rapport à 2014. La dose collective est, dans le même temps, en hausse de 22 %. Il est néanmoins observé une baisse de la dose individuelle annuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé (i.e. pour lequel au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement a été enregistrée), qui passe de 1,45 à 1,38 mSv.

• **36 797** travailleurs suivis (10,1 % de l'effectif)

• Dose collective annuelle :

**18,0** homme.Sv

• Dose individuelle annuelle moyenne calculée sur l'effectif exposé :

**1,38** 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 reste en 2015 le domaine où l'activité professionnelle des travailleurs suivis est la moins bien répertoriée : 86 % des travailleurs n'ont pas pu être classés suivant la nomenclature des activités et se retrouvent dans la catégorie « Autres ». Cet effectif enregistre 90 % 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 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 sont à considérer avec 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 3,0 % de l'effectif total du domaine nucléaire, avec une contribution à la dose collective de 0,14 %.

La dose individuelle annuelle maximale enregistrée en 2015 dans les activités « autres » (cf. focus suivant) est de 81,9 mSv et constitue le seul cas de dépassement de la limite réglementaire annuelle dans ce domaine.

L'analyse de la répartition des effectifs en fonction des niveaux d'exposition montre que, tous secteurs confondus, 65 % des travailleurs sont non exposés. Le nombre important de travailleurs pour lesquels le secteur d'activité n'est pas précisément connu fait qu'une analyse plus poussée de la répartition des effectifs par classe de dose dans chaque secteur n'est pas pertinente à partir des données disponibles actuellement.

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

Domaine d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total <sup>(a)</sup> (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé <sup>(b)</sup> (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Contrôles utilisant des sources	3 929	1,73	0,44	1,34	2 635	924	264	89	17	0	0
Soudage par faisceau d'électron	264	0,01	0,04	0,52	245	16	3	0	0	0	0
Production et conditionnement de radio-isotopes	696	0,12	0,17	0,78	544	132	12	8	0	0	0
Stérilisations	20	0,00	0,08	0,54	17	3	0	0	0	0	0
Contrôles de sécurité des personnes et des biens	37	0,00	0,10	0,34	26	11	0	0	0	0	0
Logistique et maintenance (prestataires)	250	0,01	0,04	0,17	197	53	0	0	0	0	0
Autres	31 601	16,12	0,51	1,40	20 094	7 629	2 970	808	94	5	1
<b>Total</b>	<b>36 797</b>	<b>17,99</b>	<b>0,49</b>	<b>1,38</b>	<b>23 758</b>	<b>8 768</b>	<b>3 249</b>	<b>905</b>	<b>111</b>	<b>5</b>	<b>1</b>

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

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

### Contribution des neutrons

La surveillance de l'exposition aux neutrons a concerné 9 342 travailleurs de l'industrie non nucléaire en 2015 (contre 8 914 en 2014), ce qui représente une augmentation de 25 %. Pour la très grande majorité de ces travailleurs (93 %), le secteur d'activité n'est pas connu précisément et ils sont répertoriés dans la catégorie « Autres ». 6 % de l'effectif suivi est identifié comme appartenant au secteur des contrôles utilisant des sources de rayonnement. L'importance de l'effectif suivi pour l'exposition aux neutrons est

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

La dose collective associée à cet effectif est de 57,5 homme.mSv, ce qui correspond à une contribution à la dose collective totale du domaine de 0,3 %. Cette dose collective associée à l'exposition aux neutrons est en augmentation de 18 % par rapport à 2014. En 2015, la dose individuelle maximale est de 3,7 mSv.

### Evolution de la dose externe sur la période 1996-2014

La Figure 30 présente l'évolution de l'effectif suivi et des doses collectives dans l'industrie non nucléaire entre 1996 et 2015.

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 toujours pas de détailler précisément les résultats par secteur d'activité dans ce domaine, les statistiques obtenues grâce à sa mise en place montrent que, si l'effectif de l'industrie non nucléaire et la dose collective associée n'ont pas connu de variation significative jusqu'en 2014, les données de 2015 montrent une nette augmentation des effectifs et de la dose associée.

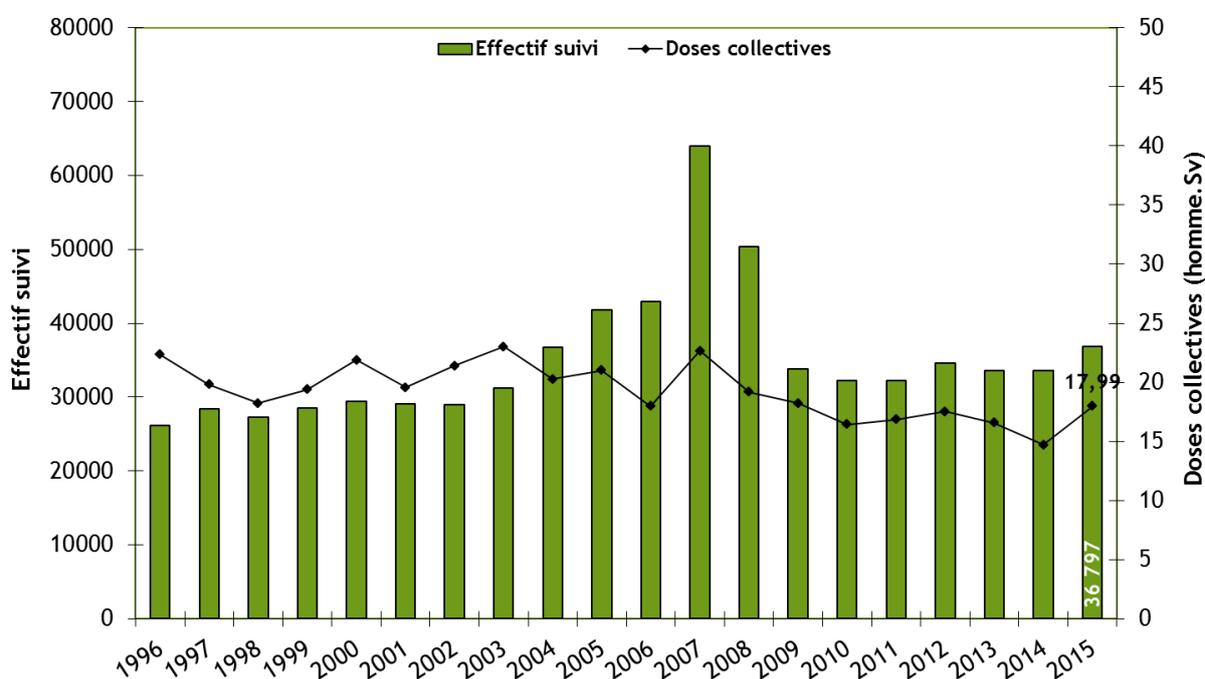


Figure 30 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans l'industrie non nucléaire (période 1996-2015)

### DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2015, 2 842 travailleurs de l'industrie non nucléaire ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités, la dose totale enregistrée étant de 5,40 Sv et la dose individuelle moyenne de 1,9 mSv. Cette dernière était de 1,6 mSv en 2014 pour 2 687 travailleurs suivis. Il apparaît que 57 %

des travailleurs suivis sont non exposés, les 43 % restants ayant été exposés à moins de 118 mSv, dose individuelle maximale enregistrée dans ce domaine.

### *Dosimétrie par bague*

La proportion des effectifs de l'industrie non nucléaire ayant un suivi dosimétrique des extrémités par un dosimètre bague passe de 55 % à 61 % en 2015. La dose totale enregistrée pour les 1 744 travailleurs bénéficiant d'une dosimétrie par bague atteint 4,68 Sv, dose reçue à 94 % par des travailleurs dont le secteur d'activité n'est pas

connu. Sur l'effectif total suivi aux extrémités par une bague, 56 % des travailleurs n'ont pas été exposés ; les 44 % restants ont reçu une dose inférieure à 118 mSv, dose individuelle maximale enregistrée dans ce domaine.

### *Dosimétrie au poignet*

La dose totale enregistrée pour les 1 098 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet atteint 0,72 Sv. L'activité de 75 % des travailleurs (qui cumulent 88 % de la dose totale) n'est pas connue précisément. Sur l'effectif total suivi par un dosimètre poignet, 58 % des travailleurs ne sont

pas exposés (ou ont reçu une dose aux extrémités inférieure au seuil d'enregistrement). Les 42 % restants ont reçu une dose inférieure ou égale à 58 mSv, dose individuelle maximale enregistrée dans ce domaine.

## DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

En 2015, cinq travailleurs du domaine industriel non nucléaire ont bénéficié d'un suivi dosimétrique au cristallin. Tous sont répertoriés

dans la catégorie « autres » et une dose totale de 14,85 homme.mSv a été enregistrée.

## BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

---

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

L'industrie non nucléaire est le domaine où sont pratiqués le moins d'examens de surveillance de l'exposition interne. Ceci s'explique par le peu d'activités industrielles mettant en jeu des sources non scellées. Le nombre d'analyses réalisées dans le cadre d'une surveillance de routine augmente cependant de 37 % en 2015, avec 1 743 analyses (vs 1 277 en 2014) sur un nombre indicatif de 905 travailleurs. Les analyses radiotoxicologiques, représentant 52 % des examens de routine, sont à 98,5 % des analyses d'urine. Le complément est réalisé par des anthroporadiométries.

travailleurs du secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes, avec un nombre d'analyses en hausse de 28 % par rapport à 2014. L'utilisation des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le secteur des contrôles pour la sécurité des personnes et des biens et le secteur des opérations de logistique et de maintenance par des prestataires reste, quant à elle, du même ordre de grandeur qu'en 2014 avec respectivement 53 et 34 analyses réalisées.

Le Tableau 23 détaille la répartition des analyses radiotoxicologiques urinaires par secteur. En 2015, ces analyses sont principalement réalisées pour des

Environ 0,8 % de l'ensemble des analyses réalisées se sont révélées positives, concernant 5 travailleurs.

**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'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif
Contrôles utilisant des sources de rayonnements	3	0	0	0
Production et conditionnement de radio-isotopes (y compris industrie radiopharmaceutique)	30	722	7	5
Contrôles pour la sécurité des personnes et des biens	27	53	0	0
Logistique et maintenance dans le secteur industriel (prestataires)	29	34	0	0
Autres usages industriels	41	84	0	0
<b>Total</b>	<b>130</b>	<b>893</b>	<b>7</b>	<b>5</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)

Le nombre d'examen anthroporadiométriques pratiqués sur des travailleurs du domaine de la logistique et de la maintenance (prestataires) est le plus élevé avec 555 anthroporadiométries réalisées sur 516 personnes. Sachant que des erreurs de classement des travailleurs par domaine d'activité, il est possible qu'un certain nombre de ces examens soient en réalité réalisés pour des travailleurs d'autres domaines, notamment du domaine des réacteurs de production, sans qu'il soit possible d'en déterminer le nombre exact en l'état actuel des

méthodes utilisées pour ce recensement. Le nombre d'examen anthroporadiométriques dans le secteur de la production et du conditionnement de radioisotopes est en légère augmentation (64 analyses en 2015 vs 52 en 2014).

2 % des examens sont positifs, avec six personnes concernées sur les 762 travailleurs suivis par anthroporadiométrie dans ce domaine.

## SURVEILLANCE SPECIALE

En 2015, 88 analyses (contre 46 en 2014) ont été réalisées pour 30 travailleurs dans le cadre d'une surveillance spéciale. Pour les secteurs de l'industrie non nucléaire dont l'activité est identifiée, cette surveillance a concerné majoritairement le secteur de la production et du

conditionnement de radio-isotopes (38 analyses), puis les secteurs de la logistique et de la maintenance et des contrôles pour la sécurité des biens et des personnes. Un seul travailleur a été concerné par un résultat positif (cf 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'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif
Contrôles utilisant des sources de rayonnements	3	0	0	0
Production et conditionnement de radio-isotopes (y compris industrie radiopharmaceutique)	7	38	1	1
Contrôles pour la sécurité des personnes et des biens	5	5	0	0
Logistique et maintenance dans le secteur industriel (prestataires)	8	9	0	0
Autres usages industriels	7	36	0	0
<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>88</b>	<b>1</b>	<b>1</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

Dans le domaine de l'industrie non nucléaire, 12 travailleurs ont fait l'objet d'un calcul de la dose interne en 2015, tous dans le secteur des contrôles

utilisant des sources de rayonnements. La dose engagée maximale enregistrée est de 0,11 mSv.

## DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Un cas de dépassement de la limite de dose efficace de 20 mSv a été recensé en 2015 pour un travailleur dans le secteur du contrôle non destructif. La dose enregistrée est de 81,9 mSv (voir focus ci-dessous).

Aucun dépassement de la limite de 500 mSv aux extrémités ou à la peau n'a été enregistré en 2015 dans ce domaine.

## SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Au cours de l'année 2015, 38 événements de radioprotection (ERP) concernant des personnes travaillant dans le domaine des usages industriels et service des rayonnements ionisants ont été recensés par l'IRSN. La majorité d'entre eux se

sont produits dans le secteur des contrôles utilisant des sources de rayonnements (Tableau 25).

Parmi les 38 événements recensés par l'IRSN, 29 ont fait l'objet de déclarations d'événements significatifs au titre de la radioprotection.

**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	24
Production et conditionnement de radio-isotopes	8
Logistique et maintenance dans le secteur industriel	4
Autres usages industriels et de services hors transport	2
<b>Total</b>	<b>38</b>

Durant l'année 2015, 10 événements significatifs ont été classés sur au niveau 1 de l'échelle INES :

- 8 ERP relatifs aux vols ou pertes d'appareil d'analyse par fluorescence X contenant une source radioactive, utilisé pour la recherche de plomb dans les peintures ;
- 1 ERP relatif à la découverte de sources radioactives non recensées dans un ancien atelier ;
- 1 ERP relatif au transport d'un gammagraphe dans un véhicule non équipé pour le transport d'un tel colis.

Le second événement, concerne l'exposition accidentelle d'un travailleur au rayonnement émis par un générateur électrique de rayons X utilisé à des fins de radiographie industrielle. Cet événement fait l'objet du focus ci-après.

De plus, deux événements significatifs ont été classés au niveau 2 de l'échelle INES. Le premier correspond à un incident lié au transport d'un gammagraphe sur la voie publique. Ce dernier a été déplacé sans respecter plusieurs exigences imposées par l'agrément de transport délivré par l'ASN. En effet, l'appareil n'était pas en position fermée verrouillée et il était équipé de ses accessoires de chantier, ce qui a empêché de le mettre complètement dans sa coque de transport. Ces écarts ont accru le risque d'une éjection de la source radioactive hors de son blindage en cas d'accident routier et auraient pu entraîner l'irradiation des personnes à proximité immédiate du lieu de l'accident.

## FOCUS

**Incident d'exposition lors  
d'une activité de radiographie industrielle**

Un opérateur a été accidentellement exposé au rayonnement émis par un générateur électrique de rayons X utilisé à des fins de radiographie industrielle dans la casemate d'une agence de contrôle non destructif. L'opérateur est entré dans la casemate sans savoir que l'appareil émettait des rayonnements ionisants. Il a été directement exposé au faisceau du tube radiogène pendant plusieurs minutes. Dès la détection de cette anomalie, l'utilisation de l'installation a été suspendue et le dosimètre passif de l'opérateur a été analysé en urgence par l'organisme agréé. L'agence a déclaré que le dispositif de sécurité qui interrompt l'émission de rayons X lorsque les portes de la casemate sont ouvertes avait été volontairement désactivé peu avant l'événement pour palier une défaillance technique. Cela constitue un écart réglementaire et une défaillance grave de l'organisation de la radioprotection. Le dosimètre passif de l'opérateur a enregistré une dose efficace de 81,9 mSv, supérieure à la limite annuelle réglementaire de dose efficace. Comme l'exposition de l'opérateur n'a pas été homogène pour tout le corps, certaines parties du corps ont pu recevoir des doses plus élevées. L'IRSN a été saisi pour effectuer une reconstitution plus fine des doses reçues. Celle-ci a été réalisée au moyen d'une approche expérimentale basée sur des mesures dosimétriques effectuées sur site auprès du générateur dans des conditions de fonctionnement identiques à celle de l'incident, confirmant un net dépassement de la limite annuelle réglementaire de dose efficace (soit 20 mSv).



# DOMAINE DE LA RECHERCHE ET DE L'ENSEIGNEMENT



## SOMMAIRE

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES .....	p. 104
Dosimétrie corps entier	
Dosimétrie des extrémités	
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES.....	p. 107
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	
Surveillance spéciale	
Estimations dosimétriques	
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE .....	p. 109
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION .....	p. 109



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

## BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

### DOSIMETRIE CORPS ENTIER

L'effectif suivi dans le domaine de la recherche et de l'enseignement augmente d'une centaine de personnes par rapport à 2014 avec 13 223 travailleurs en 2015. Les niveaux d'exposition des travailleurs concernés sont restés stables. Si la dose collective augmente de 5 % en passant de 0,40 à 0,42 homme.Sv, la dose individuelle annuelle moyenne reste de 0,25 mSv (calculée sur l'effectif exposé, i.e. pour lequel au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement a été enregistrée).

• **13 223** travailleurs suivis (3,6 % de l'effectif)

• Dose collective annuelle :

**0,42** homme.Sv

• Dose individuelle annuelle moyenne

calculée sur l'effectif exposé :

**0,25** mSv

### Analyse suivant les activités professionnelles

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

En 2015, plus d'un tiers des effectifs (38 %) appartient au secteur des activités de recherche liées aux installations nucléaires et un peu moins des deux tiers (62 %) interviennent dans les activités d'enseignement et de recherche autre que médicale ou nucléaire. Cependant, le faible effectif observé pour la recherche médicale, pharmaceutique et vétérinaire laisse à penser qu'une partie des travailleurs de ce secteur pourrait être enregistrée 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 5 % de l'effectif total du domaine de la recherche et de

l'enseignement, avec une contribution à la dose collective également de 5 %. 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 2015 est de 8,6 mSv, enregistrée dans le secteur de la recherche liée aux installations nucléaires.

La proportion de travailleurs dont la dose est en dessous du seuil d'enregistrement est comprise entre 86 et 95 % suivant les secteurs d'activité. L'analyse de l'effectif exposé montre que l'ensemble des travailleurs sont exposés à moins de 5 mSv, à l'exception d'une dose égale à 8,6 mSv. Les chiffres sont globalement stables par rapport à 2014.

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

Domaine d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total <sup>(a)</sup> (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé <sup>(b)</sup> (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Recherche (autre que nucléaire et médical) et enseignement	8 152	0,247	0,03	0,22	7 027	1 099	26	0	0	0	0
Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique	65	0,001	0,01	0,20	62	3	0	0	0	0	0
Installations de recherche liées au Nucléaire	5 006	0,169	0,03	0,30	4 437	537	31	1	0	0	0
<b>Total</b>	<b>13 223</b>	<b>0,42</b>	<b>0,03</b>	<b>0,25</b>	<b>11 526</b>	<b>1 639</b>	<b>57</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

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

### Contribution des neutrons

La surveillance de l'exposition aux neutrons a été mise en place pour 4 208 travailleurs du domaine de la recherche en 2015 (soit 32 % de l'effectif total suivi dans ce domaine). Cet effectif est encore en légère progression par rapport à 2014 (+ 3,5 %). La dose collective associée est de 23,5 homme.mSv (contre 19,6 homme.mSv en

2014), soit 5,6 % de la dose collective totale du domaine et la dose individuelle maximale enregistrée de 0,7 mSv dans les activités de recherche liées aux installations nucléaires. La majorité de ces travailleurs (69 %) interviennent dans ce même secteur et reçoivent 88 % de la dose collective neutron.

### Evolution de la dose externe sur la période 1996-2015

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

médicale, la recherche liée au nucléaire, toute autre recherche et l'enseignement.

Même si l'effectif de ce domaine a connu des fluctuations depuis 1996, il apparaît que la dose collective a régulièrement diminué au cours des années pour atteindre des valeurs faibles,

inférieures à 1 homme.Sv pour l'ensemble du domaine depuis 2006.

Alors que depuis 2010 les effectifs étaient plutôt stables autour de 14 500 personnes, l'année 2015 se situe dans la lignée de 2013 et de 2014 avec 13 223 travailleurs.

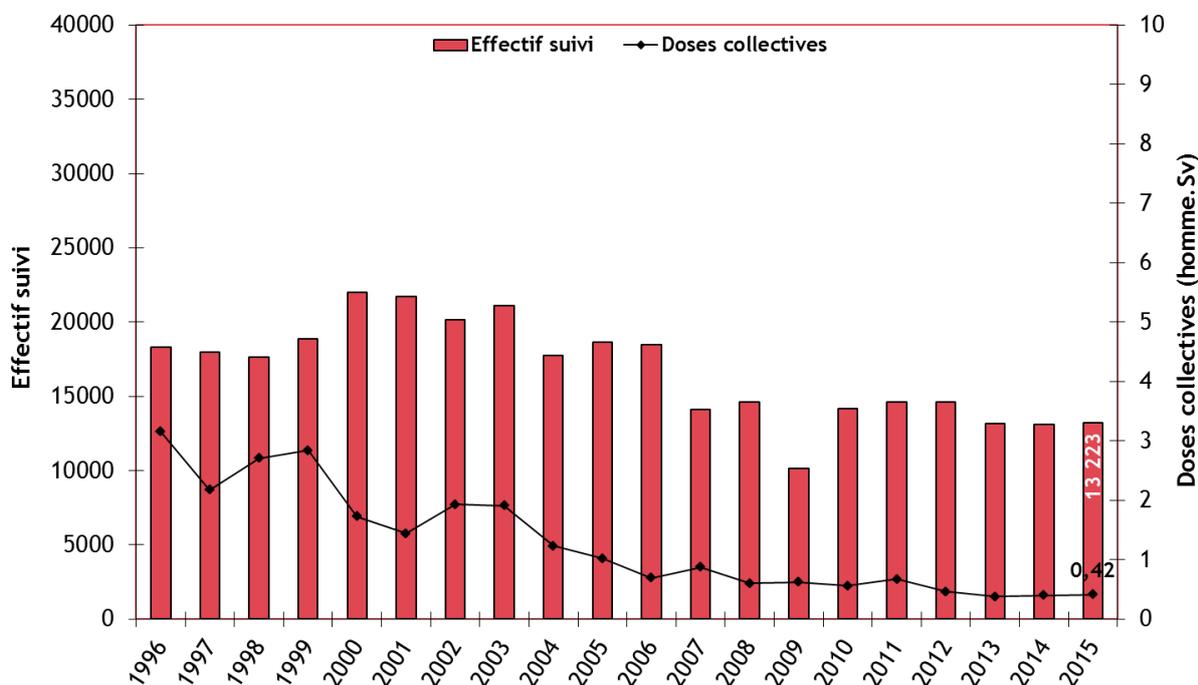


Figure 31 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le domaine de la recherche et de l'enseignement (période 1996-2015)

## DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2015, 1 524 travailleurs du domaine de la recherche ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités. Cet effectif est en baisse de 16 % par rapport à 2014, la dose totale enregistrée est

de 1,85 Sv et la dose individuelle moyenne de 1,2 mSv. Sur l'ensemble de l'effectif, 71 % sont non exposés et 29 % sont exposés à moins de 150 mSv.

### Dosimétrie par bague

60 % des effectifs ayant une dosimétrie des extrémités en 2015 portent un dosimètre bague. La dose totale enregistrée auprès de ces 913 travailleurs atteint 1,75 Sv. Cette dose est reçue à 57 % par des travailleurs du secteur de la recherche (hors médical et nucléaire) et à 40 % par des travailleurs exerçant des activités de recherche au sein des installations nucléaires, cette dernière proportion

étant plus élevée qu'en 2014. Les travailleurs identifiés comme intervenant dans le secteur de la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique ont reçu moins de 3 % de cette dose, mais leur faible effectif (23 personnes) rend les statistiques associées peu représentatives de ce secteur.

Par rapport à l'effectif total suivi par dosimétrie aux extrémités à l'aide d'une bague, 52 % des travailleurs des installations de recherche liées au nucléaire sont non exposés et les 48 % restants ont reçu une dose inférieure à 134 mSv, dose maximale

enregistrée dans ce secteur (60 mSv en 2014). Pour le secteur de la recherche et de l'enseignement hors secteurs nucléaire et médical, 66 % des travailleurs sont non exposés et les 34 % restants ont reçu une dose inférieure ou égale à 96 mSv.

### *Dosimétrie au poignet*

La dose totale enregistrée auprès des 611 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet atteint 0,10 Sv, dose reçue à 75 % au sein des installations de recherche liées au nucléaire, le reste dans le secteur de la recherche (hors médical et nucléaire) et de l'enseignement.

Sur l'effectif total de ce domaine, 88 % des travailleurs suivis pour une dosimétrie poignet sont non exposés et les 12 % restants ont reçu une dose inférieure ou égale à 13 mSv, dose individuelle maximale enregistrée au poignet dans le domaine de la recherche.

## BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

---

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

Dans le domaine de la recherche, près de la moitié des 9 862 analyses réalisées dans le cadre de la surveillance de routine sont des analyses radiotoxicologiques urinaires (47 %), suivies par les examens anthroporadiométriques (46 %). Les analyses radiotoxicologiques de selles et les comptages sur prélèvements nasaux sont minoritaires ce domaine (6 %).

Les analyses radiotoxicologiques urinaires sont mises en œuvre majoritairement (87 %) dans le secteur des installations de recherche liée au nucléaire (Tableau 27) mais c'est seulement dans

le secteur de la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique que sont relevées des analyses positives, en l'occurrence sur 3 travailleurs en 2015 (0,6 % des analyses urinaires de ce secteur). A noter également 4 analyses de selles positives sur des personnes du secteur des installations de recherche liées au nucléaire.

En 2015, la réalisation d'examens anthroporadiométriques a concerné presque exclusivement le secteur des installations de recherche liées au nucléaire (99,5 %). 4 examens anthroporadiométrique se sont révélés positifs.

### SURVEILLANCE SPECIALE

Les 516 analyses réalisées dans le cadre d'une surveillance spéciale l'ont été en majorité dans le secteur des installations de recherche liées au nucléaire (47 %), suivies par les secteurs de la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique (32 %) puis de la recherche et de l'enseignement (21 %). huit examens ont été considérés positifs, sur sept travailleurs (Tableau 28).

**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'analyses	Nombre d'analyses considérées positives <sup>(*)</sup>	Nombre de travailleurs avec résultat positif
Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique	159	487	3	3
Installations de recherche liées au Nucléaire	1 482	4 067	0	0
Recherche (autre que nucléaire et médical) et Enseignement	35	112	0	0
<b>Total</b>	<b>1 676</b>	<b>4 666</b>	<b>3</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)

**Tableau 28 - Analyses 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'analyses	Nombre d'analyses considérées positives <sup>(*)</sup>	Nombre de travailleurs avec résultat positif
Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique	67	163	0	0
Installations de recherche liées au Nucléaire	101	244	7	6
Recherche (autre que nucléaire et médical) et Enseignement	16	109	1	1
<b>Total</b>	<b>184</b>	<b>516</b>	<b>8</b>	<b>7</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 DOSIMÉTRIQUES

En 2015, 15 travailleurs de la recherche (11 dans le secteur des installations de recherche liées au nucléaire et quatre dans le secteur de la recherche médicale) ont fait l'objet d'un calcul de dose

interne. Pour aucun d'entre eux, la dose efficace engagée calculée ne s'est avérée supérieure à 1 mSv.

## DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Aucun dépassement de limite annuelle réglementaire de dose n'a été enregistré en 2015 dans le domaine de la recherche et de l'enseignement.

## SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Au cours de l'année 2015, 17 événements survenus dans des établissements de recherche ont été recensés :

- 8 ERP survenus dans des établissements d'enseignement et de recherche (autre que nucléaire et médical),
- 6 ERP survenus dans des installations de recherche liées au nucléaire,
- 3 ERP survenus dans des établissements de recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique.

La répartition des 12 ERP dont l'IRSN a connaissance d'une déclaration au titre de la radioprotection du domaine de la recherche, est présentée dans le Tableau 29.

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

Critères de déclaration radioprotection	Nombre d'événements recensés
0 - Tout autre écart significatif pour l'ASN ou l'exploitant	5
1- Dépassement d'une limite annuelle de dose individuelle (réel ou potentiel)	1
4.2 / 6 - Découverte de sources	6
<b>Total</b>	<b>12</b>

Parmi les événements déclarés, cinq ont été classés au niveau 1 de l'échelle INES :

- 3 ERP relatifs à la découverte fortuite de sources radioactives dans des laboratoires ou des centres de recherche universitaire, sans conséquence dosimétrique pour les travailleurs ;
- 1 ERP relatif à l'utilisation répétée d'une source radioactive alpha présentant une perte d'étanchéité. Cette source était utilisée à des fins d'étalonnage en énergie
- des appareils de mesure des rayonnements alpha. Compte tenu de la très faible activité de la source et de la très faible perte d'étanchéité de la source (évaluée à moins de 3 Bq), cet événement n'a pas eu de conséquence sur le personnel et sur l'environnement du laboratoire ;
- 1 ERP relatif à l'exposition de la main d'un opérateur au-delà du quart de la limite annuelle réglementaire de dose, fixée à 500 mSv pour les extrémités. Cette exposition s'est produite lors d'un contrôle

d'un appareil de radioprotection par un opérateur du centre de recherche. Ce contrôle est réalisé à l'aide d'une source radioactive d'étalonnage, qui est fixée à l'extrémité d'une canne afin de pouvoir approcher la source au plus près des appareils de mesure situés en hauteur. Lors de son contrôle, l'opérateur a saisi la canne du mauvais côté et a donc tenu la source dans sa main pendant quelques minutes.

De plus, un événement significatif a été classé au niveau 2 de l'échelle INES. Il s'agit d'une découverte dans un local universitaire, d'un récipient contenant une fiole de technétium 99 et un pot plombé renfermant un élément radioactif fortement irradiant. La proximité de ces sources durant plusieurs années avec des postes de travail a entraîné pour plusieurs salariés de l'établissement un dépassement de la limite de dose efficace réglementaire applicable aux personnes du public, soit 1 mSv. Cet événement fait l'objet du focus ci-après.

**FOCUS****Découverte de sources anciennes  
au sein d'un laboratoire de recherche**

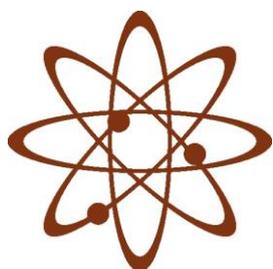
En septembre 2015, un laboratoire de recherche déclare la découverte de deux sources radioactives dans un local, d'un récipient contenant une fiole de technétium 99 et un pot plombé renfermant du radium. Le laboratoire concerné ne dispose plus d'autorisation de détention de sources radioactives depuis de nombreuses années du fait de l'arrêt de ses activités impliquant des sources radioactives. Les deux sources radioactives ont été découvertes par le service de prévention, à l'occasion d'une opération de rangement, à la fin du mois de juin 2015 dans un local très encombré et régulièrement fréquenté.

Dès leur découverte, les sources ont été transférées et mises en sécurité dans un local d'entreposage prévu à cet effet au sein du campus universitaire. Un contrôle a été mené afin de déterminer les caractéristiques radiologiques des sources récupérées. Des risques d'exposition et de contamination ont été mis en évidence autour de la source de radium qui présente un débit de dose de 3,4 mSv/h au contact.

Le contrôle radiologique du local n'a pas mis en évidence de trace de contamination radioactive.

En revanche, d'après les estimations dosimétriques réalisées, plusieurs travailleurs actuellement non classés, ni en catégorie A ni en catégorie B, sont susceptibles d'avoir reçu une dose supérieure à la limite de dose annuelle pour le public fixée à 1 mSv par an.

# EXPOSITION A LA RADIOACTIVITE NATURELLE



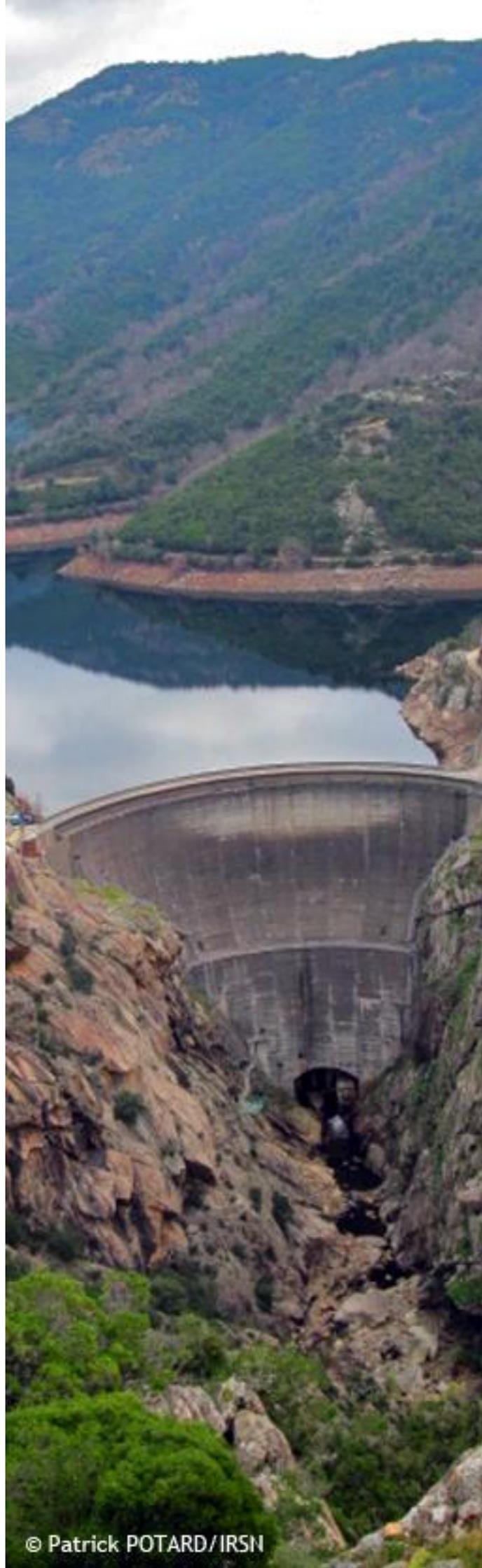
## SOMMAIRE

EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE.....p. 112

EXPOSITION AUX MATERIAUX NORM OU AU RADON  
D'ORIGINE GEOLOGIQUE .....p. 113

Evaluation du risque sur les lieux de travail

Données de surveillance des travailleurs



## EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE

L'année 2015 constitue une période de consolidation du dispositif SIEVERTPN de suivi dosimétrique (cf. page 28) des personnels navigants (PN) : au 31 décembre, sept compagnies civiles ont adhéré, conduisant à un total de 19 565 PN suivis par ce nouveau dispositif.

Le Tableau 30 présente le bilan du suivi des PN civils (calcul des doses par SIEVERTPN) ; le Tableau 31 indique le bilan des militaires (données du SPRA, issues de mesures de l'équivalent de dose Hp(10) à l'aide de dosimètres individuels pour les deux composantes photonique et neutronique).

En 2015, 19 % des doses individuelles annuelles des PN civils sont inférieures à 1 mSv et 81 % des doses

sont supérieures ou égales à 1 mSv. Les doses maximales observées se situent, pour 46 PN, entre 4 et 5 mSv. Cette répartition des doses est comparable à celle observée en 2014 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 2,0 mSv (1,8 mSv en 2014). La dose individuelle annuelle maximale atteint 4,4 mSv, soit une valeur légèrement supérieure à celle de 2014 (4,2 mSv).

Les doses des personnels militaires (Tableau 31) sont nettement plus basses, de par la nature courte des missions en comparaison des vols civils.

**Tableau 30 - Bilan 2015 des doses individuelles annuelles des PN civils**

Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé (mSv)	Dose maximale (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
19 565	38,65	1,98	1,98	4,40	0	3 300	16 265	0	0	0	0

**Tableau 31 - Bilan 2015 des doses individuelles annuelles des PN militaires**

Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé (mSv)	Dose maximale (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
485	0,12	0,26	0,33	1,05	109	375	1	0	0	0	0

## 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 utilisées 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 » (RNR) a été prise en compte sur le plan réglementaire au travers de dispositions introduites dans le code du travail par le décret 2007-1570 et également 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, quel que soit le régime de l'ICPE, et des doses pour la population pour les ICPE soumises à autorisation. Une évolution de cette réglementation, et éventuellement de la liste des activités concernées, est attendue dans le cadre de la transposition de la directive européenne 2013/59/EURATOM.

L'IRSN a été chargé de centraliser les évaluations de doses réalisées par les industriels dans le cadre de l'application de l'arrêté du 25 mai 2005, afin d'établir une cartographie des doses reçues en France dans les différents secteurs industriels concernés. Cet arrêté impose des évaluations réalistes des doses efficaces totales et des doses équivalentes, en tenant compte des données sur

l'exposition externe, l'exposition interne par inhalation de poussières ainsi que l'exposition interne par inhalation du radon et de ses descendants.

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

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

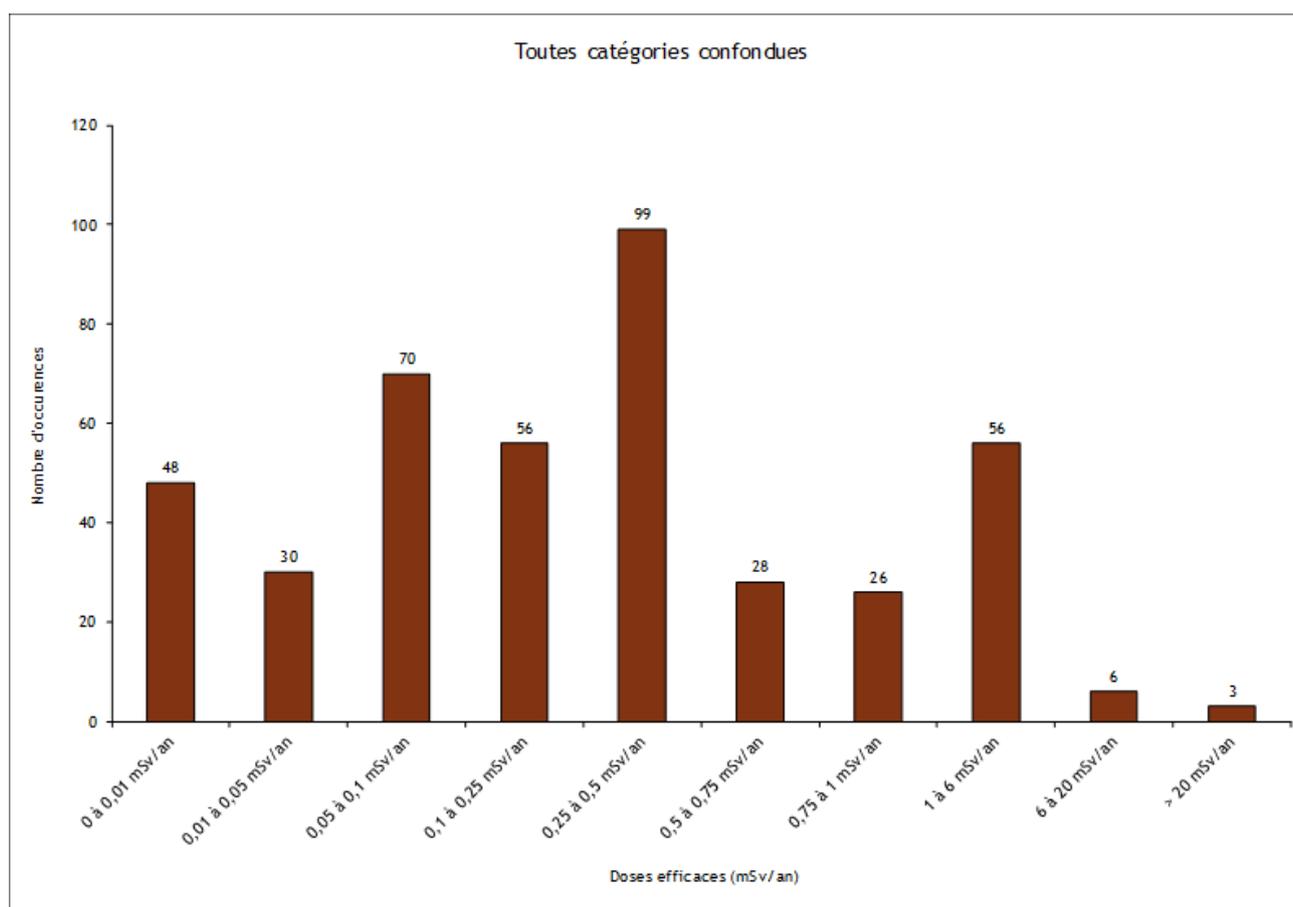
- les évaluations de doses efficaces relatives à la production ou l'utilisation de composés contenant du thorium sont rares mais mettent en évidence que dans certains cas, ces doses peuvent atteindre plusieurs dizaines de mSv/an du fait de l'inhalation de poussières.

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

Ces tendances observées selon les catégories d'activités professionnelles lors de l'analyse de 2009 sont toujours d'actualité en regard des dossiers reçus jusqu'en 2015.

En 2015, une nouvelle étude produite en application de cet arrêté a été transmise à l'IRSN, venant compléter les évaluations déjà réalisées dans le secteur de l'utilisation de composés contenant du thorium. Les doses estimées par l'exploitant sur la base de scénarii d'exploitation et de mesures réalisées sur son site sont comprises entre 0,165 mSv/an et 11,74 mSv/an avant mise en œuvre de dispositions d'optimisation des postes de travail, et entre 0,165 mSv/an et 3,63 mSv après optimisation des postes de travail.

A ce jour, ce sont plus de 400 doses aux postes de travail qui ont été évaluées par les industriels. La Figure 32 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



**Figure 32 - Distribution des doses efficaces calculées par les industriels pour les travailleurs, toutes catégories d'activités professionnelles confondues (période 2005-2015)**

## Exposition au radon

Suite à la mise en place de la réglementation relative à l'exposition des travailleurs au radon en 2008 (arrêté du 7 août 2008 et décision n°2008-DC-0110 de l'ASN homologuée par l'arrêté du 8 décembre 2008) et conformément à deux décisions de l'ASN (décisions n° 2009-DC-0135 et n° 2009-DC-0136 du 7 avril 2009, homologuées par l'arrêté du 5 juin 2009), l'IRSN dispense depuis fin 2009, trois cursus de formation destinés aux organismes désirant obtenir les agréments de l'ASN « Niveau 1 option A » (mesure dans tous types de bâtiment), « Niveau 1 option B » (mesure dans les cavités et ouvrages souterrains) et « Niveau 2 » (identification des sources, des voies d'entrées et de transfert de radon). Pour l'année 2015,

deux sessions de formation ont été organisées, une pour l'agrément « Niveau 1 option A » et une pour le « Niveau 1 option B ».

A l'issue de la commission d'agrément de juillet 2015, 51 organismes disposent de l'agrément Niveau 1 option A, 11 organismes du Niveau 1 option B et 9 organismes du Niveau 2.

Depuis la mise en place de la réglementation, des dépistages du radon dans les lieux de travail ont été réalisés par l'IRSN ou par des organismes agréés. Au total, ce sont 94 rapports de dépistage que l'IRSN a reçus, dont 22 en 2015 portant sur des établissements thermaux, des cavités et des ouvrages souterrains.

## DONNEES DE SURVEILLANCE DES TRAVAILLEURS

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

Les 190 travailleurs suivis en dosimétrie externe exercent dans les secteurs suivants : recherche et développement dans les secteurs de la minéralurgie et de la métallurgie, de la production d'éponges de zirconium, de la recherche et du développement dans le domaine des activités minières et des prestations d'exploitation et de maintenance dans certaines de ces activités.

Les 197 travailleurs suivis pour leur exposition interne exercent dans les secteurs cités ci-dessus, ainsi que dans des lieux entraînant une exposition

particulière au radon (cavités et installations souterraines).

A l'heure actuelle, ce bilan ne peut être considéré comme exhaustif, notamment pour les expositions au radon d'origine géologique. En effet, d'après les rapports de dépistage reçus par l'IRSN, un certain nombre de lieux de travail présentent une exposition potentielle au radon impliquant la mise en œuvre d'une surveillance individuelle, et il s'avère que toutes les entreprises concernées ne sont pas incluses dans le bilan présenté ici.

Ce bilan montre que les expositions des travailleurs sont faibles en moyenne mais qu'une fraction d'entre eux reçoivent des doses supérieures à la limite pour le public de 1 mSv par an, tant par exposition externe que par exposition interne. En outre, le nombre de travailleurs exposés augmente par rapport à 2014.

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

Domaine d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total <sup>(a)</sup> (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé <sup>(b)</sup> (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Mines et traitement des minerais	1	-	0,31	0,31	0	1	0	0	0	0	0
Manipulation et stockage	129	0,02	0,14	0,17	19	108	2	0	0	0	0
Autres (sources naturelles)	60	0,01	0,12	0,29	34	26	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>190</b>	<b>0,03</b>	<b>0,14</b>	<b>0,19</b>	<b>53</b>	<b>135</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

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

Domaine d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total <sup>(a)</sup> (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé <sup>(b)</sup> (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Mines et traitement des minerais	1	0,00	0,10	0,10	0	1	0	0	0	0	0
Manipulation et stockage	129	0,024	0,18	0,38	66	54	9	0	0	0	0
Activités dans un lieu entraînant une exposition professionnelle au radon et descendants	67	0,043	0,65	0,78	11	44	10	2	0	0	0
<b>Total</b>	<b>197</b>	<b>0,067</b>	<b>0,34</b>	<b>0,56</b>	<b>77</b>	<b>99</b>	<b>19</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

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

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

# ENJEUX ACTUELS EN RADIOPROTECTION

Un certain nombre de questions de radioprotection des travailleurs font depuis quelques années l'objet de réflexions et de travaux. Ces travaux ont pour objectifs de bien cerner les problématiques posées, de développer des approches méthodologiques pour en évaluer au mieux les enjeux, notamment dans le contexte des évolutions technologiques, réglementaires ou normatives, de définir des doctrines permettant d'optimiser et d'harmoniser les pratiques en France, mais aussi à une plus large échelle. Ces travaux mobilisent les experts et les chercheurs de l'IRSN, en fonction de leur complexité ou de leur degré d'avancement. Au cours de l'année 2015, l'IRSN a été fortement sollicité dans l'instruction technique préalable à la tenue du groupe permanent d'experts en réacteurs, facteurs organisationnels et humains et radioprotection, portant sur l'évaluation de l'optimisation de la radioprotection dans les centrales nucléaires d'EDF. L'institut a également été fortement impliqué dans les travaux nationaux visant à préparer la transposition de la directive européenne 2013/59/EURATOM (« BSS »). Parmi les autres travaux de l'IRSN répondant à des enjeux actuels de radioprotection et décrits ci-après, il convient de mentionner d'une part ceux ayant trait à la dosimétrie du cristallin, d'autre part l'aboutissement du développement de la plateforme européenne ESOREX.

## PREPARATION DU RAPPORT POUR LE GROUPE PERMANENT SUR LA RADIOPROTECTION DANS LES CENTRALES ELECTRONUCLEAIRES D'EDF

---

A la demande du Président de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), l'IRSN a été sollicité pour établir un rapport dressant le bilan de la radioprotection dans les centrales nucléaires d'EDF dans la perspective des grands chantiers de rénovation du parc et d'une poursuite d'exploitation des réacteurs au-delà de leur durée de fonctionnement initialement prévue.

Ce rapport qui sera prochainement publié a servi de base pour la réunion du groupe permanent afin que les experts puissent se prononcer sur la stratégie mise en œuvre par EDF dans le but de limiter l'impact des activités du projet de rénovation des tranches sur les doses collectives et individuelles des travailleurs.

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

---

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

Elle abroge et regroupe les dispositions de cinq anciennes directives relatives à la protection de la population, des patients et des travailleurs en matière d'exposition aux rayonnements

ionisants : outre la directive 96/29/Euratom fixant les normes de base en vigueur jusqu'à aujourd'hui, elle reprend également les dispositions de la directive 89/618/Euratom relative aux situations d'urgence radiologique, de la directive 90/641/Euratom sur l'exposition des travailleurs extérieurs intervenant en zone contrôlée, de la directive 97/43/Euratom relative aux expositions à des fins médicales et de la directive 2003/122/Euratom traitant des

sources scellées de haute activité et des sources orphelines.

L'objectif de ce nouveau texte est ainsi de couvrir l'ensemble des situations d'exposition telles qu'elles sont définies dans les recommandations de la CIPR 103 publiées en 2007 (situations d'expositions existantes, planifiées et d'urgence) et les trois 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 cinq ans pour autant que la dose sur une année ne dépasse pas 50 mSv. Une attention particulière est également portée dans cette nouvelle directive aux cas des expositions à la radioactivité d'origine naturelle, notamment au radon. La mise à jour des normes de base européennes a été réalisée en parallèle de celles de l'AIEA (version provisoire publiée en 2011 et version définitive en 2014).

La France dispose d'un délai de quatre ans pour transposer la directive 2013/59/Euratom en droit national. L'échéance est ainsi fixée au 6 février 2018 au plus tard. Même si la réglementation française avait en partie anticipé les évolutions introduites par la directive 2013/59/Euratom, la Direction Générale du Travail (DGT) avait engagé, avant même que la directive ne soit publiée, 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.

Comme en 2014, l'IRSN a été fortement impliqué en 2015 dans les travaux préliminaires à la transposition de cette nouvelle directive et notamment pour les questions de surveillance dosimétrique. Ainsi l'Institut a-t-il participé activement à un groupe de travail mis en place par la DGT. Ce groupe de travail co-piloté par la DGT, l'ASN et l'IRSN avait pour finalité d'analyser les atouts et les lacunes de l'organisation actuelle du suivi dosimétrique des travailleurs, à partir du retour d'expérience national et international, et au regard de la diversité des utilisations des rayonnements ionisants dans de nombreux secteurs d'activité. Quatre ateliers ont été mis en place avec pour missions de traiter respectivement les aspects généraux de la surveillance dosimétrique, la dosimétrie externe, la dosimétrie interne et les modalités d'enregistrement et d'exploitation des données qui en découlent. A l'issue des travaux de ces quatre ateliers, un livre blanc de la « Surveillance radiologique des expositions des travailleurs » a été rédigé, reprenant les conclusions de ces travaux. Il a été présenté aux administrations et institutions commanditaires en mai 2015 et a été rendu public en septembre 2015.

Les principes édictés dans ce livre blanc reposent sur la nécessaire harmonisation des dispositions du Code du travail en regard des différentes classes de risques auxquels sont exposés les travailleurs, notamment avec les CMR (cancérogène, mutagène et reprotoxique).

## RECENTS TRAVAUX CONCERNANT L'EXPOSITION DU CRISTALLIN

---

Le cristallin de l'œil est un tissu radiosensible. Il peut être affecté par les rayonnements ionisants. Il développe alors des opacités pouvant conduire à une cataracte. Si le risque est connu de longue date, il est aujourd'hui au cœur de l'actualité puisque suite aux recommandations en 2011 de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR)

de baisser drastiquement la limite annuelle d'exposition de 150 à 20 mSv la directive 2013/59/Euratom, a suivi ces recommandations en fixant une limite d'exposition pour le cristallin à 20 mSv/an ou à 100 mSv sur 5 ans pour autant que la dose sur une année ne dépasse pas 50 mSv Cette dernière devra être

transposée en droit français d'ici au 6 février 2018.

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

La première partie de ce projet européen a porté sur la mise en place de l'approche dosimétrique et le recrutement des cardiologues interventionnels dans chaque pays européen partenaire du projet fondé sur un protocole uniformisé.

L'approche méthodologique destinée à estimer la dose cumulée au niveau du cristallin de chaque cardiologue inclus dans la cohorte EURALOC était délicate dans la mesure où l'on ne disposait d'aucune donnée de dosimétrie individuelle cristallin pour ces personnes. La démarche a donc consisté à utiliser des mesures de dose réalisées pour différents types d'actes de cardiologie interventionnelle et à croiser ces données avec la connaissance, à partir d'un questionnaire personnalisé, des actes pratiqués et leur nombre au cours de la carrière. L'impact dosimétrique de l'évolution des techniques avec le temps a également été pris en compte.

La seconde partie du projet, qui débute mi-2016, va consister à analyser l'ensemble de la base de données qui contient pour chaque cardiologue, d'une part, l'estimation de la dose au cristallin cumulée sur la carrière, et d'autre part, les résultats d'examens ophtalmologiques. L'objectif est d'établir *in fine* une relation dose-effet.

La révision du guide d'aide pratique aux études de poste de travail (voir page 35) est également l'occasion de rappeler les recommandations de l'IRSN, pour réduire le risque d'exposition du cristallin :

- Former et sensibiliser les opérateurs et les 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.
- Pour toutes les situations où l'exposition du cristallin n'est pas ou est mal connue, réaliser des études pour évaluer cette exposition et, de manière plus générale, intégrer systématiquement l'évaluation de la dose au cristallin dans toute étude de poste.
- Mettre en œuvre une surveillance dosimétrique dans les cas où l'exposition du cristallin évaluée lors de l'étude de poste est susceptible de dépasser 15 mSv/an (limite public).

En matière d'optimisation de la radioprotection, et compte tenu des nouvelles dispositions en cours de transposition, il est rappelé dans les fiches de postes spécifiques du guide, en particulier celles relatives à la radiologie interventionnelle et à la médecine nucléaire, que la pertinence du port de lunettes plombées doit être étudiée.

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

---

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

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

- faciliter le partage d'informations entre experts du domaine, notamment ceux en charge des registres nationaux dédiés aux expositions professionnelles aux rayonnements ionisants ;
- présenter un panorama à jour des dispositions prises dans les différents pays en matière de radioprotection des travailleurs et plus particulièrement de suivi de l'exposition des travailleurs;
- constituer une base de données des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants des pays participant, en harmonisant les formats de présentation de ces données ;
- disposer d'un outil permettant une analyse comparative des dispositions nationales prises en application de la nouvelle directive européenne de décembre 2013.

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

La structure de la plateforme ainsi que les données à y enregistrer ont été définies lors d'une première phase du projet, au sein d'un groupe de travail restreint impliquant les

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

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

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

Le projet s'est achevé en décembre 2015 avec la livraison de la plateforme ESOREX, accessible à tous sur Internet (<https://esorex-platform.org/>).

Dans l'attente d'avoir établi les conditions d'un fonctionnement pérenne de cette plateforme, l'IRSN continue d'en assurer l'administration. Mi-2016, ce sont 22 pays qui ont désigné un administrateur ESOREX. Au moins 14 d'entre eux

ont également renseigné la partie informative et/ou des données dosimétriques. En tant que participant, la France s'est livrée à l'exercice de renseigner la partie informative ainsi que les tables de données pour les années 2010 à 2015 pour la dosimétrie corps entier et la dosimétrie d'extrémité.

Les enjeux liés à ce projet sont, d'une part d'atteindre une large participation pour obtenir

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

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

## Bilan de l'année 2015

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

- Effectif total suivi : 365 830 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 61,9 homme.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'ensemble des travailleurs suivis : 0,17 mSv
- Dose individuelle annuelle moyenne sur l'ensemble des travailleurs suivis ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement : 0,72 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 1 mSv : 14 138 travailleurs (soit 3,9 % de l'effectif)
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 20 mSv : 2 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle aux extrémités > 500 mSv : 1 travailleur

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

- Nombre d'examens de routine réalisés : 279 877 examens (dont moins de 0,5 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 588 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée > 1 mSv : 2 travailleurs

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

- Dose collective pour 19 565 personnels navigants civils : 38,7 homme.Sv
- Dose individuelle annuelle moyenne : 2,0 mSv

## Evolution sur les 6 dernières années (hors radioactivité naturelle) (dosimétrie externe passive corps entier)

	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose moyenne sur l'effectif total (mSv)	Dose moyenne sur l'effectif exposé (mSv)	Part de l'effectif ayant une dose $\geq$ 1mSv	Effectif ayant une dose $\geq$ 20mSv
2010	330 618	62,40	0,19	0,82	4,2 %	8
2011	343 998	64,20	0,19	0,88	4,1 %	8
2012	354 665	62,35	0,18	0,86	3,9 %	14
2013	352 082	61,01	0,17	0,79	3,9 %	9
2014	359 646	56,28	0,16	0,74	3,6 %	9
2015	365 830	61,94	0,17	0,72	3,9 %	2 <sup>(*)</sup>

(\*) Au 13/04/2016

# CONCLUSIONS

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

Les chiffres clefs pour l'année 2015 sont résumés ci-avant. La méthode d'établissement des statistiques nationales de l'exposition des travailleurs étant stabilisée, il est possible d'observer les tendances sur les dernières années. Les effectifs suivis en 2015 ont encore légèrement augmenté, progressant essentiellement dans le domaine médical et le domaine de l'industrie non nucléaire. La dose collective enregistrée en 2015 est en hausse par rapport à 2014 mais reste dans la moyenne des valeurs observées sur ces cinq dernières années. La part de l'effectif ayant enregistré une dose annuelle supérieure à 1 mSv (limite annuelle réglementaire pour le public) reste stable à 3,9 % de l'effectif total suivi. Le nombre de dépassements de la dose efficace est de 2 ; il résulte d'un bon retour en 2015 des conclusions des enquêtes diligentées par les médecins du travail.

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 2015, comme sur les cinq dernières années, c'est dans l'industrie non nucléaire et dans le domaine nucléaire que les doses annuelles sont les plus élevées en moyenne, soit respectivement 1,38 mSv et 1,17 mSv. Dans les activités médicales et vétérinaires, ainsi que dans la recherche, la dose annuelle moyenne reste inférieure à 0,5 mSv (respectivement 0,34 mSv et 0,25 mSv).

Ces situations contrastées entre les différents secteurs d'activité ou catégories de travailleurs restent à mieux caractériser pour identifier les

situations où l'optimisation de la radioprotection doit tout particulièrement être renforcée. L'entrée en vigueur de l'arrêté du 17 juillet 2013 relatif à la carte individuelle de suivi médical et au suivi dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants fournit aujourd'hui le cadre réglementaire pour atteindre ce résultat. Les évolutions introduites sont en effet de nature à améliorer fortement la fiabilité et la complétude de l'information sur l'activité des travailleurs et permettre, dans les prochaines années, l'utilisation exclusive de SISERI pour établir le bilan annuel lorsque l'ensemble de ces informations aura effectivement été renseigné par les employeurs. Les statistiques nationales des expositions professionnelles s'en trouveront plus précises, que ce soit en termes d'activité, de métier ou de statut des travailleurs. A l'échéance du 1<sup>er</sup> juillet 2016 fixée par l'arrêté du 17 juillet 2013 aux employeurs pour mettre à jour les données administratives de leurs travailleurs dans SISERI, moins de 50 % des travailleurs bénéficiant à cette date d'une surveillance dosimétrique ont leurs informations complètes dans SISERI. Il faut souligner qu'une forte hétérogénéité selon les domaines d'activité est là aussi observée.

Malgré ces difficultés pour affiner la connaissance des expositions, la stabilité de la méthode pour établir les bilans annuels d'exposition sur les 10 dernières années, permet tout de même de disposer d'une vision de la progression de la radioprotection en France. Son efficacité, comme tout dispositif de prévention des risques, peut se mesurer au travers de la diminution du nombre des événements indésirables que l'on souhaite prévenir, voire de leur disparition : de quelques centaines de travailleurs dépassant les 20 mSv par an il y a 20 ans, quelques cas (2 en 2015) sont désormais observés. Chaque année, depuis au moins 10 ans, voit également diminuer le nombre des travailleurs exposés à plus de 15 mSv et aussi à plus de 10 mSv, traduisant l'efficacité de l'implication forte de tous les acteurs de la radioprotection dans le cadre défini par la réglementation.

## REFERENCES

- [1] Arrêté du 17 juillet 2013 relatif à la carte individuelle de suivi médical et au suivi dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants
- [2] ISO 20553 (juillet 2006). Surveillance professionnelle des travailleurs exposés à un risque de contamination interne par des matériaux radioactifs
- [3] 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 (document téléchargeable sur la page à l'adresse suivante : <http://www.chu-rouen.fr/sfmt/pages/Recommandations.php>)
- [4] Norme CEI 62387-1 (juillet 2007). Instrumentation pour la radioprotection, systèmes dosimétriques intégrés passifs pour la surveillance de l'environnement et de l'individu
- [5] Norme ISO 21909 (décembre 2005). Dosimètres individuel passifs pour les neutrons. Exigences de fonctionnement et d'essai
- [6] Norme ISO 12790-1 (mars 2002). Radioprotection, les critères de performance pour l'analyse radiotoxicologique
- [7] 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
- [8] 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
- [9] La radioprotection des travailleurs - Bilan 2004 - IRSN - Rapport DRPH/2005-09 du 15/11/05 - Alain RANNOU et Olivier COUASNON
- [10] 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
- [11] La radioprotection des travailleurs - Bilan 2006 de la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants en France - IRSN - DRPH/DIR/2008-4 du 01/02/08 - Alain RANNOU, Roselyne AMEON, Patrice BOISSON, Isabelle CLAIRAND, Olivier COUASNON, Didier FRANCK, Jean-Luc REHEL, Pascale SCANFF, Maylis TELLE-LAMBERTON
- [12] La radioprotection des travailleurs - 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
- [13] 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
- [14] 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

- [15] 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
- [16] 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
- [17] 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
- [18] La radioprotection des travailleurs - Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2013 - IRSN - PRP-HOM/2014-007 du 07/07/14 - Bruno CESSAC, Juliette FEUARDENT, Ben-Mekki AYADI, Isabelle CLAIRAND, Sylvie DERREUMAUX, Nora HOCINE, Laurent MARIE, Jean-Luc REHEL, Hervé ROY, Pascale SCANFF
- [19] La radioprotection des travailleurs - Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2014 - IRSN - PRP-HOM/2015-00004 du 03/07/15 - Juliette FEUARDENT, Ben-Mekki AYADI, Hélène CAPLIN, Cécile CHALLETON-DE VATHAIRE, David CELIER, Isabelle CLAIRAND, Sylvie DERREUMAUX, Jean-Pierre HEUZE, Nora HOCINE, Laurent MARIE, Hervé ROY, Pascale SCANFF
- [20] Norme ISO 14146 (juin 2000). Critères et limites d'habilitation pour l'évaluation périodique des exploitants de dosimètres individuels pour les rayons X et gamma

**ANNEXE : NOMENCLATURE DES SECTEURS D'ACTIVITE**

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



Pour tout renseignement :

IRSN

Pôle radioprotection, environnement, déchets et crise  
Protection de l'Homme (PRP-HOM)  
31, avenue de la Division Leclerc  
92262 Fontenay-aux-Roses cedex

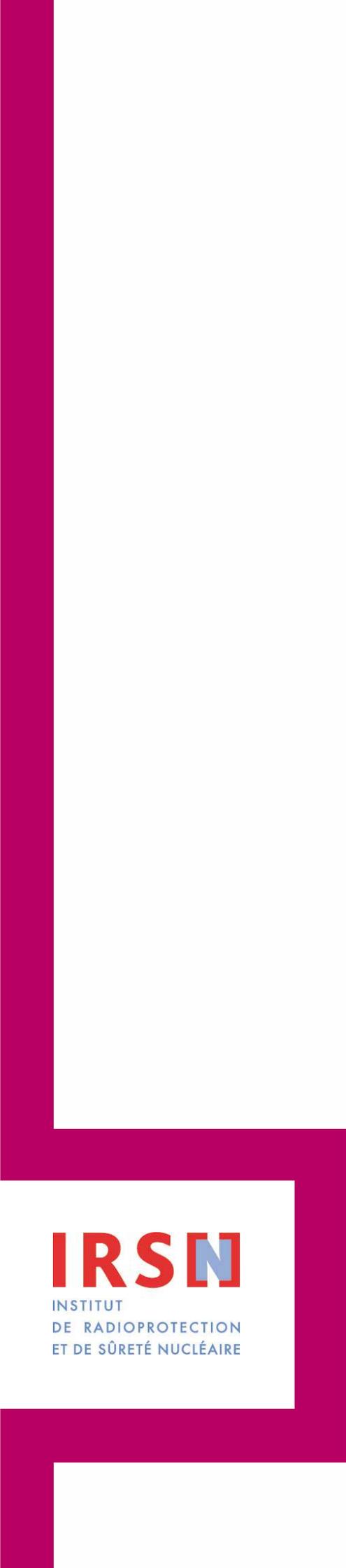
Téléphone : +33 (0)1 58 35 88 88

Mail : [contact@irsn.fr](mailto:contact@irsn.fr)

N° du rapport : PRP-HOM 2016-00002

Tous droits réservés IRSN

Juin 2016



**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Siège social

31, avenue de la Division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses  
RCS Nanterre B440 546 018  
Téléphone : +33 (0)1 58 35 88 88

Courrier : BP 17 – 92262 Fontenay-aux-Roses Cedex

Site internet : [www.irsn.fr](http://www.irsn.fr)