

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 2016



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'Énergie et de la Mer, du ministère de l'Éducation 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 2016, 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 2016 dans le cadre des activités soumises à autorisation ou à déclaration est en augmentation de 1,8 % par rapport à 2015, avec 372 262 travailleurs. Parallèlement, la dose collective¹ mesurée par dosimétrie externe passive s'établit à 63,2 h.Sv pour 2016, contre 61,9 h.Sv en 2015. Avec une faible hausse par rapport à 2015 (2 %), cette valeur reste 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 14 218 travailleurs ayant reçu plus de 1 mSv (limite annuelle réglementaire fixée pour la population générale), 2 703 travailleurs ont reçu une dose supérieure à 5 mSv². Une dose externe annuelle supérieure à 20 mSv (limite réglementaire de la dose efficace fixée pour les travailleurs) a été enregistrée pour 1 travailleur. Deux cas de dépassement de la limite de dose équivalente aux extrémités (500 mSv) ont également été enregistrés.

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 (61,2 %), et le domaine de la recherche (3,1 % des effectifs) présentent les doses individuelles moyennes³ les plus faibles, inférieures à 0,35 mSv. Les travailleurs du nucléaire et de l'industrie non nucléaire, représentant ensemble 30,5 % des effectifs suivis, reçoivent les doses individuelles moyennes les plus élevées (respectivement 1,15 mSv et 1,36 mSv).

Pour ce qui concerne le suivi de l'exposition interne, 275 659 analyses ont été réalisées en routine en 2016. Ce nombre d'analyses est en diminution par rapport à 2015 (-1,5 %). La répartition entre les différents types d'analyse est de 54 % d'analyses radiotoxicologiques des excréta vs 46 % d'analyses anthroporadiométriques. Le nombre de cas avérés de contamination interne reste faible : en 2016, 5 travailleurs ont eu une dose efficace engagée⁴ supérieure à 1 mSv, la dose engagée maximale étant de 19,4 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 19 875 personnes enregistrées en 2016, la dose individuelle moyenne de la population de l'aviation civile est stable (2,0 mSv tout comme en 2015), la dose individuelle maximale s'élevant à 5,2 mSv.

MOTS-CLES

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

¹ 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.

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

³ 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.

⁴ 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.

372 262 workers within activities subject to authorization or declaration were monitored by passive dosimetry in 2015, which represents an increase by 1.8 % compared to 2015. The average individual dose in 2016 was very close to the value in 2015. Furthermore, 14 218 workers received more than 1 mSv (i.e. the legal dose limit for the public), and 2 703 workers received more than 5 mSv. 1 worker 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 61.9 to 63.2 man.Sv (2 %), thus reaching the same level as in the years 2009 to 2013. Important differences are noticed according to the occupational activities: the average dose⁵ in the medical and veterinary field (which represents 61.2 % of the monitored workers) and that in the research field (3.1 % of the monitored workers) are less than 0.35 mSv; the average doses are higher in the nuclear field and in the non-nuclear industry (representing together 30.5 % of the monitored workers), respectively 1.15 mSv and 1.36 mSv.

Concerning internal dosimetry, 279 659 individual examinations have been performed in 2016, 54 % of which are radiotoxicological analysis of excreta and 46 % are direct body countings. In 2016, 5 workers had a committed effective dose greater than or equal to 1 mSv and the maximum dose was 19.4 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 2016, the average individual dose of 19 875 aircrew members was 2.0 mSv and the maximum individual dose was 5.2 mSv.

KEY-WORDS

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

⁵ 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	63
DOMAINE NUCLEAIRE	77
DOMAINE INDUSTRIEL NON NUCLEAIRE	93
DOMAINE DE LA RECHERCHE ET DE L'ENSEIGNEMENT	101
EXPOSITION A LA RADIOACTIVITE NATURELLE	109
ENJEUX ACTUELS EN RADIOPROTECTION	117
CHIFFRES CLEFS DE LA SURVEILLANCE DES EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES AUX RAYONNEMENTS IONISANTS	122
CONCLUSIONS	123
REFERENCES	123
ANNEXE : NOMENCLATURE DES SECTEURS D'ACTIVITE	127

TABLE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES FIGURES

Figure 1 - Mesure anthroporadiométrique pulmonaire à l'aide de détecteurs GeHP	19
Figure 2 - Mesure de la radioactivité au sein d'échantillons urinaires par spectrométrie γ 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	27
Figure 5 - Fantôme anthropomorphe pulmonaire LIVERMORE	33
Figure 6 - Traitement des alertes de dépassement d'une limite annuelle réglementaire	35
Figure 7 - Vues du laboratoire mobile d'anthroporadiométrie LMA	36
Figure 8 - Répartition (en pourcentage) des effectifs suivis par rapport au seuil d'enregistrement de la dose en 2016	47
Figure 9 - Répartition (en pourcentage) de l'effectif exposé en fonction de différentes classes de dose efficace en 2016	48
Figure 10 - Répartition des effectifs suivis et des doses collectives pour la dosimétrie des neutrons en 2016	48
Figure 11 - Evolution des effectifs suivis et de la dose collective (photons + neutrons) de 1997 à 2016	49
Figure 12 - Evolution des effectifs suivis et de la dose collective « neutrons » de 2006 à 2016	50
Figure 13 - Répartition des effectifs suivis et des doses enregistrées aux extrémités en 2016	51
Figure 14 - Importance relative de la surveillance de l'exposition aux extrémités par dosimétrie par bague ou au poignet en 2016, suivant les domaines d'activité	52
Figure 15 - Répartition des effectifs suivis et des doses enregistrées au cristallin en 2016	53
Figure 16 - Nombre d'analyses réalisées pour la surveillance de l'exposition interne dans les différents domaines d'activité en 2016 (surveillance de routine)	55
Figure 17 - Exposition interne : évolution, de 2006 à 2016, du nombre de travailleurs avec une dose engagée supérieure à 1 mSv	57
Figure 18 - Evolution, de 1996 à 2016, du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv	58
Figure 19 - Répartition par domaine d'activité du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (période 2005-2016)	59
Figure 20 - Répartition des événements entre les domaines d'activité	60
Figure 21 - Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis dans les principaux secteurs médicaux et vétérinaires, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose en 2016	66
Figure 22 - Répartition (en pourcentages) de l'effectif exposé dans les principaux secteurs médicaux et vétérinaires, en fonction de différentes classes de dose externe corps entier en 2016	66
Figure 23 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (période 1997-2016)	68
Figure 24 - Répartition des doses enregistrées pour la dosimétrie par bague en 2016 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires	69
Figure 25 - Appareil de radiothérapie à bras robotisé	75
Figure 26 - Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis dans les principaux secteurs de l'industrie nucléaire, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose en 2016	81
Figure 27 - Répartition de l'effectif exposé dans les principaux secteurs de l'industrie nucléaire, en fonction de différentes classes de dose externe corps entier en 2016	81
Figure 28 - Répartition des effectifs et des doses enregistrées en 2016 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 1997-2016)	83

Figure 30 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans l'industrie non nucléaire (période 1997-2016)	96
Figure 31 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le domaine de la recherche et de l'enseignement (période 1997-2016)	104
Figure 32 - Distribution des doses efficaces calculées par les industriels pour les travailleurs, toutes catégories d'activités professionnelles confondues (période 2005-2016)	112

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Valeurs limites d'exposition	11
Tableau 2 - Panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2016	15
Tableau 3 - Limites de détection des principales techniques de surveillance de l'exposition interne mises en œuvre en France en 2016	22
Tableau 4 - Surveillance de l'exposition externe dans les activités soumises à un régime d'autorisation ou de déclaration - année 2016	45
Tableau 5 - Exposition interne : surveillance de routine dans les différents domaines d'activité en 2016	54
Tableau 6 - Exposition interne : surveillance spéciale dans les différents domaines d'activité en 2016	56
Tableau 7 - Dépassements des limites annuelles réglementaires de doses : bilan 2016	58
Tableau 8 - Evolution des événements concernant des travailleurs sur la période 2006 - 2016	61
Tableau 9 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2016	65
Tableau 10 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2016	71
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 en 2016	71
Tableau 12 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2016	72
Tableau 13 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine nucléaire en 2016	80
Tableau 14 - Secteur d'activité de rattachement des établissements intervenant dans le domaine nucléaire (exposition interne)	85
Tableau 15 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine nucléaire en 2016	86
Tableau 16 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de selles dans le domaine nucléaire en 2016	87
Tableau 17 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques dans le domaine nucléaire en 2016	88
Tableau 18 - Examens réalisés en 2016 à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale) dans le domaine nucléaire	89
Tableau 19 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine nucléaire en 2016	90
Tableau 20 - Répartition des événements recensés dans le domaine nucléaire en fonction des critères de déclaration ASN en 2016	91
Tableau 21 - Surveillance de l'exposition externe dans l'industrie non nucléaire en 2016	95
Tableau 22 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans l'industrie non nucléaire en 2016	98
Tableau 23 - Examens réalisés à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale) dans l'industrie non nucléaire en 2016	99
Tableau 24 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans l'industrie non nucléaire en 2016	100

Tableau 25 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2016	103
Tableau 26 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2016	106
Tableau 27 - 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 en 2016	106
Tableau 28 - Répartition des événements recensés dans le domaine de la recherche en fonction des critères de déclaration ASN en 2016	107
Tableau 29 - Bilan 2016 des doses individuelles annuelles des PN civils	110
Tableau 30 - Bilan 2016 des doses individuelles annuelles des PN militaires	110
Tableau 31 - Données relatives à l'exposition externe aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium en 2016	115
Tableau 32 - Données relatives à l'exposition interne aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium en 2016	115

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.....	18
Exposition des personnels navigants au rayonnement cosmique	24
Le renseignement des données administratives dans SISERI par les employeurs.....	30
Quelles sont les données présentes dans le registre national SISERI ?	31
L'exposition en 2016 des jeunes travailleurs	46
Contamination à la peau d'intervenants en centre nucléaire de production d'électricité	92
Évolution de la réglementation des activités NORM.....	113
Organisation d'une intercomparaison européenne de dosimètres passifs pour le cristallin	119

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’Energie 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’Evaluation 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 Energétique 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^{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 ²)	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 (*)

(*) L'abaissement de la limite de dose au cristallin de 150 mSv à 20 mSv conformément aux dispositions 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 sera effectif à l'entrée en vigueur des textes transposant cette directive dans le code du travail.

(**) Les jeunes travailleurs tels que mentionnés dans le code du travail (âgés d'au moins quinze ans et de moins de dix-huit ans, article D. 4153-1) ne peuvent être affectés à des travaux qui requièrent un classement en catégorie A (article R.4451-45 du code du travail).

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^{er} 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/m³ 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 du système d'information 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 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 et 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 (poignet, main, pied, doigt, cristallin) 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 auxquels le travailleur est susceptible d'être exposé ainsi que leur période biologique, leur radiotoxicité et les voies d'exposition. En milieu professionnel, la surveillance individuelle est concrètement assurée par des analyses anthro-radiométriques (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, n'est réalisé que dans les cas où la contamination mesurée est jugée significative.

Dans le cas particulier de l'exposition résultant de l'inhalation des radionucléides naturels en suspension dans l'air (descendants à vie courte des isotopes 222 et 220 du radon et/ou émetteurs α 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 évolué en 2013. 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 a également modifié 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 2016, 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

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 2016. Les techniques utilisées sont décrites ci-après.

Le dosimètre thermoluminescent (TLD)

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

détecter les rayonnements X , β et γ , et les neutrons moyennant l'utilisation de matériaux appropriés.

Le dosimètre basé sur la luminescence stimulée optiquement (OSL)

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

analysés plusieurs fois. Les dosimètres OSL sont sensibles aux rayonnements X, β et γ .

relecture. Il permet la détection des rayonnements X, β et γ .

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

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 2016

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, β , γ et neutrons (d'albédo) : TLD	0,1 (0,34 pour les neutrons)	-	-	X, β , γ et neutrons : TLD	0,1 (pour les X et γ)	-	-
AREVA NC Marcoule	X, β , γ et neutrons (d'albédo) : TLD	0,1 (0,33 pour les neutrons)	-	-	X, β , γ et neutrons : TLD	0,1	-	-
DOSILAB	X, β , γ : TLD	0,1	-	-	X, β , γ : TLD	0,1	X, β , γ : TLD	0,1
IPHC	X, β , γ : RPL	0,1	-	-	X, β , γ : RPL	0,1	-	-
IPN	X, β , γ : RPL	0,05	-	-	-	-	-	-
	Neutrons : détecteur solide de traces	0,1	-	-	-	-	-	-
IRSN	X, β , γ : RPL	0,05	X, β , γ : TLD	0,1	X, β , γ : TLD	0,1	X, β , γ : TLD	0,1
	Neutrons : détecteur solide de traces	0,1	-	-	Neutrons : détecteur solide de traces	0,1	-	-
LANDAUER EUROPE	X, β , γ : OSL	0,05	X, γ : TLD	0,1	X, β , γ : OSL	0,1	X, β , γ : TLD	0,1
	Neutrons : détecteur solide de traces (standard ^(**) ou équipé d'un radiateur en téflon ^(***))	0,1	-	-	Neutrons : détecteur solide de traces	0,1	-	-
SPRA	X, β , γ : OSL	0,1	-	-	X, β , γ : 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, deux laboratoires sont en mesure de fournir des dosimètres adaptés à la mesure de la dose au cristallin (cf. Tableau 2).

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 1^{er} 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 14,6 % 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 γ pour une dose donnée, et contrairement à ces derniers, les effets des neutrons sont fortement dépendants de leur énergie. 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). 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 est mise en place pour quantifier des expositions significatives suite à des événements anormaux réels ou suspectés.

L'articulation de ces différents types de surveillance varie suivant les cas. La surveillance de contrôle est prépondérante pour les travailleurs en médecine nucléaire utilisant des radionucléides à vie courte (dont la période est inférieure à 100 jours). Pour les travailleurs en INB, la surveillance de chantier et la surveillance de contrôle sont considérées comme des cas particuliers de la surveillance de routine.

Concernant la surveillance spéciale, la mesure vise davantage, dans la grande majorité des cas, 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, selon les recommandations de la Société Française de Médecine du Travail (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 fondement 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 2016, 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 γ associés à la désintégration du(es) radionucléide(s) incorporé(s). Les mesures du corps entier sont particulièrement bien adaptées aux émetteurs de rayonnements γ d'énergie supérieure à 200 keV (produits de fission et d'activation). Les mesures pulmonaires des émetteurs de rayonnements X et γ 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 33).



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 α peuvent être détectés par comptage α global ou par spectrométrie α . Le comptage α 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 γ dans le cadre d'analyses radiotoxicologiques

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

Les émetteurs β sont principalement mesurés par scintillation liquide. Cette méthode consiste à mélanger l'échantillon à analyser avec un liquide scintillant. L'émission des particules β 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 β peuvent également être mesurés à l'aide d'un compteur proportionnel après une étape préalable de séparation chimique du radionucléide.

Les émetteurs X et γ 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, et aux procédés chimiques employés dans les étapes de séparation et de purification des radionucléides.

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).

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 ϵ le coefficient de dose par unité d'incorporation (Sv/Bq), tel que précisé dans le code de la santé publique (arrêté du 1^{er} 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 μm . *In fine*, l'établissement d'un scénario de contamination le plus réaliste possible, tenant compte des différentes mesures de contamination mises en œuvre dans le programme de surveillance du travailleur exposé et des conditions dans lesquelles a eu lieu la contamination, peut permettre d'adapter l'évaluation dosimétrique à la situation d'exposition spécifique.

Les seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne

La limite de détection (LD) est la plus petite valeur détectable avec une incertitude acceptable, dans les conditions expérimentales décrites par la méthode de mesure. La LD est l'un des critères de performance des mesures radiotoxicologiques et anthroporadiométriques. Le Tableau 3 présente les limites de détection atteintes par ces méthodes dans les laboratoires français 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 bruit de fond ambiant, le type et les performances intrinsèques du ou des détecteurs utilisés : efficacité, résolution, 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 (qui est présent 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 % de la limite annuelle de dose efficace (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 % de la limite annuelle de dose efficace, soit 6 mSv. Ces différents niveaux sont représentés schématiquement sur la Figure 3.

Tableau 3 - Limites de détection des principales techniques de surveillance de l'exposition interne mises en œuvre en France en 2016

Type d'analyse	Type de rayonnement	Radionucléide(s) considéré(s)	Limites de détection (LD)
Mesure des prélèvements nasaux	α β γ/X		de 0,1 à 0,11 Bq(*) de 0,02 à 4 Bq(*) 37 Bq(*)
Radiotoxicologie des selles	α γ/X	actinides ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{54}Mn , ^{110}Ag	de 0,0002 à 0,002 Bq(*) 1 Bq(*)
Radiotoxicologie des urines	α	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
	β	^3H ^{14}C ^{32}P ^{35}S ^{36}Cl ^{90}Sr β 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
	γ/X	tous radionucléides	de 0,12 Bq/L à 0,4 Bq/L 1 à 75 Bq/L
Anthroporadiométrie corps entier	γ/X	^{137}Cs ^{60}Co	de 50 Bq à 300 Bq de 50 Bq à 300 Bq
Anthroporadiométrie pulmonaire	γ/X	^{241}Am ^{235}U ^{239}Pu	de 5 Bq à 15 Bq de 7 Bq à 14 Bq 1 000 à 7 000 Bq
Anthroporadiométrie de la thyroïde	γ/X	^{131}I ^{125}I	de 2 Bq à 30 Bq de 20 à 25 Bq

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

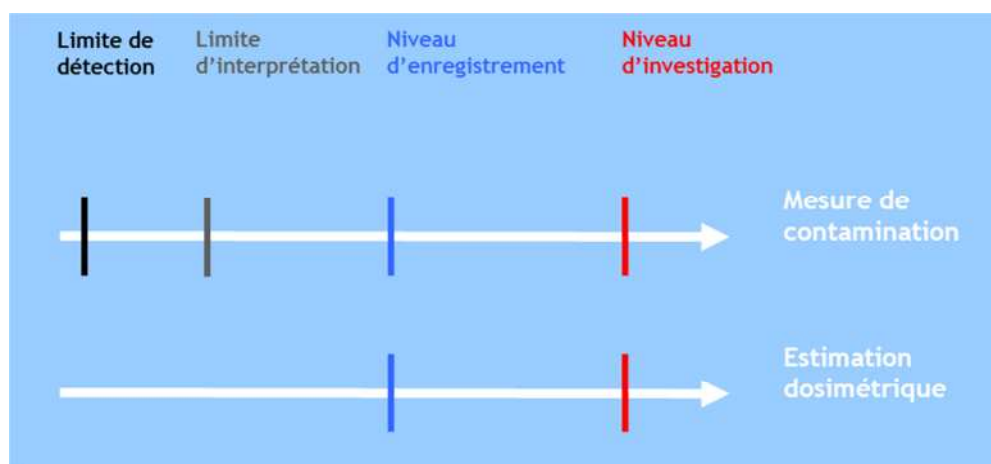


Figure 3 - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs

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), 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 24). 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^{er} 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.

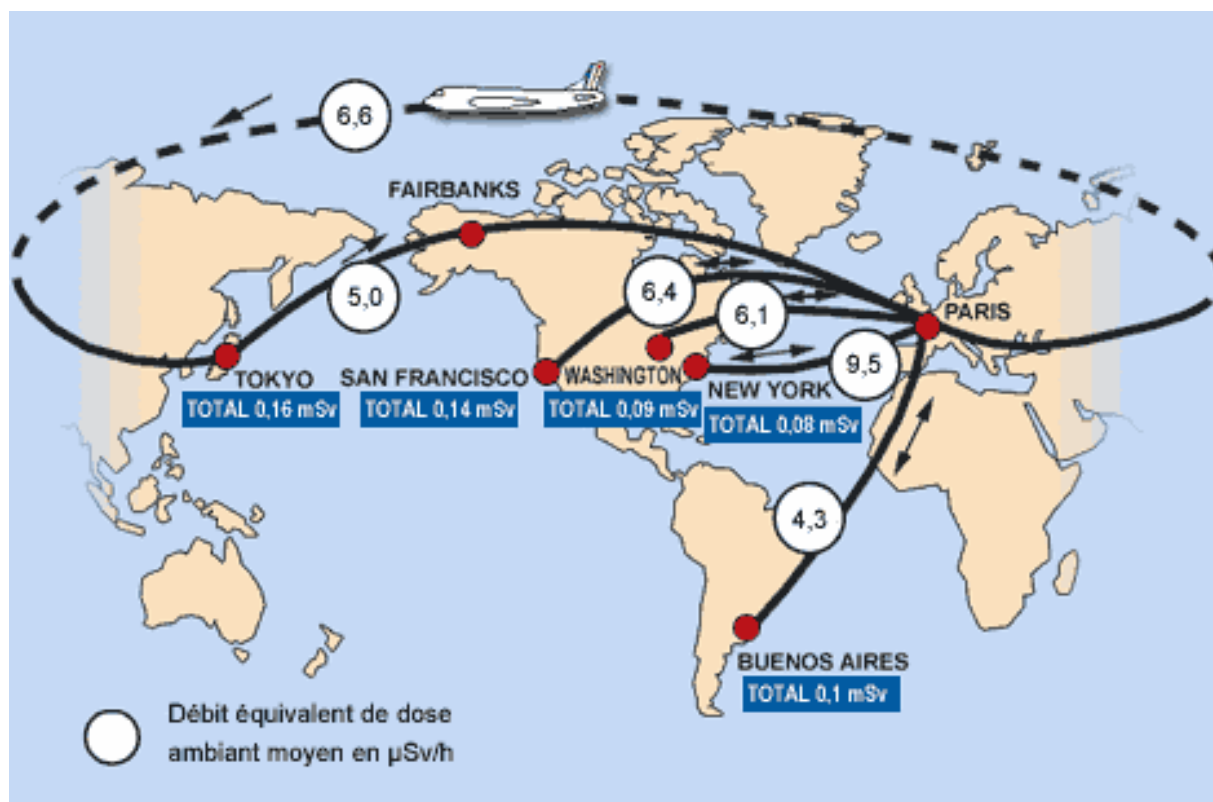
Depuis le 1^{er} juillet 2014, date d'entrée en vigueur de l'arrêté du 17 juillet 2013 relatif à la carte de suivi médical et de suivi dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants [1], c'est l'IRSN qui réalise le calcul des doses individuelles pour chaque personnel navigant, via l'application 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 juillet 2013 (Polynésie française, Nouvelle Calédonie), seul l'abonnement à l'outil SIEVERT pour le calcul des doses vols est proposé. Il appartient alors à l'employeur de cumuler les doses calculées pour les différents vols au cours d'une année par chaque PN.

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 (µSv/h). La dose totale est donnée pour un aller-retour en millisieverts (mSv). Pour le vol Paris-New York, la mesure a été effectuée en Concorde.

Source : IRSN

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

Programme de mesures permanentes en vol

L'IRSN a mis en place depuis 2013, en partenariat avec Air France, un programme de mesures en vol. Ce programme consiste à déployer des dosimètres électroniques à bord d'une vingtaine d'avions de telle sorte que, 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 α 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 α potentielle des descendants à vie courte des isotopes 222 et 220 du radon et l'activité des radionucléides émetteurs α 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^{er} 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, en se fondant sur le 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 suivi

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.

Les fonctionnalités de SISERI depuis 2014

Les employeurs sont, depuis le 1^{er} 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.

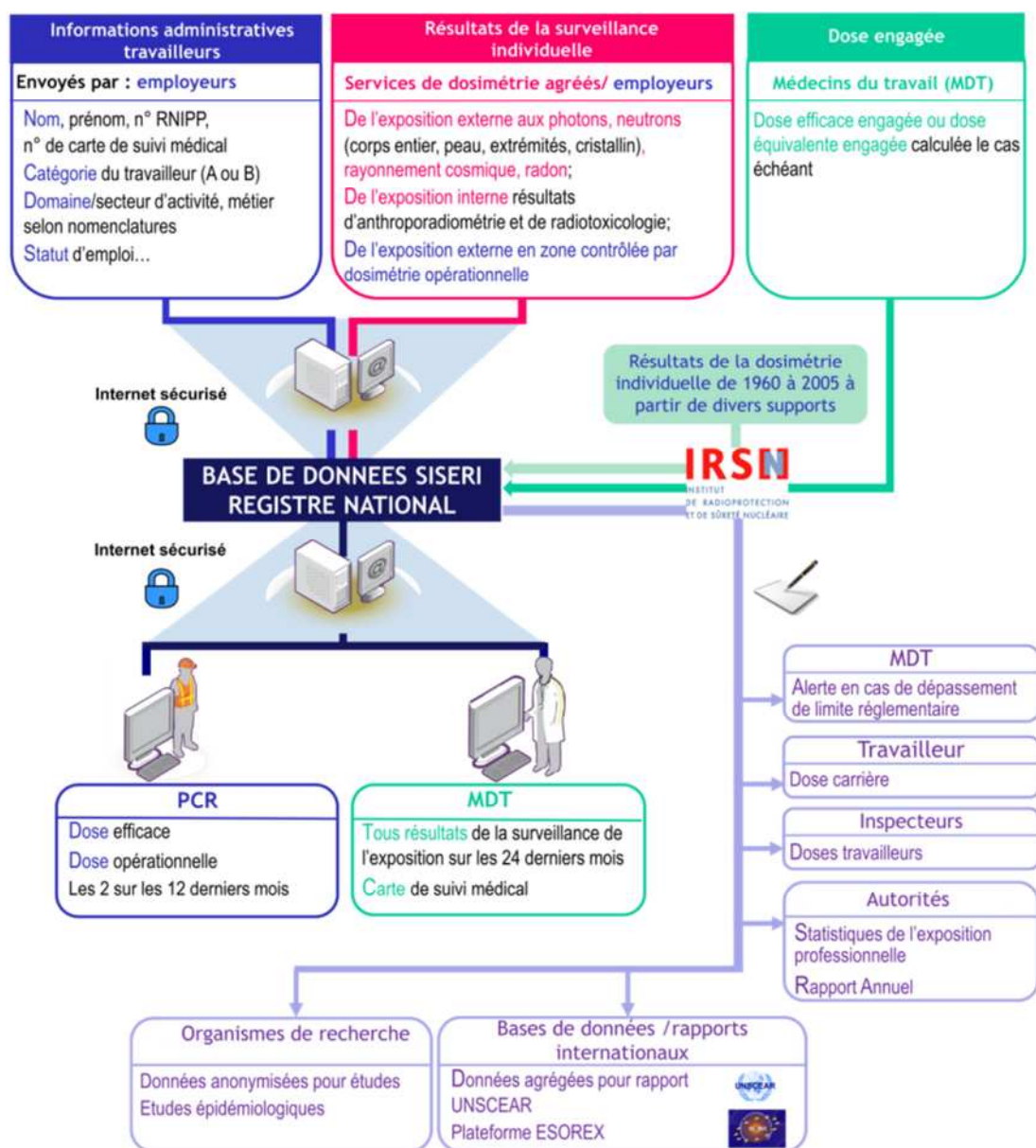


Figure 4 - Description du fonctionnement du système SISERI

Des pages de SISERI dédiées aux CSE

Le correspondant SISERI employeur (CSE) dispose de pages et de fonctionnalités 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. 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 en se fondant sur les 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 2017

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 2017
- Sur les 370 763 travailleurs ayant eu au moins une donnée enregistrée dans le système sur les 12 derniers mois, 94 % avaient leur RNIPP totalement renseigné, 52 % le métier précisé, 47 % le secteur d'activité renseigné, et 44 % leur statut d'emploi indiqué. Les informations relatives à la carte médicale étaient complètes pour 48 % d'entre eux. Le renseignement des données administratives

progresses donc mais n'est pas encore réalisé de façon exhaustive par tous les employeurs (cf. focus ci-après). Plus de 7 000 signatures de protocole ont été enregistrées en 2016 ; le nombre de CSE nommés s'élevait à 8 300 fin mars 2017, contre 7 200 fin mars 2016 et 4 300 fin mars 2015 ; la moitié des CSE sont des PCR.

- Bilan concernant les données dosimétriques à la fin mars 2017

Nombre de données transmises à SISERI en 2016

Dosimétrie externe passive	2,3 millions
Dosimétrie opérationnelle	14,7 millions
Exposition interne	88 150
Exposition au radon	6 124
Exposition au rayonnement cosmique (PN)	210 179

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 s'est légèrement améliorée par rapport à 2015 puisque 90 % 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 10 % 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.

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, la transmission des données se fait

encore trop souvent en dehors des délais prévus par la réglementation, malgré les actions entreprises par l'IRSN auprès des organismes concernés.

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 des personnels navigants

En 2016, dix compagnies aériennes ayant adhéré à SIEVERTPN ont transmis leurs données à SISERI, contre sept en 2015 et quatre en 2014.

Dosimétrie externe opérationnelle

Le nombre moyen de fichiers reçus s'élève à plus de 2 800 par mois, sans variation notable par rapport aux années précédentes. Parmi ces données, 54 % proviennent des entreprises du nucléaire, 38 % 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. Détectées 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 40).

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^{er} 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 avaient jusqu'au 1^{er} juillet 2016 pour mettre à jour les données de leurs travailleurs.

En plus des informations déjà enregistrées dans SISERI en même temps que les données dosimétriques envoyées par les organismes agréés, les employeurs doivent compléter, si besoin, le n° RNIPP des travailleurs, demander la création 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 2016, soit 6 mois après 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 est enregistré est de l'ordre de 32 000. Ces employeurs peuvent avoir de 1 à plusieurs milliers de travailleurs bénéficiant d'une surveillance individuelle : 67 % d'entre eux ont moins de 5 travailleurs suivis, 19 % de 5 à 9 travailleurs, 10 % de 10 à 49 travailleurs, 2,4 % de 50 à 99 travailleurs et 2 % ont 100 travailleurs ou plus.

Combien de protocoles d'accès à SISERI signés ?

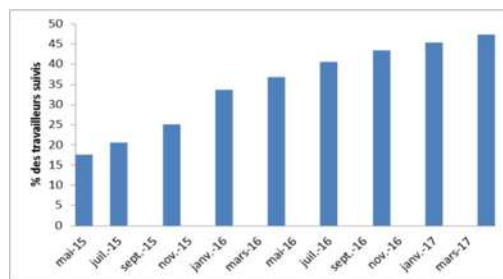
Afin de pouvoir renseigner les informations relatives aux travailleurs dans SISERI, les employeurs doivent avoir signé le protocole d'accès à SISERI et désigné un CSE. Fin 2016, les 2/3 des quelque 32 000 employeurs référencés ayant eu au moins un travailleur bénéficiant d'une surveillance sur au moins une période de l'année, n'avaient toujours pas signé de protocole d'accès à SISERI. Le tiers des employeurs ayant fait cette démarche couvre les 3/4 des travailleurs bénéficiant d'une surveillance dosimétrique. S'agissant des employeurs n'ayant pas encore signé le protocole d'accès à SISERI, 75 % d'entre eux ont moins de 5 travailleurs bénéficiant d'une surveillance dosimétrique.

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

Sur les 10 000 employeurs qui ont signé le protocole d'accès à SISERI, 70 % ont nommé au moins un CSE couvrant ainsi 70 % de l'effectif total des travailleurs suivis.

Comment progresse le renseignement par les employeurs des activités des travailleurs ?

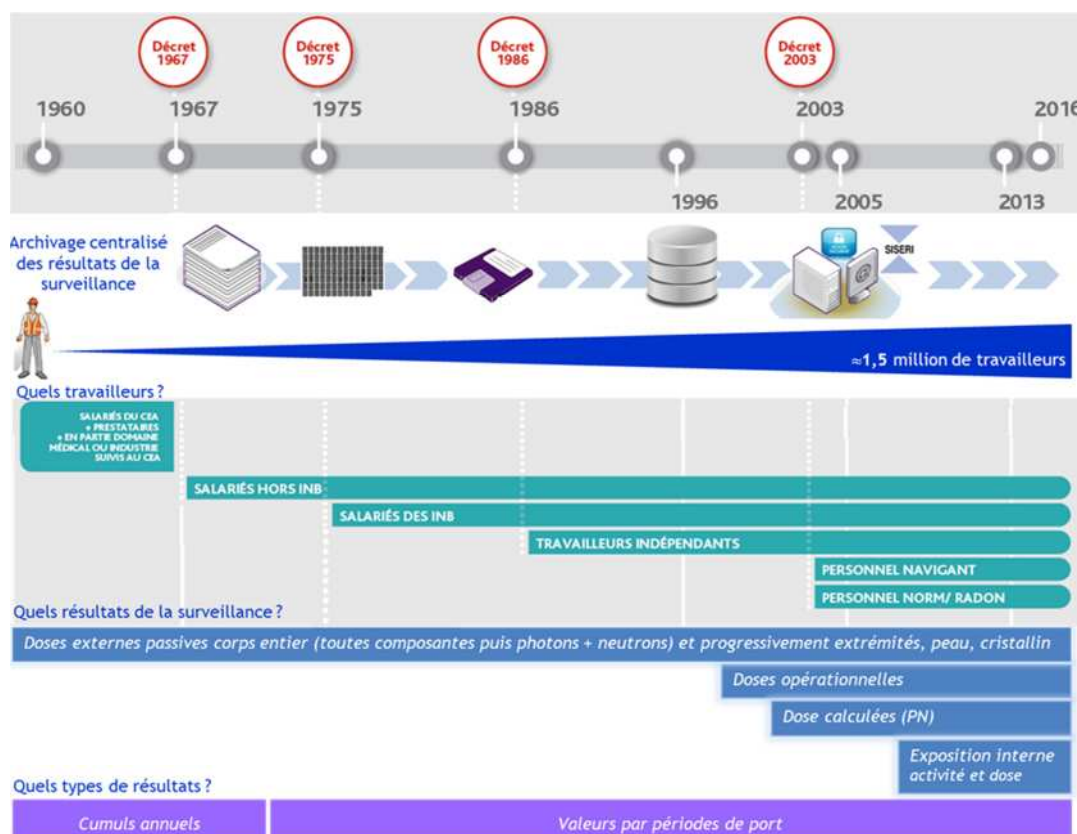
Entre mai 2015 et avril 2017, le taux de renseignement des activités pour les travailleurs ayant bénéficié d'une surveillance dosimétrique a progressé de 17% à 47% (figure ci-dessous) ; ce qui reste encore très éloigné des objectifs fixés par l'arrêté de 2013 qui visait un renseignement total au 1^{er} Juillet 2016.



Evolution entre 2015 et 2017 du pourcentage des travailleurs suivis dont l'activité a été renseignée par l'employeur dans SISERI.

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 R.4451-125 du code du travail, centralise, vérifie et conserve les résultats des mesures individuelles de l'exposition des travailleurs.



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 lesquels 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. Au début 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.

La consultation des données de SISERI en 2016

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 2016, 3 900 MDT et 7 700 PCR avaient accès à SISERI.

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 2016, l'IRSN a rendu 8 avis ou compléments d'avis sur l'adéquation des matériels et méthodes avec la surveillance individuelle des travailleurs d'organismes en charge de la surveillance de l'exposition interne des travailleurs.

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 achevée au premier trimestre 2016. L'analyse a montré que la très grande majorité des résultats était conforme aux exigences de la norme ISO 14146 [4].

Intercomparaison d'analyses radiotoxicologiques

Le Laboratoire d'Analyses Médicales et Radiotoxicologiques (LAMR) de l'IRSN organise tous les ans une intercomparaison sur des échantillons urinaires contenant un ou plusieurs radionucléides à une activité déterminée. En 2016, une intercomparaison a été organisée avec 7 laboratoires français de radiotoxicologie, portant sur le dosage de 8 radionucléides émetteurs beta ou gamma à mesurer à différents niveaux d'activité.

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

- aux valeurs cibles des radionucléides introduits dans chaque échantillon et/ou à la moyenne

robuste des participants, par l'intermédiaire de scores statistiques (Z et zêta) comme recommandé selon la norme ISO 13528 [5],

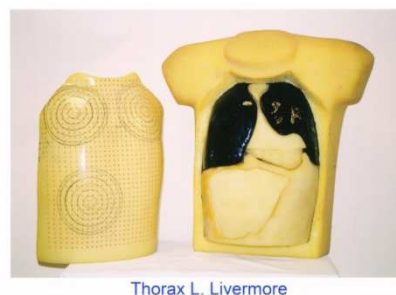
- à la plage [- 25 % à + 50 %] par rapport à la valeur cible, tel que recommandé par la norme ISO 12790-1 [6].

Le LAMR a rendu 130 scores de performance pour les 75 résultats fournis par les laboratoires. La synthèse des résultats indique que, par grandeur mesurée, 3,1 % des résultats étaient non conformes, 4,6 % des résultats étaient discutables et 92,3 % des résultats étaient conformes.

Intercomparaison de mesures anthroporadiométriques

En 2016, l'IRSN a lancé une nouvelle campagne d'intercomparaison concernant la mesure anthroporadiométrique pulmonaire. Cette intercomparaison concerne 13 laboratoires (dont 6 laboratoires étrangers). Les mesures sont à réaliser à l'aide du fantôme anthropomorphe LIVERMORE (Figure 5). Les radionucléides ciblés sont les suivants : le plutonium 239 et l'uranium naturel.

Une intercomparaison consacrée aux mesures anthroporadiométriques thyroïdiennes est programmée courant 2017



Thorax L. Livermore

Figure 5 - Fantôme anthropomorphe pulmonaire LIVERMORE

ESTIMATION DE LA DOSE INTERNE

L'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. Lorsque les éléments disponibles le permettent, les doses efficaces engagées sont estimées.

A la demande des médecins du travail, dix travailleurs ont fait l'objet en 2016 d'une estimation de la dose interne par l'IRSN. Les résultats de ces calculs de dose ont été transmis au médecin du travail qui a la responsabilité de l'estimation de la dose efficace engagée.

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 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 6).

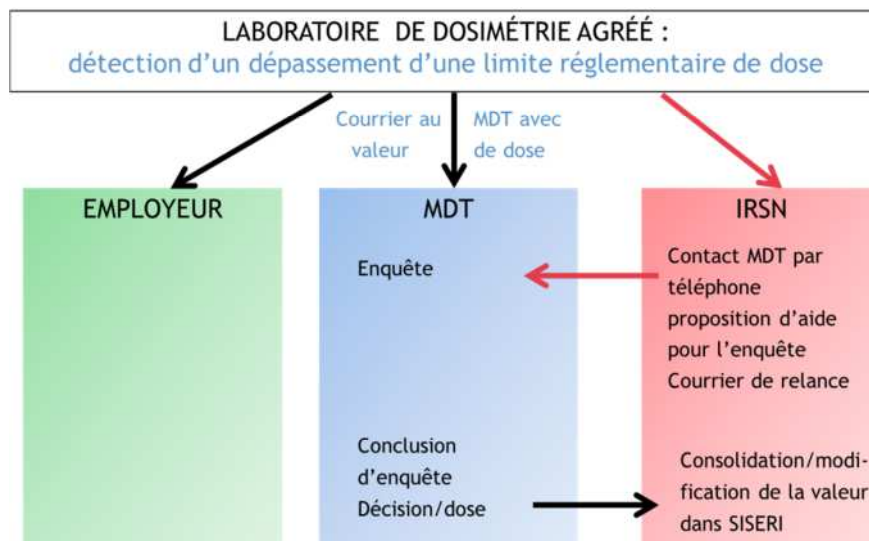


Figure 6 - Traitement des alertes de dépassement d'une limite annuelle réglementaire

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

L'IRSN peut être sollicité pour participer à des reconstitutions des doses externes, notamment suite à des contaminations à la peau. Ces reconstitutions sont 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).

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

L'IRSN est régulièrement sollicité par les médecins du travail ou les personnes compétentes en radioprotection pour ses capacités de mesure in vivo et in vitro de contamination interne.

L'IRSN peut mobiliser ses laboratoires fixes ou mobiles d'anthroporadiométrie et le Laboratoire d'Analyses Médicales Radiotoxicologiques (LAMR).

En 2016, l'IRSN a ainsi réalisé 740 examens anthroporadiométriques, 240 sur site du Vésinet et 500 hors Ile-de-France, avec ses laboratoires mobiles (LMA).

- Les travailleurs suivis sur site du Vésinet étaient principalement issus du secteur industriel et des services hospitaliers de médecine nucléaire, respectivement 45 % et 32 %. Sur les 240 examens réalisés, il y a eu 35

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 réalisé huit campagnes de mesures avec ses LMA (Figure 7), en réponse aux demandes de 11 établissements, relevant essentiellement du domaine médical. Sur l'ensemble des examens réalisés (relevant très majoritairement de la surveillance de contrôle), 33 étaient positifs : 4 à l'iode 131, 1 à l'iode 125, 26 au technétium 99m, 1 au fluor 18, et 1 à l'indium 111. Les bilans des campagnes ont permis à plusieurs établissements de revoir certaines pratiques aux postes de travail.



© Noak/Le bar Floréal/IRSN

Figure 7 - Vues du laboratoire mobile d'anthroporadiométrie LMA

Concernant les examens radiotoxicologiques, l'année 2016 a été marquée par l'augmentation du nombre de prestations proposées par le LAMR de l'IRSN pour y intégrer des radionucléides utilisés en recherche, en thérapeutique et en radiodiagnostic

comme par exemple le radium 223, les isotopes du rubidium, du strontium et de l'iode 124. De plus, la technique de mesure pondérale de l'uranium 238 a été optimisée afin de proposer une limite de détection plus basse, elle est égale à 50 ng/L.

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

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) a été publiée en 2015 par l'IRSN :

http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/radioprotection/IRSN_guide_etude_poste_travail_V4-102015.pdf.

Ce guide fournit également une aide pour la délimitation des zones réglementées dans

l'environnement de travail concerné. Le guide est accompagné de fiches expliquant comment la méthode se décline pour des domaines d'activité particuliers. A ce jour, seul le domaine médical a fait l'objet de fiches spécifiques.

Cette 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).

TRAVAUX DE L'IRSN EN LIEN AVEC L'EXPOSITION POTENTIELLE DE TRAVAILLEURS NON CLASSES SUITE AUX ACTIVITES DES SERVICES DE MEDECINE NUCLÉAIRE

Depuis une dizaine d'années, l'IRSN participe en tant qu'expert technique à des groupes de travail sur la radioprotection des travailleurs non classés, ne bénéficiant donc pas d'une surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants. Les travaux ont notamment concerné des travailleurs soumis à des expositions du fait des activités des services de médecine nucléaire : prise en charge de patients sortant d'une unité de médecine nucléaire, collecte et assainissement des effluents issus de médecine nucléaire, prise en charge de la dépouille radioactive d'un patient décédé après un traitement de médecine nucléaire. L'enjeu est d'évaluer les expositions des travailleurs concernés et de définir les méthodes et outils de prévention.

- La prise en charge de patients sortant d'une unité de médecine nucléaire fait l'objet d'une fiche radioprotection de l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) réalisée par un groupe de travail auquel l'IRSN a activement participé⁶. Cette fiche fournit des éléments de radioprotection pour la prise en charge, par un service ou entité autre qu'une unité de médecine nucléaire, d'un patient ayant bénéficié d'un traitement ou d'un examen mettant en œuvre des radionucléides.
- Les effluents issus des activités de médecine nucléaire sont collectés puis,

après stockage pour décroissance radioactive, déversés dans les réseaux d'assainissement. Ils constituent donc une source d'exposition des travailleurs de ces réseaux (dans les égouts et dans les stations de traitement des eaux usées). L'ASN a mis en place un groupe de travail national rassemblant toutes les parties prenantes : gestionnaires de réseaux d'assainissement, administrations centrales et autorités de contrôle, médecins nucléaires et experts de l'IRSN. En relation avec les travaux de ce groupe, l'IRSN a développé une méthode innovante pour l'estimation de l'impact des activités de médecine nucléaire sur les travailleurs de réseaux d'assainissement et des stations de traitement des eaux usées. Il s'agit d'un outil simple d'utilisation fondé sur une méthode graduée dont les résultats sont facilement applicables : le modèle CIDRRE (Calcul d'Impact des Déversements Radioactifs dans les REseaux). Sur la base d'hypothèses raisonnablement prudentes, CIDRRE estime les doses reçues pour six postes de travail représentatifs, dans les égouts à proximité de l'émissaire de l'établissement rejetant les radionucléides, dans la station de traitement des eaux usées et lors de l'évacuation et l'épandage des boues. Le modèle CIDRRE dans sa version 1.0 a été développé pour une cinquantaine de radionucléides utilisés en médecine nucléaire. Ce modèle a été

⁶ Fiche radioprotection ED 4242. Médecine nucléaire, Prise en charge des patients sortant d'une unité de médecine nucléaire.

particulièrement optimisé pour le technétium 99, l'iode 131 et le fluor 18. Il pourra être étendu aisément par l'IRSN à d'autres radionucléides si nécessaire. Le modèle CIDRRE sera bientôt mis à disposition gratuitement sur le site internet de l'IRSN pour les unités de médecine nucléaire et pour les gestionnaires de réseaux d'assainissement. Il permettra aux premiers d'estimer l'impact de leurs déversements et aux seconds de vérifier que leurs salariés ne reçoivent pas des doses supérieures à 1 mSv/an.

- Concernant la prise en charge d'une dépouille radioactive, l'IRSN a évalué, sur la base de scénarios définis avec l'aide des professionnels du domaine funéraire, les risques d'exposition du fait des soins au corps, du transport de la dépouille et de sa

crémation. Les calculs effectués par l'IRSN pour un large panel de radionucléides permettent d'identifier une majorité d'actes de médecine nucléaire qui ne posent pas de problème de radioprotection en cas de décès du patient ; ce sont notamment tous les actes diagnostiques. En revanche, la prise en charge de la dépouille d'un patient décédé très peu de temps après administration d'une dose thérapeutique, notamment d'iode 131, pourrait conduire à des expositions significatives. La gestion de la situation devrait alors être réalisée au cas par cas en s'appuyant sur les compétences et les moyens (de mesure notamment) du service de médecine nucléaire mais également en se fondant sur les calculs réalisés par l'IRSN.

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

Comme les années précédentes ([7] à [20]), ce bilan est établi à partir des données de la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs transmises à l'IRSN par les différents

organismes agréés de dosimétrie enregistrée dans SISERI, mais également des synthèses annuelles demandées à ces organismes en vue de l'établissement de ce rapport.

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

Tout porteur d'au moins un dosimètre entre le 1^{er} janvier et le 31 décembre 2016 est compté dans l'effectif suivi par chaque laboratoire.

Le bilan des expositions professionnelles pour l'année 2016 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 sont analysées selon quatre grands domaines d'activité : activités médicales et vétérinaires, nucléaire, industrie non nucléaire, recherche. Chaque domaine regroupe les activités

civiles et de défense. Il est précisé 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 données dosimétriques sur le cristallin.

Le bilan réalisé est une « photographie » de la situation au moment de l'envoi des synthèses annuelles 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 35).

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 classes de dose

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 fondent 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.

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. Depuis 2009, le bilan annuel est établi en tenant compte de la répartition des travailleurs suivis selon une nomenclature unique proposée par l'IRSN en 2008 et désormais figée par l'arrêté du 17 juillet 2013 (Annexe VI). Cependant,

l'utilisation de cette nomenclature reste toujours incomplète, notamment pour le domaine de l'industrie non nucléaire et parfois trop peu rigoureuse.

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 des données à partir du seul système SISERI ?

L'entrée en vigueur de l'arrêté du 17 juillet 2013 devrait permettre d'intégrer directement dans SISERI 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, l'établissement du bilan à partir du seul système SISERI permettra

d'éviter qu'un même travailleur ne soit compté autant de fois qu'il est suivi par un laboratoire différent au cours de l'année.

Le nombre de travailleurs suivis en 2016 établi à partir des données communiquées par chaque laboratoire s'élève à 372 262 travailleurs. L'extraction des données de SISERI dénombre 360 973 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 21),

- pour 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 2016, 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 2016. 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 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 radiotoxologique 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 29).

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 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. 57
Bilan 2016	
Evolution sur la période 1997 - 2016	
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	p. 60
Répartition des événements entre les domaines d'activité	
Evolution sur la période 2006 - 2016	



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'activité. 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 1,8 % par rapport à l'année 2015.

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 24 % contre 23 % en 2015. Au total, ce sont 89 067 travailleurs qui ont reçu au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement en 2016 contre 85 783 en 2015. la dose collective a augmenté de 2 % entre 2015 et 2016, passant de 61,9 homme.Sv à 63,2 homme.Sv.

Finalement, la dose individuelle annuelle moyenne calculée pour l'effectif exposé en 2016 (0,71 mSv) est proche de celle de 2015 (0,72 mSv).

- **372 262** travailleurs suivis

- Dose collective annuelle :

63,2 homme.Sv

- Dose individuelle annuelle moyenne

calculée sur l'effectif exposé :

0,71 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 représentent, en 2016, 2,4 % de l'effectif total

suivi, contre 2,5 % en 2015 avec une contribution à la dose collective à hauteur de 0,8 %, chiffre quasiment identique à celui de 2015 puisque cette contribution était de 0,9 %.

La répartition des effectifs entre domaines est relativement stable par rapport à 2015. Le domaine des activités médicales et vétérinaires compte plus de 61 % de l'effectif total suivi, contre

20 % pour l'industrie nucléaire, 10 % pour l'industrie non nucléaire et 3 % pour le domaine de la recherche et de l'enseignement.

S'agissant de la dose collective, le domaine nucléaire contribue à lui seul à hauteur de 45 % en

2016. Les activités médicales et vétérinaires participent pour 25 % et les activités du domaine industriel non nucléaire en recouvrent 28 %. Ces chiffres sont globalement stables par rapport à 2015.

Tableau 4 - Surveillance de l'exposition externe dans les activités soumises à un régime d'autorisation ou de déclaration - année 2016

Domaine d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total ^(a) (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(b) (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Activités médicales et vétérinaires	227 980	15,51	0,07	0,33	181 576	43 859	2 235	274	33	3	0
Nucléaire ^(c)	75 576	28,52	0,38	1,15	50 832	17 399	6 028	1 192	124	1	0
Industrie non nucléaire	38 127	17,79	0,47	1,36	25 054	8 956	3 055	922	139	0	1
Recherche et enseignement ^(d)	11 635	0,41	0,04	0,24	9 901	1 691	41	2	0	0	0
Autres ^(e)	18 944	0,97	0,05	0,31	15 832	2 944	156	11	0	1	0
Total	372 262	63,20	0,17	0,71	283 195	74 849	11 515	2 401	296	5	1

(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 1,36 mSv et

1,15 mSv. Pour mémoire, les valeurs en 2015 se situaient à 1,38 mSv et 1,17 mSv. Concernant les activités médicales et vétérinaires, la dose individuelle moyenne est également stable en 2016, à 0,33 mSv contre 0,34 mSv en 2015 et 0,38 mSv en 2014.

FOCUS

L'exposition des jeunes travailleurs en 2016

Parmi les 574 jeunes travailleurs (*i.e.* nés en 1998, 1999 ou 2000) ayant au moins une valeur de dose enregistrée dans SISERI en 2016, on compte 125 dont la dose individuelle annuelle est supérieure ou égale à 0,05 mSv, plus faible seuil d'enregistrement des dosimètres. Leur dose individuelle annuelle moyenne est de 0,14 mSv. Parmi ces 125 jeunes travailleurs exposés, 47 % suivaient un cursus d'enseignement professionnel sans que soit connu leur domaine d'activité, 24 % suivaient un cursus avec des applications médicales ou vétérinaires et 29 % un cursus dans le domaine des activités nucléaires. La dose individuelle annuelle maximale enregistrée est de 0,75 mSv pour un jeune travailleur employé dans le secteur des réacteurs de production d'énergie.

Analyse de la répartition des effectifs par classes de dose

Sur l'ensemble de l'effectif suivi, le bilan de l'exposition 2016 montre que la grande majorité des travailleurs n'a reçu aucune dose (76 % de l'effectif tous domaines confondus), dans des proportions différentes selon les domaines d'activité, comme le montre la Figure 8. La part de l'effectif est plus importante dans les domaines industriels (nucléaire et non nucléaire) où le personnel est d'une manière générale plus spécialisé et intervient dans une ambiance radiologique plus contraignante que celle des autres domaines.

Parmi les 24 % de travailleurs exposés (tous domaines confondus), c'est-à-dire ceux pour lesquels au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement a été enregistrée en 2016, soit 89 067 travailleurs, il apparaît que 84 % sont exposés à moins de 1 mSv. Par ailleurs, pour 96 % de la population des travailleurs suivis, la dose est inférieure à 1 mSv.

La répartition par classe de dose (cf. Figure 9) montre une grande similitude avec celle observée en 2015 : l'effectif exposé entre 1 et 5 mSv est de 11 515 travailleurs soit 13 % de l'effectif total exposé (13,4 % en 2015) 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 2 703 travailleurs, représentant 3 % de l'effectif total exposé, comme en 2015. Il provient très majoritairement (88 %) des deux domaines de l'industrie nucléaire et non nucléaire. Au total, ce sont 97 travailleurs de plus qu'en 2015 qui ont dépassé les 5 mSv.

La dose individuelle maximum enregistrée en 2016 s'élève à 65,2 mSv et concerne un travailleur du domaine de l'industrie non nucléaire. C'est le seul cas de dépassement de la limite réglementaire (20 mSv) enregistré en 2016.

Contribution des neutrons

En 2016, l'effectif suivi pour l'exposition aux neutrons est à nouveau en très légère hausse par rapport à l'année précédente, avec 54 355 travailleurs (vs 53 105 travailleurs en 2015), soit 14,6 % de l'effectif total suivi. La dose collective « neutrons » est de 1,92 homme.Sv, en légère baisse par rapport à 2015 (1,98 homme.Sv). La dose collective due aux neutrons représente 3 % de la dose collective totale (toutes composantes de rayonnements confondues).

La répartition par domaine d'activité est proche de celle observée les années précédentes : 68 % des

effectifs suivis pour leur exposition aux neutrons appartiennent au domaine nucléaire, et contribuent à la dose collective à hauteur de 97 % (Figure 10).

Les effectifs suivis dans l'industrie non nucléaire et la recherche représentent respectivement 18 % et 6 % de l'effectif total, avec des contributions à la dose collective totale respectivement de 2 % et 0,5 %.

Les effectifs suivis dans le domaine médical poursuivent une baisse déjà observée en 2014 et 2015, et représentent 4 % de l'effectif total.

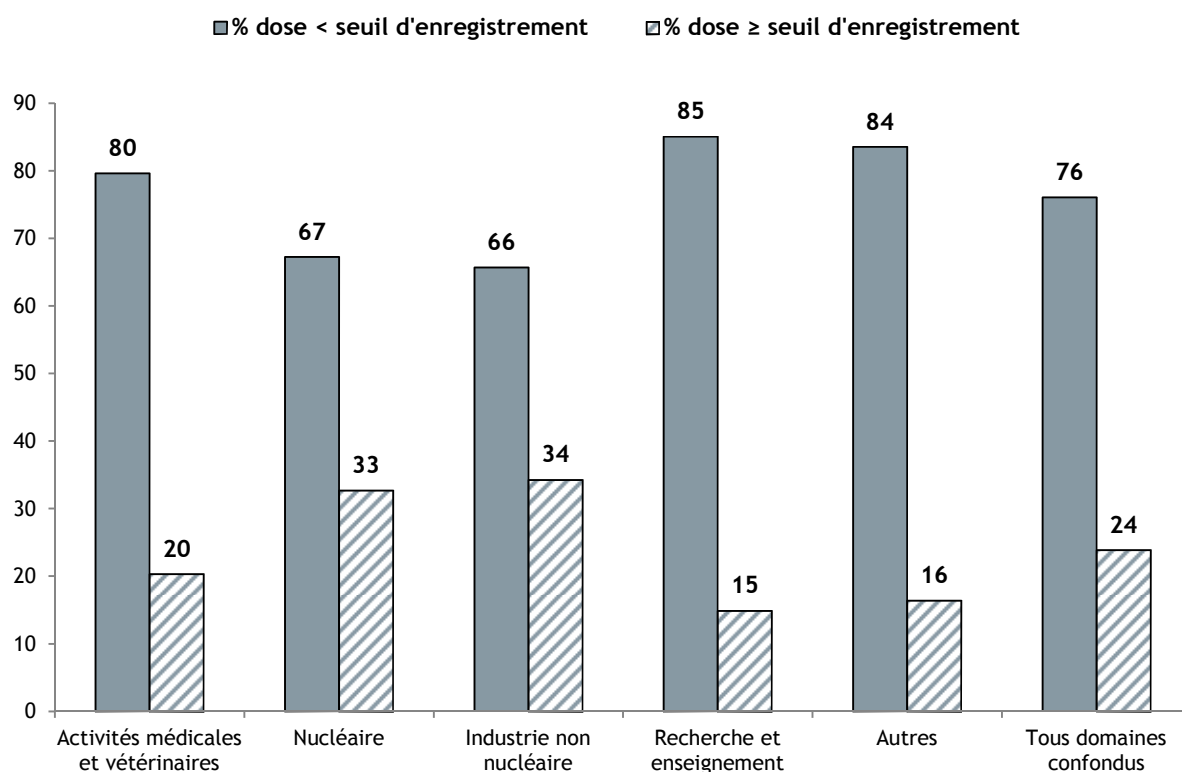


Figure 8 - Répartition (en pourcentage) des effectifs suivis par rapport au seuil d'enregistrement de la dose en 2016

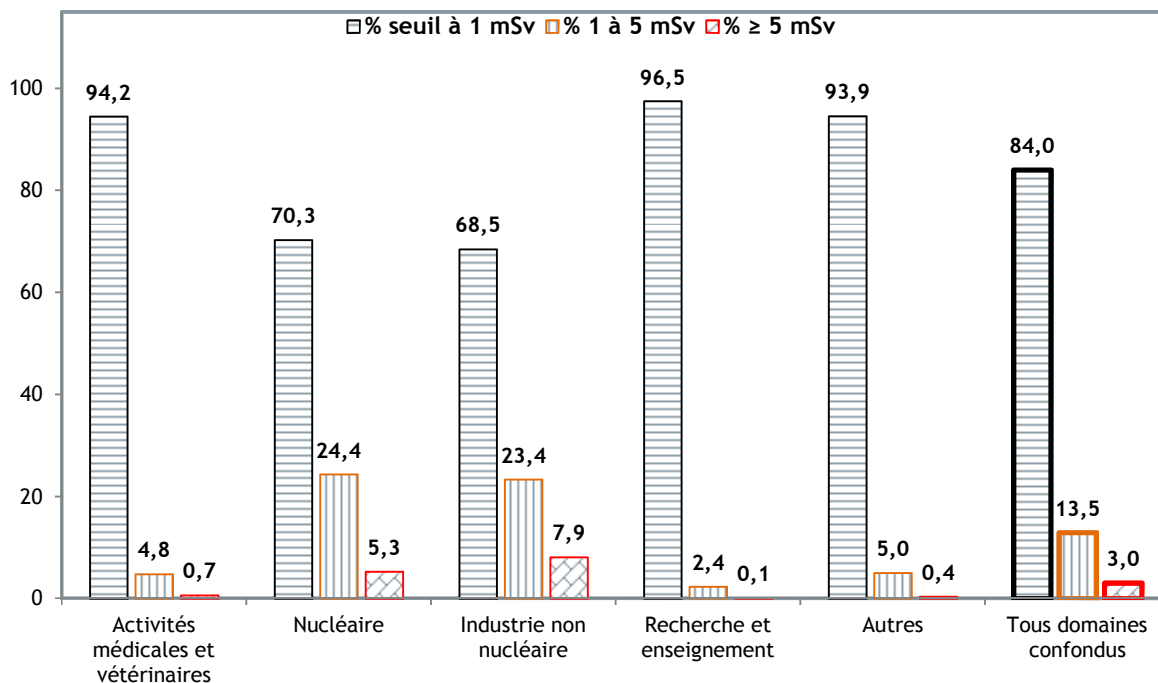


Figure 9 - Répartition (en pourcentage) de l'effectif exposé en fonction de différentes classes de dose efficace en 2016

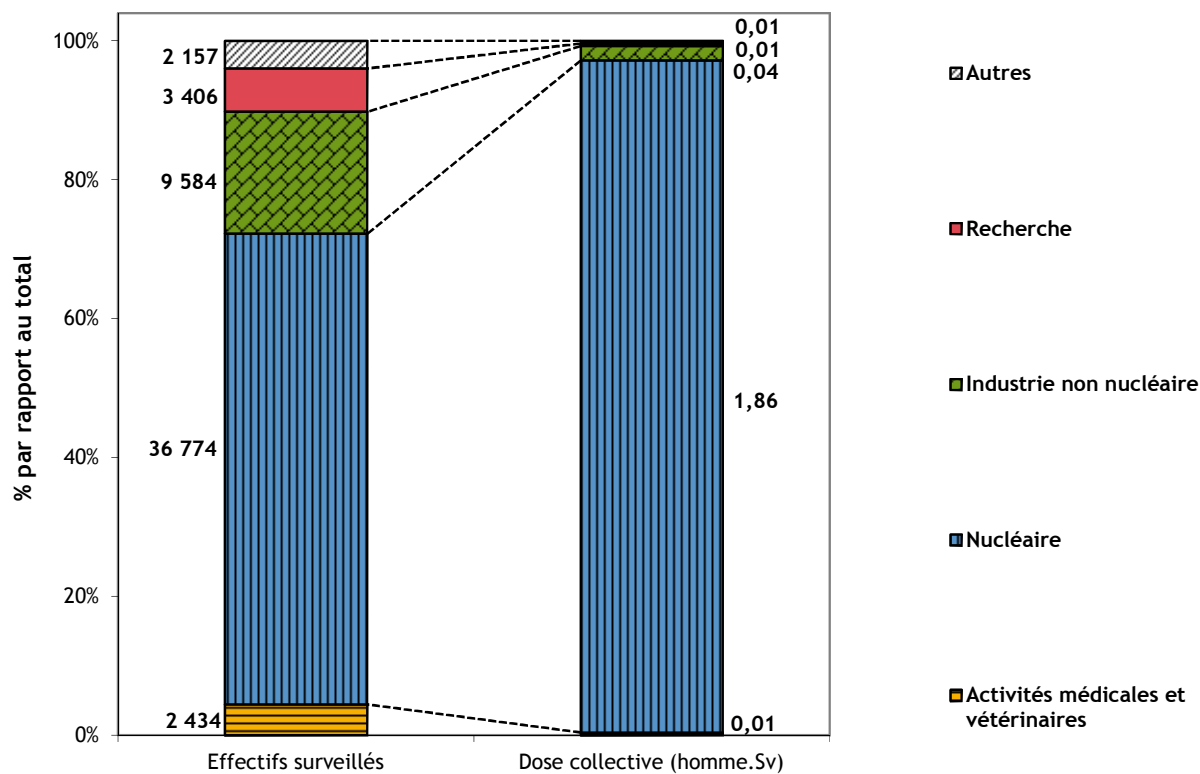


Figure 10 - Répartition des effectifs suivis et des doses collectives pour la dosimétrie des neutrons en 2016

Evolution de la dose externe sur la période 1997-2016

Exposition externe totale (photons et neutrons)

La Figure 11 présente l'évolution des effectifs suivis et de la dose collective entre 1997 et 2016.

Sur cette période, l'effectif total suivi est passé de 231 728 à 372 262 travailleurs, soit une augmentation de plus de 60 %. De 1997 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 23) et enfin d'une meilleure disponibilité de l'information sur cette surveillance. Depuis 2008, l'augmentation des effectifs observée indique une réelle progression du nombre de travailleurs suivis, et non plus

l'intégration progressive des données de tous les laboratoires dans le bilan comme ce fut le cas en 2005 et 2007. Hormis une légère diminution observée en 2013, le nombre de travailleurs n'a pas cessé de croître depuis l'année 2003.

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, les doses collectives enregistrées en 2015 et 2016 (respectivement 61,9 et 63,2 homme.Sv) reviennent dans la fourchette des valeurs observées entre 2009 et 2012.

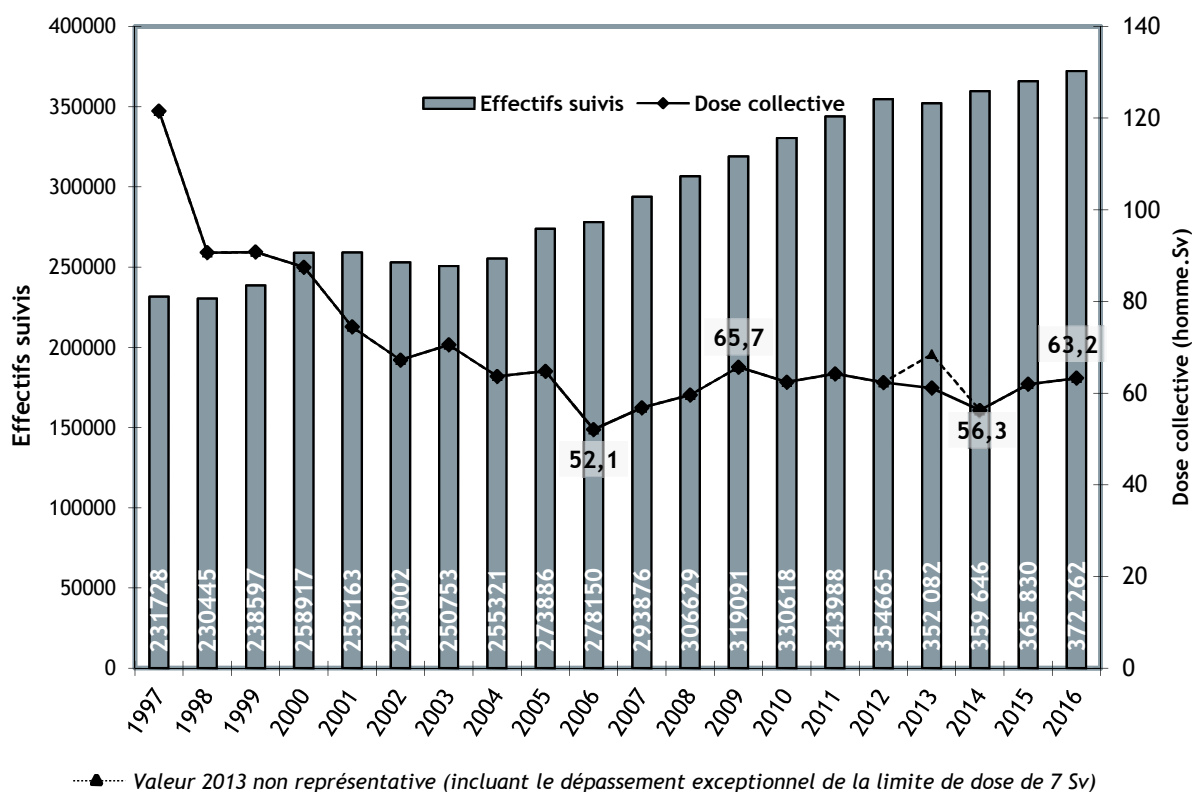


Figure 11 - Evolution des effectifs suivis et de la dose collective (photons + neutrons) de 1997 à 2016

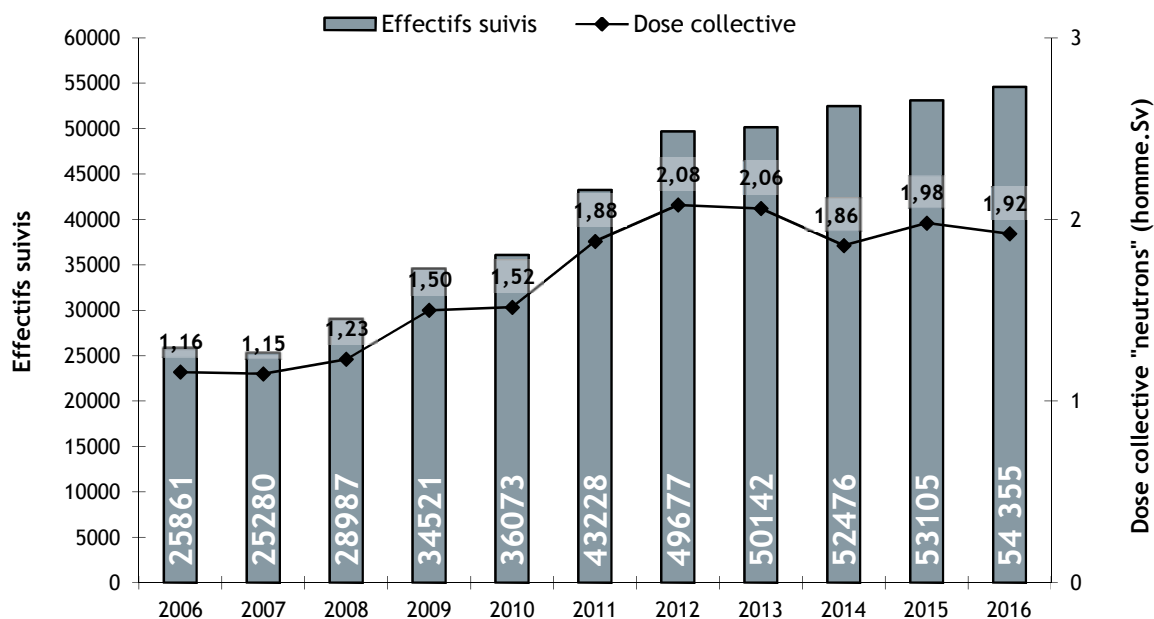


Figure 12 - Evolution des effectifs suivis et de la dose collective « neutrons » de 2006 à 2016

Contribution des neutrons

Comme pour l'exposition externe totale (photons et neutrons) décrite précédemment, l'année

2016 marque une légère augmentation des effectifs ayant un suivi dosimétrique pour les neutrons (2,4 %) mais une légère baisse de la dose collective de 3 % (cf. Figure 12).

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2016, 28 672 travailleurs ont bénéficié d'une surveillance de l'exposition aux extrémités (port de dosimètre « bague » ou dosimètre « poignet »), soit 7,7 % de l'effectif total suivi. La dose totale enregistrée pour ces porteurs est de 136,2 Sv et la dose individuelle annuelle moyenne se situe à 4,8 mSv.

Le nombre des travailleurs bénéficiant d'un suivi dosimétrique au niveau des extrémités ne cesse de croître depuis 2012. En 2015, 28 070 travailleurs avaient été suivis, avec une dose totale s'élevant à 136,8 Sv.

La Figure 13 illustre la répartition des doses enregistrées aux extrémités en 2016 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 précédentes, 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 25 % de l'effectif total suivi pour une contribution à la dose totale de 22 %. L'industrie non nucléaire et la recherche comptent respectivement 10 % et 5 % de l'effectif total suivi (tous deux stables par rapport à 2015) et contribuent à la dose collective à hauteur de 5,0 % (légère hausse) et 1,7 % (stable).

La dose maximale est de 800 mSv, enregistrée pour un travailleur du domaine médical dans le secteur

de la radiologie et correspond à un des deux dépassements de la limite réglementaire de dose équivalente (500 mSv) enregistrés en 2016 aux

extrémités. Le second cas de dépassement est lié à une dose de 568 mSv pour un travailleur du même secteur d'activité.

Répartition entre dosimètres « bague » et dosimètres « poignet »

La situation observée en 2016 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 18 452, soit 64,4 % de l'effectif total (vs 62 % en 2015).

Mais la répartition entre les deux types de dosimétrie évolue différemment suivant les domaines d'activité (cf. Figure 14). Dans le nucléaire, la forte augmentation de la proportion des dosimètres bague observée de 2008 à 2010 ne s'est pas poursuivie : la proportion des dosimètres bague se situe en peu au-dessus de 20 % en 2016.

Concernant les activités médicales et vétérinaires, la progression de la dosimétrie par bague se poursuit, passant à 83 % de l'effectif suivi aux extrémités en 2016 (contre 81 % en 2015). En 2016, la proportion des dosimètres « bague » dans l'industrie non nucléaire est identique à celle de 2015 à 61 %. Après une diminution de la proportion des dosimètres bague par rapport aux dosimètres poignet notée jusqu'en 2010, puis une augmentation jusqu'en 2015, les bagues représentent 64 % des dosimètres extrémités utilisés dans le domaine de la recherche.

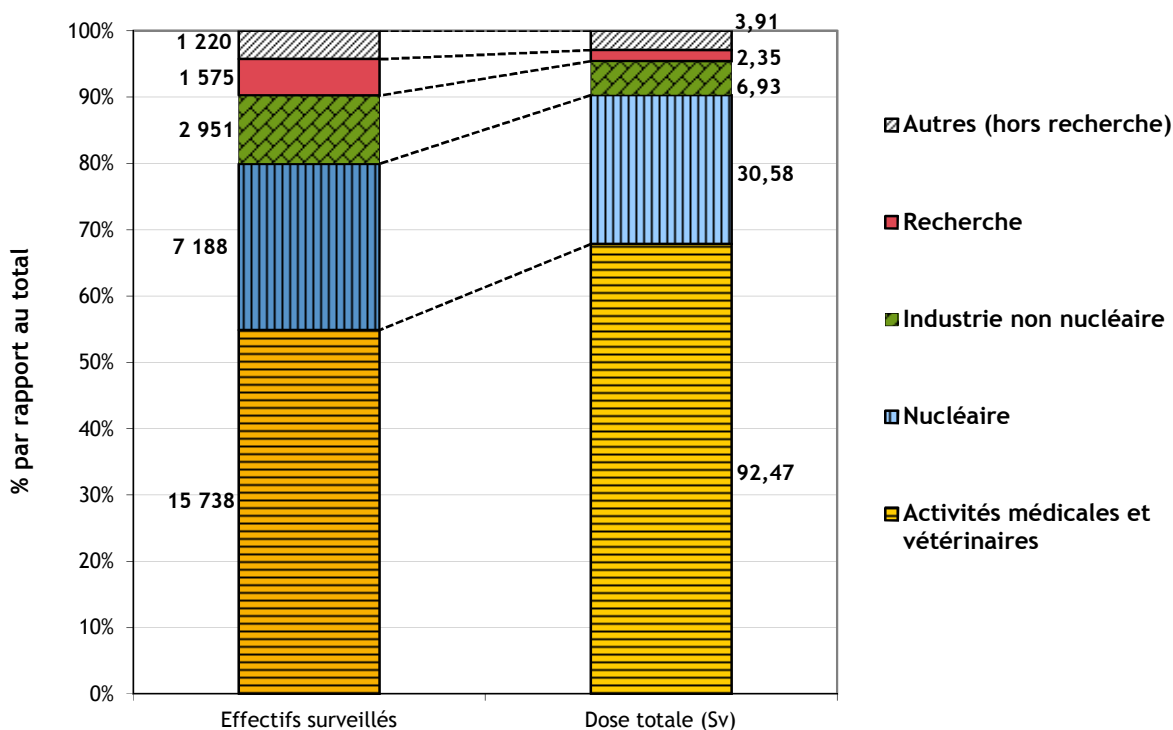


Figure 13 - Répartition des effectifs suivis et des doses enregistrées aux extrémités en 2016

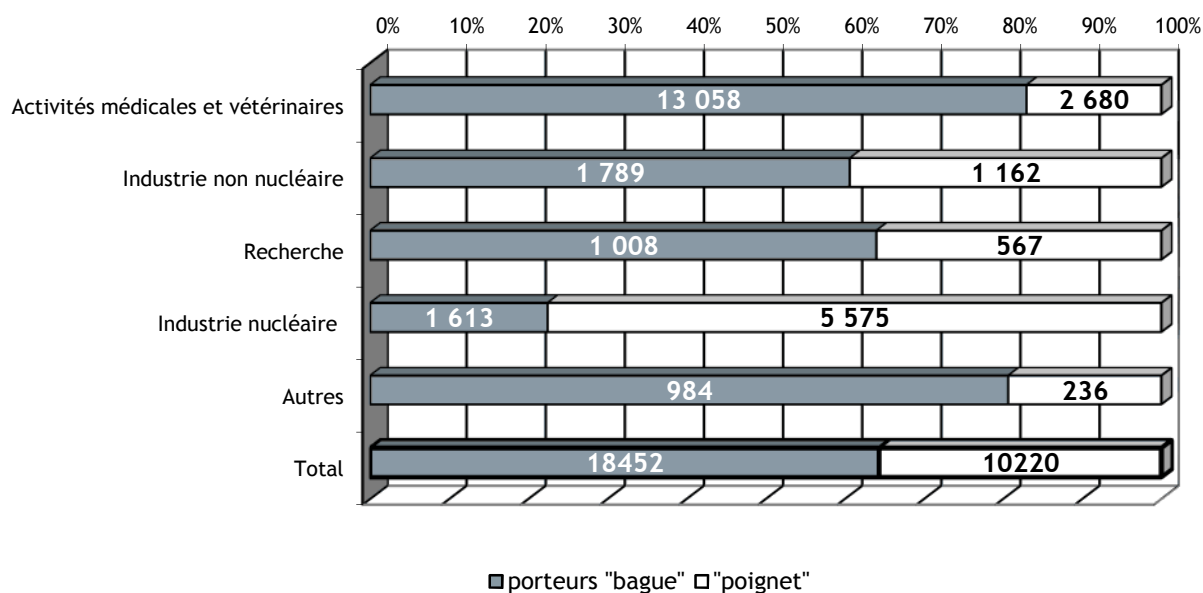


Figure 14 - Importance relative de la surveillance de l'exposition aux extrémités par dosimétrie par bague ou au poignet en 2016, suivant les domaines d'activité

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

Pour la deuxième année consécutive, ce rapport présente des données relatives à la surveillance de l'exposition du cristallin (cf. page 16). Elles concernent, en 2016, vingt fois plus de personnes qu'en 2015 avec un effectif total de 4 431 personnes contre 200 personnes en 2015. La dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé est de 0,94 mSv en 2016 contre 0,63 mSv en 2015. La dose totale est de 674,8 mSv dont 81 % pour le domaine des activités médicales et vétérinaires (cf. Figure 15) contre 74 % en 2015. 179 travailleurs ont reçu plus de 1 mSv. La dose individuelle maximale enregistrée est de 21,8 mSv (5,05 mSv en 2015) et concerne le domaine des utilisations médicales. Ce dernier chiffre est à mettre en regard de la future limite

réglementaire de dose au cristallin de 20 mSv (cf. Tableau 1).

Après le domaine des activités médicales et vétérinaires, c'est le domaine de l'industrie non nucléaire qui présente l'effectif le plus important avec 12 % de l'effectif total soit 534 personnes en 2016 et une contribution de 14 % à la dose totale. Dans le domaine du nucléaire, la dose totale enregistrée contribue à hauteur de 2 % alors que l'effectif représente 3 % de l'effectif total. La dose collective enregistrée sur les autres domaines n'est pas significative (faible effectif), mais il en ressort néanmoins quelques doses individuelles annuelles notables dont une dose de 7 mSv sur une installation de recherche liée au nucléaire.

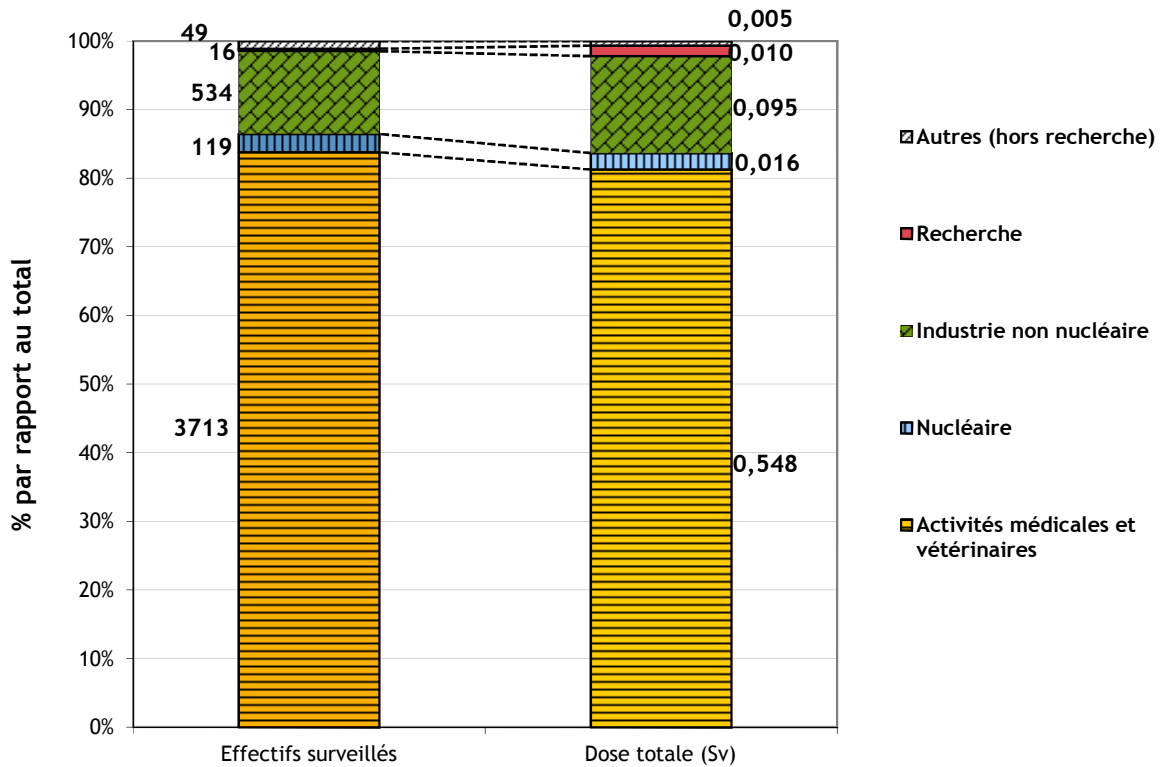


Figure 15 - Répartition des effectifs suivis et des doses au cristallin enregistrées en 2016

BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

SURVEILLANCE DE ROUTINE, DE CHANTIER ET DE CONTROLE

Le nombre total d'analyses réalisées dans le cadre de la surveillance de routine en 2016, tous types confondus, s'élève à 275 659 (contre 279 877 en 2015). Cette apparente stabilité par rapport à 2015 (-1,5 %) masque une diminution de l'ordre de 60 % du nombre d'analyses réalisées dans le domaine très minoritaire de l'industrie non nucléaire qui n'est pas complètement compensée par une augmentation significative (35 %) du nombre d'analyses dans le domaine de la recherche et, dans une moindre mesure, dans celui des domaines « autres » (20 %).

En 2016, les examens anthroporadiométriques demeurent le moyen de surveillance le plus fréquent, avec 126 804 examens réalisés (46 % du nombre total d'analyses), suivis par les comptages sur prélèvements nasaux et mouchages, puis les analyses radiotoxicologiques

des urines, qui représentent respectivement 98 143 (36 %) et 41 281 (15 %) analyses. Enfin, 9 431 analyses radiotoxicologiques fécales (3 % des analyses) ont également été réalisées.

Le Tableau 5 présente la répartition des analyses effectuées suivant les domaines d'activité. La Figure 16 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 : 94 619 des 103 534 analyses réalisées par EDF en 2016 (soit 91 %) sont des anthroporadiométries. AREVA réalise le suivi de l'exposition interne par les deux types d'analyses : sur un total de 24 875 analyses,

13 657 sont des anthroporadiométries, soit 55 % du total des analyses. Le complément est partagé entre les analyses d'urines (38 %) et les analyses de selles (7 %). Les prélèvements nasaux (91 785 réalisés en 2016) sont largement majoritaires pour la surveillance des personnels des sites du CEA, puisqu'ils représentent 79 % des analyses réalisées (7 % pour l'anthroporadiométrie, 11 % pour les analyses d'urine et 3 % pour les selles).

En 2016, le suivi de routine du personnel dans les établissements du domaine médical et vétérinaire repose toujours essentiellement sur des analyses radiotoxiques urinaires (à 97 %). Celui du personnel des installations de recherche est réalisé à 67 % par des analyses radiotoxiques (dont 32 % d'analyses d'urines) et à 33 % par des examens anthroporadiométriques. Du fait d'activités globalement moins sujettes à un risque d'exposition interne, les personnels du domaine de l'industrie non nucléaire bénéficient plus

rarement d'une surveillance de l'exposition interne (1 100 analyses tous types confondus en 2016).

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 nécessite en pratique, le déplacement des personnes 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'examens positifs en 2016 est stable (0,43 % du nombre total d'examens de routine) par rapport à 2015 (0,42 %).

Tableau 5 - Exposition interne : surveillance de routine dans les différents domaines d'activité en 2016

Domaines d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif (**)
Activités médicales et vétérinaires	10 975	93	85
Industrie non nucléaire	1 100	12	8
Nucléaire	246 794	1 048	≥ 509
Recherche	15 072	13	13
Autres	1 718	19	17
Total	275 659	1 185	≥ 632

(*) 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)

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

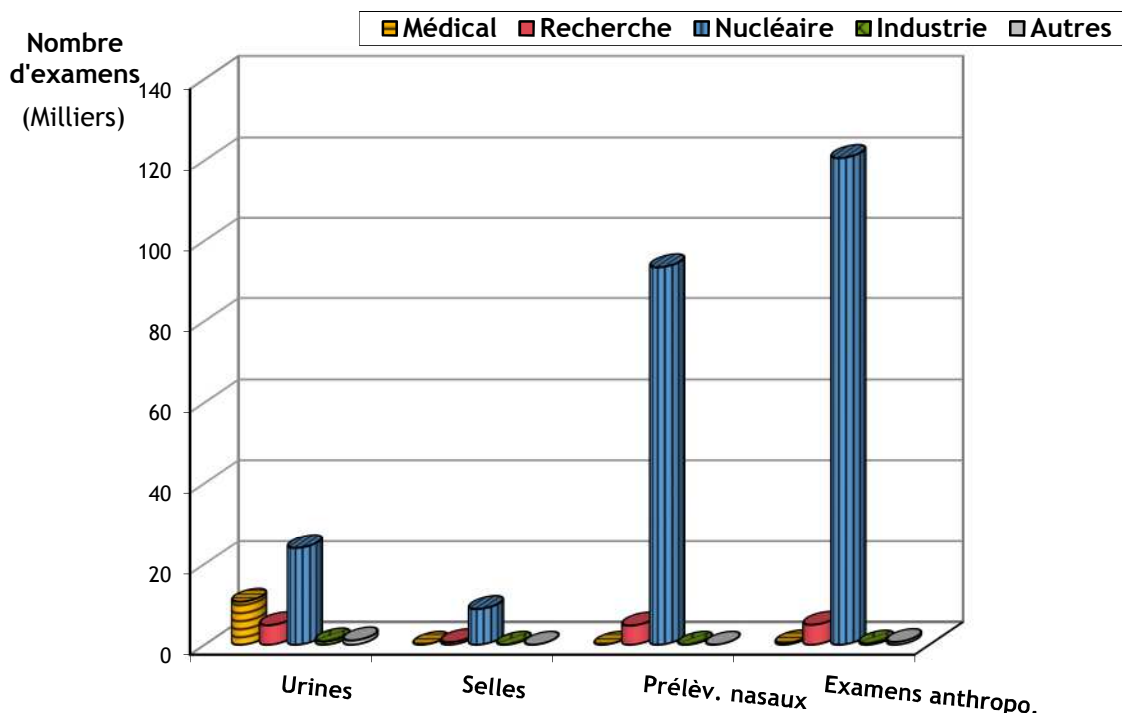


Figure 16 - Nombre d'analyses réalisées pour la surveillance de l'exposition interne dans les différents domaines d'activité en 2016 (surveillance de routine)

SURVEILLANCE SPECIALE

En 2016, 10 660 analyses ont été réalisées dans le cadre de la surveillance spéciale. Ceci représente une diminution de 5 % par rapport à 2015, mais ce chiffre dépasse largement celui de 2014 (5 524).

Seule une partie de ces analyses ont été réalisées à la suite d'un événement ou d'un incident de radioprotection. Le Tableau 6 présente la

répartition des analyses selon les domaines d'activité : 87 % a concerné le domaine nucléaire. Pour 1 612 des analyses, soit 15 % de l'ensemble des analyses effectuées dans le cadre de cette surveillance, le résultat a été positif. A titre indicatif, cela concernait environ 675 travailleurs, dont 570 dans le domaine du nucléaire.

Tableau 6 - Exposition interne : surveillance spéciale dans les différents domaines d'activité en 2016

Domaines d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif (**)
Activités médicales et vétérinaires	73	4	4
Industrie non nucléaire	518	184	73
Nucléaire	9 307	1 313	≥ 570
Recherche	482	11	8
Autres	280	100	20
Total	10 660	1612	≥ 675

(*) 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)

(**) Colonne en italique : le nombre de travailleurs est donné à titre indicatif (cf. page 41)

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

En 2016, 497 travailleurs sont identifiés comme ayant fait l'objet d'un calcul de dose engagée. Ce sont pour 97 % d'entre eux des travailleurs du domaine nucléaire. Tous domaines confondus, cinq cas d'exposition interne conduisant à une dose efficace engagée supérieure à 1 mSv ont été rapportés. Une dose individuelle de 19,4 mSv (valeur de dose engagée la plus forte enregistrée en 2016) a été estimée pour un travailleur du nucléaire. A noter que le cumul des résultats de

dosimétrie passive et interne pour ce travailleur porte sa dose efficace annuelle à 19,64 mSv et ne constitue donc pas de dépassement de la limite réglementaire de dose.

La Figure 17 présente pour les années 2006 à 2016 le nombre de travailleurs pour lesquels le calcul de la dose efficace engagée a conduit à une valeur supérieure à 1 mSv, et indique également la dose individuelle maximale enregistrée chaque année.

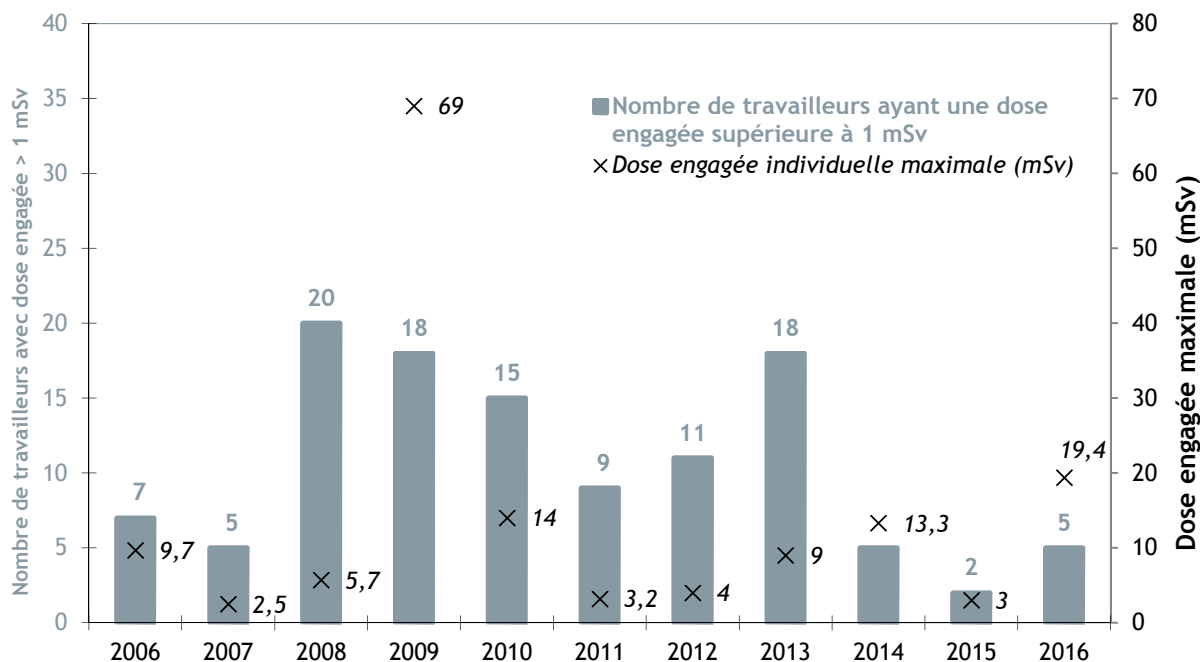


Figure 17 - Exposition interne : évolution, de 2006 à 2016, du nombre de travailleurs avec une dose engagée supérieure à 1 mSv

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

BILAN 2016

Le bilan arrêté au 15 mai 2017 met en évidence un dépassement de l'une des limites réglementaires de dose, entre le 1^{er} janvier et le 31 décembre 2016, pour trois travailleurs (Tableau 7).

Le dépassement de la limite réglementaire de 20 mSv pour la dose efficace concerne 1 seul travailleur (Tableau 4 et Figure 18). Ce dépassement à 65 mSv est lié à une exposition externe au rayonnement γ pour une activité dans l'industrie non nucléaire (cf. chapitre dédié) (Figure 19).

Deux cas de dépassement de la limite de dose équivalente aux extrémités (doses « main » 500 mSv) sont enregistrés dans le domaine médical

(secteur de la radiologie), avec pour l'un une valeur égale à 568 mSv et pour l'autre 800 mSv (dose équivalente aux extrémités la plus forte enregistrée en 2016).

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 35).

En 2016, le bon retour des MDT a conduit à ramener après enquête le nombre de dépassements à trois, alors que 46 signalements de dépassements de limite réglementaire avaient été enregistrés.

Tableau 7 - Dépassements des limites annuelles réglementaires de doses : bilan 2016

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

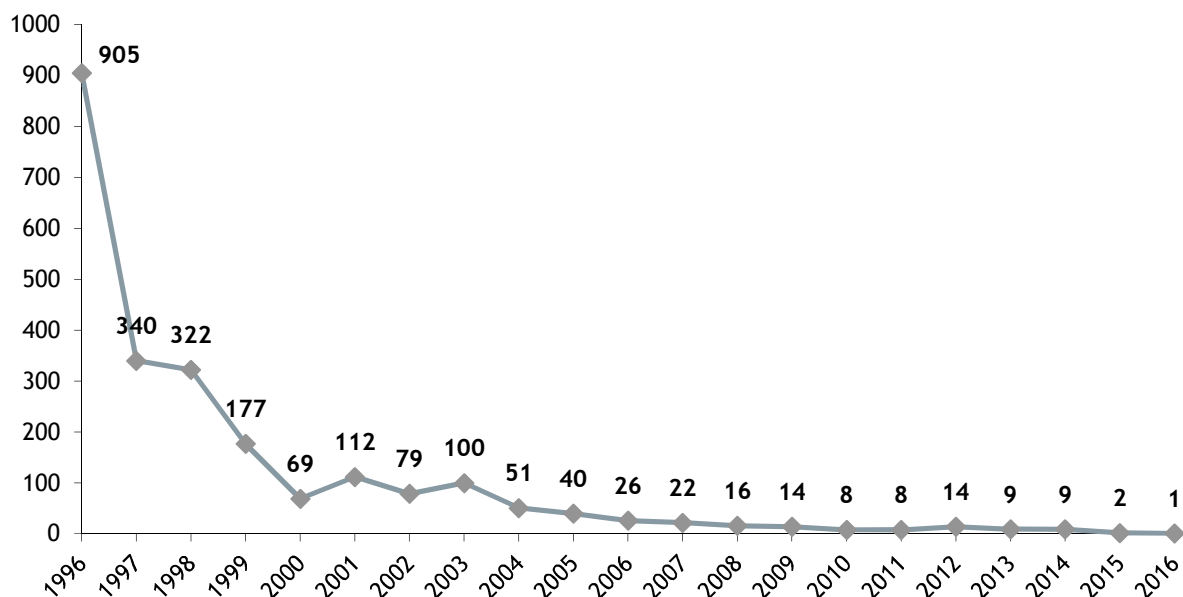


Figure 18 - Evolution, de 1996 à 2016, du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (dose efficace)

EVOLUTION SUR LA PERIODE 1996-2016

La Figure 18 présente l'évolution depuis 1996 du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv. En 2003, la limite de 50 mSv pour la dose efficace a été abaissée 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 2005-2016 (Figure 19). Jusqu'en 2014, le domaine des activités médicales et

vétérinaires est celui où les cas de dépassement de limite réglementaire sont les plus nombreux et il est pour la première fois en 2016 sans dépassement de la limite de dose efficace. C'est aussi le domaine où les écarts par rapport aux bonnes pratiques de port des dosimètres sont très régulièrement constatés. Dans le domaine de l'industrie non nucléaire, les cas de dépassement y sont moins nombreux que dans le domaine des activités médicales et vétérinaires mais c'est néanmoins le seul domaine où depuis 2005 au moins un cas de dose externe annuelle supérieure à 20 mSv a été enregistré chaque année.

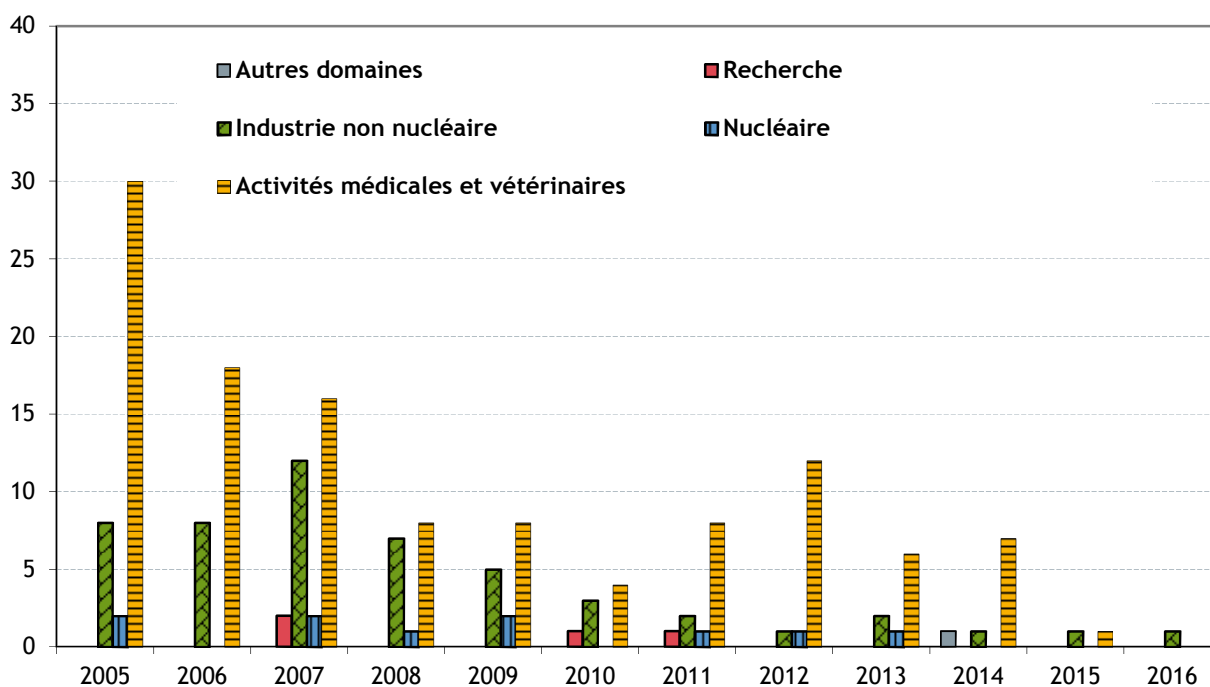


Figure 19 - Répartition par domaine d'activité du nombre de travailleurs suivis dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (période 2005-2016)

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 2016, 262 impliquent directement les travailleurs surveillés, soit 3 événements de plus qu'en 2015. La Figure 20 illustre la répartition de ces événements selon les domaines d'activité. Ces événements concernent très majoritairement le nucléaire (62 %) puis le domaine médical et vétérinaire (17 %) suivi par

l'industrie non nucléaire (13 %). A noter que dans le domaine du nucléaire, les pratiques de déclaration des événements de radioprotection sont beaucoup plus ancrées que dans les autres domaines, ce qui introduit une surreprésentation dans la répartition des événements entre les domaines d'activité.

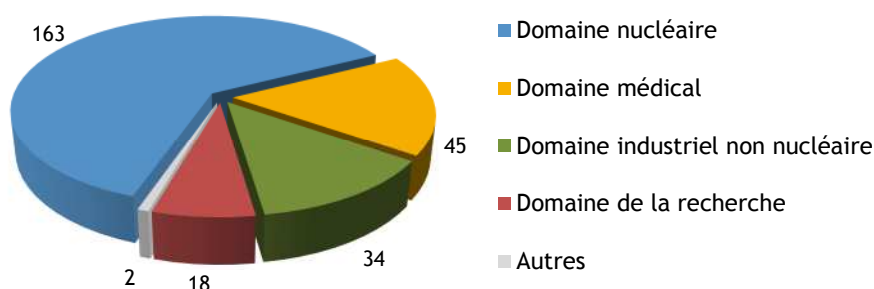


Figure 20 - Répartition des événements entre les domaines d'activité

Parmi les 262 événements « travailleurs » recensés, 216 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 2006 - 2016

Le Tableau 8 reprend la répartition des événements « travailleurs » recensés par l'IRSN depuis 2006, selon les grands domaines d'activité. Il montre qu'aucune évolution significative n'a été observée sur ces 11 années. Le domaine médical reste le principal pourvoyeur d'alertes de dépassement de limite réglementaire de dose, dans une proportion supérieure (67 %) à la proportion des travailleurs de ce domaine (61 %) 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 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 2006 - 2016

Alertes de dépassements de limite réglementaire de dose	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Activités médicales et vétérinaires	53	54	36	44	32	34	36	44	25	28	31
Industrie non nucléaire	13	18	17	13	5	12	4	11	13	9	11
Nucléaire	1	0	4	2	5	3	6	6	1	0	1
Recherche	1	0	0	0	0	0	3	0	3	2	2
Autres	0	1					1				1
Total alertes de dépassements	68	72	57	59	42	49	52	61	43	39	46
Autres événements	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Activités médicales et vétérinaires	9	10	7	11	13	17	22	12	16	17	14
Industrie non nucléaire				19	17	2	5	7	23	29	23
Nucléaire	170	169	183	137	137	132	148	167	155	155	162
Recherche				6	1	2	18	9	9	17	16
Autres	0	0	0							2	1
Total autres événements	179	179	190	173	168	153	194	195	203	220	216
TOTAL	247	251	247	232	210	202	246	256	246	259	262

* 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. 64
Dosimétrie corps entier	
Dosimétrie des extrémités	
Dosimétrie du cristallin	
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	p. 70
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	
Surveillance spéciale	
Estimations dosimétriques	
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE.....	p. 72
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION.....	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 et des dispensaires, 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.

Le secteur de la radiologie médicale regroupe les installations de radiodiagnostic (radiologie conventionnelle, mammographie et scanographie) et de radiologie interventionnelle. Des installations de radiodiagnostic existent aussi dans les secteurs de la médecine du travail, et des activités dentaires et vétérinaires.

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

DOSIMETRIE CORPS ENTIER

Le nombre total de travailleurs suivis dans le domaine des activités médicales et vétérinaires est stable (-0,2 %) par rapport à l'année 2015. Dans le même temps, la dose collective n'étant qu'en très légère augmentation de 0,7 %, 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), est également stable et passe de 0,34 mSv en 2015 à 0,33 mSv en 2016.

- **227 980** travailleurs suivis (62,4 % de l'effectif)

- Dose collective annuelle :

15,5 homme.Sv

- Dose individuelle annuelle moyenne

calculée sur l'effectif exposé :

0,33 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 identifié par les organismes de dosimétrie de façon inopportune en radiologie médicale ou en radiothérapie alors qu'ils interviennent en réalité en radiographie

industrielle, notamment dans le cadre de prestations en INB.

Les effectifs, doses collectives et doses moyennes indiquées pour ces 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 0,7 % de l'effectif total du domaine médical et vétérinaire, avec une contribution à la dose collective de 0,5 %.

Tableau 9 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2016

Domaine d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total ^(a) (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(b) (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Radiologie	113 683	9,05	0,08	0,38	89 710	22 502	1 214	227	27	3	0
Soins dentaires	51 238	2,13	0,04	0,22	41 416	9 621	197	3	1	0	0
Médecine du travail et dispensaires	4 313	0,17	0,04	0,23	3 580	712	21	0	0	0	0
Radiothérapie	6 918	0,83	0,12	0,51	5 280	1 498	100	38	2	0	0
Médecine nucléaire	4 627	1,38	0,30	0,69	2 629	1 505	492	0	1	0	0
Laboratoires d'analyses (RIA)	132	0,00	0,01	0,16	127	5	0	0	0	0	0
Médecine vétérinaire	21 490	0,60	0,03	0,20	18 495	2 956	36	2	1	0	0
Logistique et maintenance (prestataires)	123	0,01	0,07	0,35	99	22	2	0	0	0	0
Transport médical	1 639	0,02	0,01	0,11	1 485	154	0	0	0	0	0
Autres	23 817	1,33	0,16	0,36	18 755	4 884	173	4	1	0	0
Total	227 980	15,51	0,07	0,33	181 576	43 859	2 235	274	33	3	0

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

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

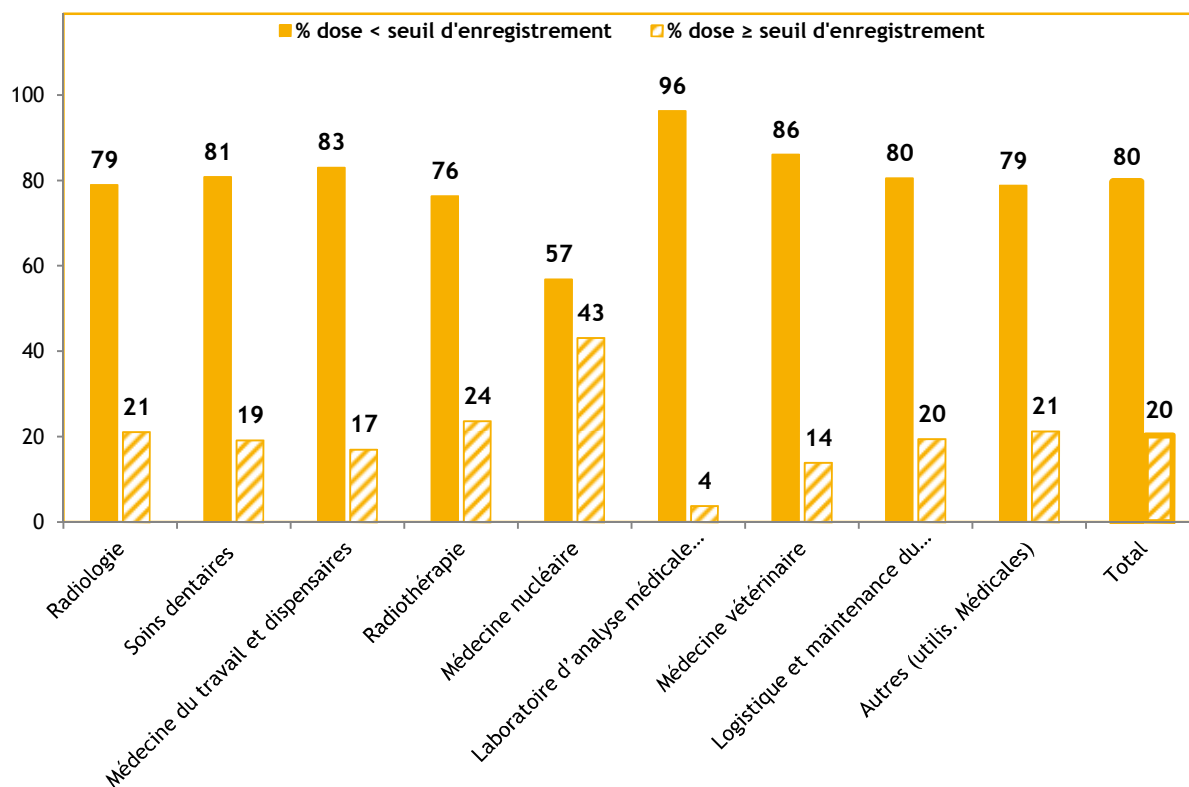


Figure 21 - Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis dans les principaux secteurs médicaux et vétérinaires, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose en 2016

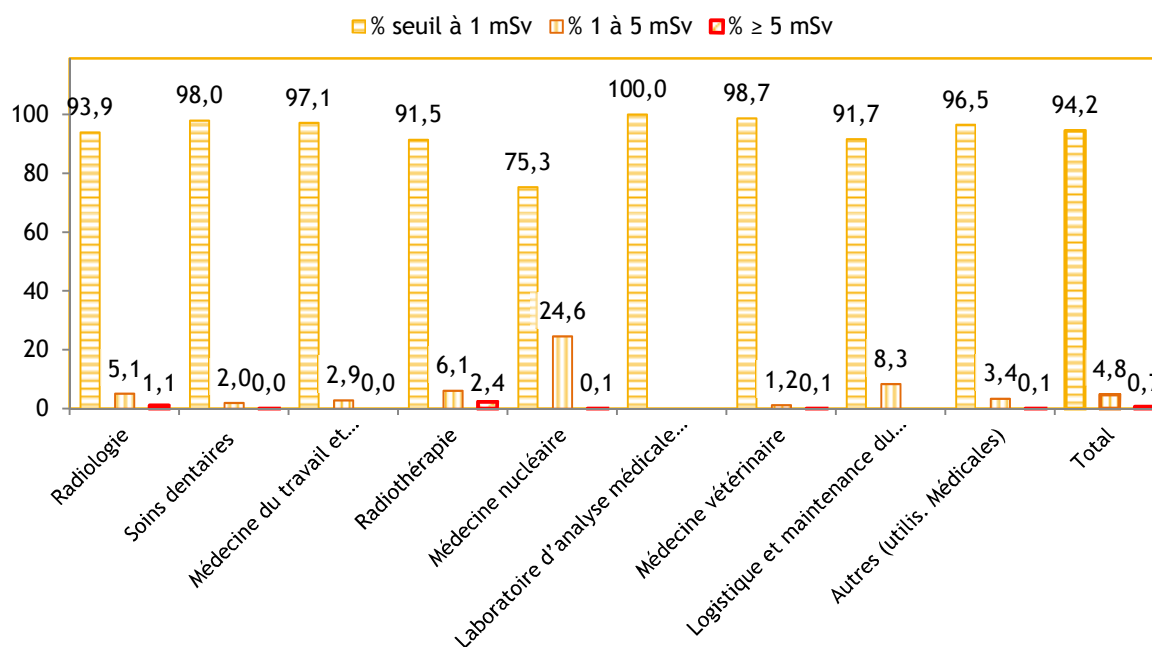


Figure 22 - Répartition (en pourcentages) de l'effectif exposé dans les principaux secteurs médicaux et vétérinaires, en fonction de différentes classes de dose externe corps entier en 2016

La répartition des effectifs évolue peu par rapport à l'année 2015 : les activités de radiologie (voir ci-dessus) en regroupent 50 %. 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 2016 dans le secteur des autres utilisations médicales (non précisées), avec une dose de 12,9 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 96 % des travailleurs du

secteur des laboratoires d'analyse médicale, 86 % de l'effectif du secteur de la médecine vétérinaire, ainsi que pour 80 % de ceux de la logistique et maintenance. Le secteur ayant une proportion de l'effectif exposé plus importante reste la médecine nucléaire (43 %).

Parmi les travailleurs du domaine des activités médicales et vétérinaires ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement, tous secteurs confondus, plus de 94,5 % sont exposés à moins de 1 mSv (proportion stable par rapport à 2015). Ce chiffre varie de 75 % 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 22). 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 concernant moins de 1 % des travailleurs exposés, dans les secteurs de la radiothérapie et de la radiologie principalement.

Contribution des neutrons

2 434 travailleurs du domaine médical, soit 1,1 % de l'effectif de ce domaine, ont un suivi pour l'exposition aux neutrons. Ce chiffre est en diminution de 9 % par rapport à 2015. Il en est de même pour la dose collective correspondante de 8,02 homme.mSv, en baisse de 70 %. Cette diminution importante s'explique par un cas de dépassement de limite de dose enregistré à 21 mSv en 2015 qui portait la dose collective à 26,42 homme.mSv. En excluant ce cas, l'évolution de la dose collective entre 2015 et 2016 est une augmentation de 5,42 homme.mSv à 8,02 homme.mSv. Les doses individuelles annuelles enregistrées sont toutes inférieures à 1 mSv.

En 2016, 61 % de la dose collective provient des activités de radiodiagnostic, 17 % de la radiothérapie, 2,1 % des activités dentaires et 20,1 % des autres activités non précisées (classification des travailleurs non renseignée par les employeurs). Il est vraisemblable que des erreurs d'affectation de travailleurs entre les différents secteurs d'activité soit à l'origine d'un nombre étonnamment élevé de travailleurs du domaine médical ayant un suivi dosimétrique pour les neutrons.

Evolution de la dose externe sur la période 1997-2016

Exposition externe totale (photons et neutrons)

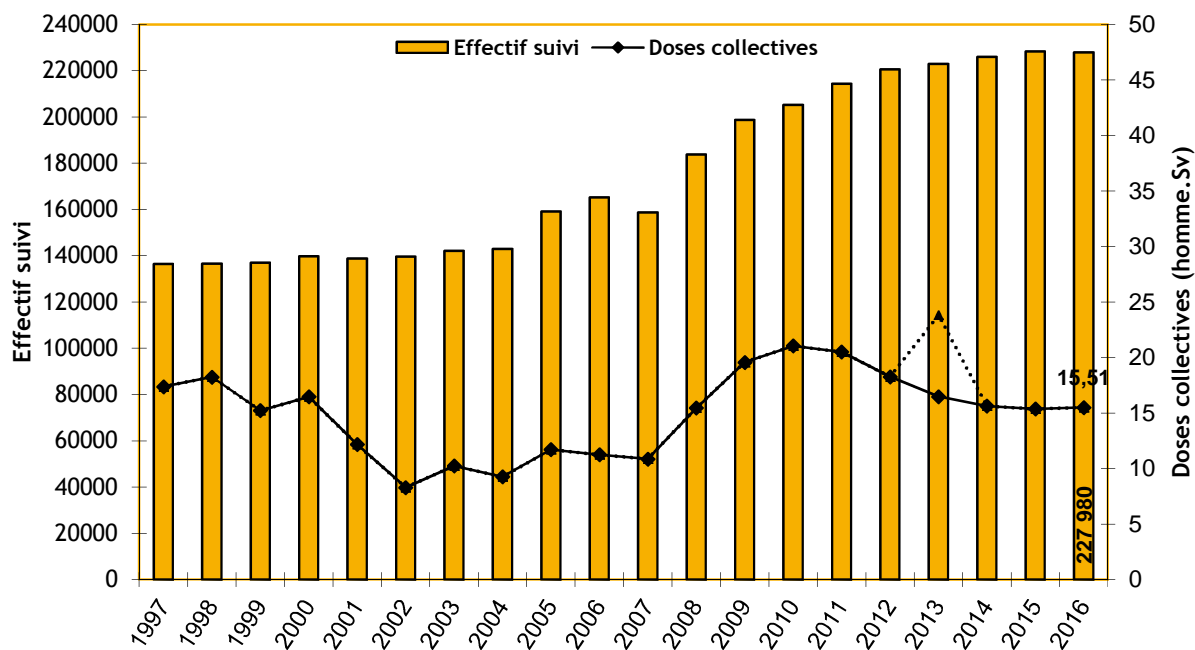
L'évolution de la dosimétrie entre 1997 et 2016 présente trois périodes distinctes (Figure 23) : une première période (1997 - 2004) au cours de laquelle l'effectif évolue peu alors que la dose

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.

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 2016 suit la tendance observée déjà en 2015, même si la baisse semble observer un certain ralentissement.

Ces observations montrent que l'optimisation des pratiques se poursuit mais elles peuvent également



.....▲..... Valeur 2013 non représentative (incluant le dépassement remis en doute de la limite de dose de 7 Sv)

Figure 23 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (période 1997-2016)

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2016, 15 738 travailleurs exerçant dans le domaine médical et vétérinaire ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités, la dose totale enregistrée étant de 92,5 Sv et la dose individuelle

moyenne de 5,9 mSv. Ces chiffres sont stables par rapport à 2015.

Dosimétrie par bague

83 % des travailleurs exerçant dans le domaine des activités médicales et vétérinaires, bénéficiant d'un suivi dosimétrique aux extrémités, portent un dosimètre bague, soit 13 058 travailleurs. La dose totale enregistrée par ces porteurs est de 91,17 Sv. La Figure 24 illustre la répartition des doses enregistrées en 2016 suivant les secteurs d'activité

de ce domaine. Le secteur de la radiologie (sans distinction du radiodiagnostic et de la radiologie interventionnelle) contribue majoritairement aux expositions des extrémités, avec 59 % des travailleurs suivis et 49 % de la dose totale enregistrée.

Sur l'ensemble de l'effectif suivi aux extrémités par une bague, il apparaît que 54 % des travailleurs n'ont pas été exposés, 46 % des travailleurs ont une dose comprise entre le seuil d'enregistrement

et 150 mSv, et moins de 0,5 % des travailleurs ont une dose comprise entre 150 et 500 mSv.

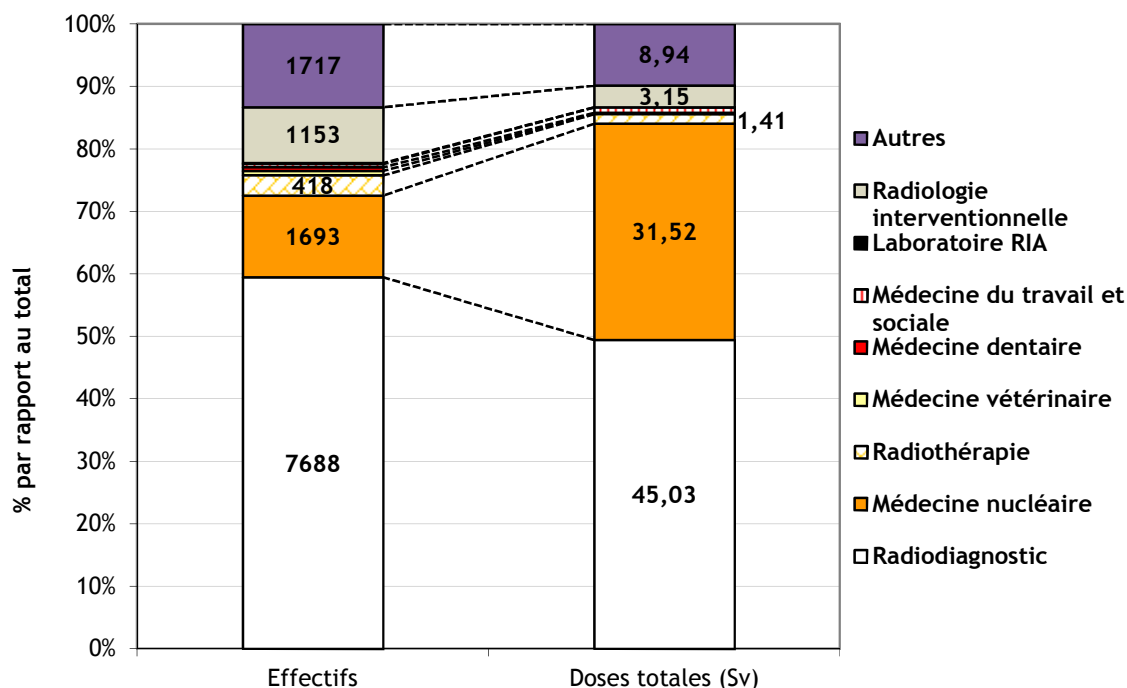


Figure 24 - Répartition des doses enregistrées pour la dosimétrie par bague en 2016 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires

Dosimétrie au poignet

En 2016, une dose totale de 1,3 Sv a été enregistrée dans le domaine des activités médicales et vétérinaires à l'aide de la dosimétrie au poignet, pour un effectif de 2 680 travailleurs. Le secteur du radiodiagnostic contribue à lui seul à 70 % de l'effectif suivi et à 64 % de la dose totale enregistrée. La dose individuelle maximale en 2016 a été de 80,4 mSv, enregistrée dans le secteur de la radiologie interventionnelle.

Par rapport à l'effectif total suivi aux extrémités par un dosimètre poignet, 70 % des travailleurs ont reçu une dose enregistrée inférieure au seuil d'enregistrement, 31 % 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 2015.

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

Plus de 84 % de l'effectif suivi pour le cristallin en 2016 appartient au domaine des activités médicales et vétérinaires. Cet effectif est de 3 713 travailleurs, dont 87 % exerce dans le secteur de la radiologie. C'est d'ailleurs dans ce secteur (radiologie interventionnelle) qu'a été enregistrée

la dose individuelle maximale du domaine (21,8 mSv).

La dosimétrie du cristallin dans le domaine des activités médicales et vétérinaires a vu son effectif passer de 181 travailleurs en 2015 à 3 713 en 2016

avec l'arrivée sur le marché de dosimètres adaptés à cette mesure.

Même si cette dosimétrie n'est 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, incitera à mettre en œuvre cette surveillance de façon beaucoup plus systématique.

BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

SURVEILLANCE DE ROUTINE, DE CHANTIER ET DE CONTROLE

Sur les 10 975 analyses réalisées dans le cadre de la surveillance de routine, 10 630 sont des analyses radiotoxicologiques urinaires et 345 sont des anthroporadiométries. Ces analyses sont exclusivement réalisées par l'IRSN et un effectif fiable de travailleurs suivis peut être donné : il est de 1 821 personnes. 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, 0,4 % sont positives et concernent 34 travailleurs, essentiellement dans le secteur de la médecine nucléaire (chiffre comparable à 2015).

Les 345 examens anthroporadiométriques ont été réalisés sur 275 travailleurs du secteur de la médecine nucléaire, dont 51 ont été positifs en 2016 (chiffre en baisse de 39 % par rapport à 2015).

SURVEILLANCE SPECIALE

Comme en 2015, les analyses demandées dans le cadre d'une surveillance spéciale ont été majoritairement réalisées pour le secteur de la médecine nucléaire (57 % des analyses et 45 %

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

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

En 2016, huit travailleurs du domaine des activités médicales et vétérinaires ont été concernés par un calcul de dose engagée. Quatre estimations ont concerné des travailleurs exerçant dans des services de médecine

nucléaire. Les quatre autres estimations ont concerné des travailleurs exerçant dans un laboratoire de radio-immunologie. Dans tous les cas, les doses évaluées étaient très faibles, inférieures à 0,1 mSv.

Tableau 10 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2016

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis ^(*)	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs ^(*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif
Médecine du travail et dispensaires	5	5	0	0
Médecine nucléaire	1306	9983	37	34
Laboratoire d'analyse médicale avec radio-immunologie	222	567	5	5
Irradiation de produits sanguins	7	20	0	0
Médecine vétérinaire	6	55	0	0
Transport médical	0	0	0	0
Total	1 546	10 630	42	39

(*) 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 en 2016

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis ^(*)	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs ^(*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif
Médecine du travail et dispensaires	0	0	0	0
Médecine nucléaire	13	42	4	4
Laboratoire d'analyse médicale avec radio-immunologie	16	31	0	0
Irradiation de produits sanguins	0	0	0	0
Total	29	73	4	4

(*) 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, pour la première année depuis 2005, aucun cas de dépassement de la limite de 20 mSv n'a été recensé en 2016 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (Figure 19).

Concernant la dosimétrie aux extrémités, deux cas de dépassement ont été enregistrés sur des bagues dans le secteur de la radiologie, avec une dose

d'une valeur de 568 mSv pour un cas et d'une valeur de 800 mSv pour l'autre (dose maximale aux extrémités enregistrée pour 2016).

Enfin, concernant la dosimétrie à la peau, aucun cas de dépassement de la limite de 500 mSv n'a été recensé en 2016 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires.

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Au cours de l'année 2016, 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 14 des ERP ont fait l'objet d'une déclaration (selon le guide n°11 de l'ASN) portée à la connaissance de l'IRSN :

- 11 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 ;

- 3 ERP déclarés au titre du critère n°4 relatif aux sources radioactives (perte ou vol).

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'en 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 secteur d'activité des événements survenus dans le domaine des activités médicales et vétérinaires en 2016

Activités médicales et vétérinaires	Nombre d'événements recensés
Radiodiagnostic	18
Radiothérapie	13
Médecine nucléaire	6
Logistique et maintenance du médical	4
Radiologie interventionnelle	3
Médecine vétérinaire	1
Total	45

OPTIMISATION DE LA RADIOPROTECTION EN RADIOTHERAPIE

DIMENSIONNEMENT DES PROTECTIONS EN RADIOTHERAPIE

Depuis une dizaine années l'IRSN fournit un support technique aux professionnels de radiothérapie, en particulier aux physiciens médicaux, pour le dimensionnement de nouvelles installations ou le redimensionnement d'installations existantes lors d'un changement d'appareil. L'IRSN réalise également des prestations pour des centres de radiothérapie ou pour des sociétés mandatées par ceux-ci (cabinets d'architecte, entreprises du bâtiment...) et répond aux éventuelles demandes d'expertise de la part des autorités (ASN). Ces prestations ou avis d'expertise concernent généralement des installations non standard. 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.

Par ailleurs, compte tenu de l'évolution de la radiothérapie avec le développement de nouvelles techniques d'irradiation et de nouvelles conceptions de salles de traitement, il est apparu opportun d'établir une norme internationale servant de cadre général pour la conception et l'évaluation du blindage des installations. Le projet de norme a été proposé et piloté par l'IRSN. Un groupe international d'experts a été mis en place. Les travaux ont eu lieu de 2012 à 2016 dans le cadre de l'ISO/TC 85/SC2 (comité technique 85, sous-comité 2 : radioprotection). Le travail a abouti avec la publication en octobre 2016 de la norme ISO 16645 : 2016 (cf. ci-après).

Publication de la norme ISO 16645 concernant la radioprotection relative aux accélérateurs médicaux

La norme ISO 16645 intitulée « Radioprotection – Accélérateurs médicaux d'électrons – Exigences et recommandations pour la conception et l'évaluation du blindage » a été publiée en octobre 2016 [21]. Elle s'applique aux accélérateurs linéaires d'électrons médicaux, avec des énergies nominales de faisceau dans la gamme de 4 MV à 30 MV. Elle est destinée à être complémentaire aux autres normes internationales (IEC 60601-2-1 et IAEA Safety Reports Series Report No. 47).

Les sujets suivants y sont traités:

- types d'accélérateurs : accélérateurs conventionnels avec et sans filtre égalisateur (modes FF et FFF), appareils de radiothérapie hélicoïdale avec modulation d'intensité (tomothérapie) et appareils à bras robotisé, accélérateurs dédiés à la radiothérapie péroratoire ;

- champs de rayonnement : électrons, photons X et neutrons (directs, diffusés, de fuite), rayons gamma générés par capture neutronique ;
- géométrie de la salle de traitement : chicane standard et à deux coudes, avec et sans porte, absence de chicane avec porte directe ;
- matériaux de protection : béton (ordinaire ou lourd), métaux, écrans stratifiés (béton et métal), matériaux hydrogénés, terre ;
- conception de l'installation de radiothérapie : méthodes de calcul de la protection radiologique ; évaluation de l'impact de la chicane et calcul de la protection de la porte d'entrée ; évaluation de l'impact des conduits (ventilation et climatisation...) et des protections supplémentaires ;
- hypothèse et objectifs de conception de la protection radiologique ;

- rôle des fabricants, de la personne compétente en radioprotection ou de l'expert qualifié et interactions entre les parties prenantes ;
- contrôle radiologique de l'installation par mesurages après installation de l'accélérateur, pour garantir sa conformité aux exigences nationales.

En l'absence de norme française ou européenne, cette norme internationale est destinée aux professionnels impliqués dans l'évaluation des protections radiologiques autour des accélérateurs d'électrons médicaux : personnes compétentes en radioprotection, physiciens médicaux, fournisseurs d'accélérateurs, autorités compétentes en radioprotection, etc.

Projet d'installation d'un appareil de radiothérapie à bras robotisé

En 2016, l'IRSN a réalisé une prestation en radiothérapie externe dans le cadre d'un dossier d'autorisation d'installation au sein d'un hôpital d'un appareil de radiothérapie à bras robotisé. L'IRSN a été sollicité par l'hôpital afin de donner un avis technique sur le dossier de radioprotection.

Une étape préliminaire de l'étude a consisté à analyser la géométrie d'irradiation en tenant compte des caractéristiques techniques de l'appareil. Dans le cas présent, l'appareil est caractérisé par un accélérateur linéaire d'électrons compact monté sur un bras robotisé qui produit un faisceau étroit au moyen de deux types de collimateurs : un diaphragme à iris (diamètre maximal de 6 cm) ou un collimateur multilames avec un champ maximal rectangle de 12 cm x 10 cm à la distance de référence (à 80 cm de la source).

Le faisceau de traitement est un rayonnement X de freinage d'énergie maximale de 6 MeV avec un débit de 10 Gy.min⁻¹ à la distance de référence. Le bras robotisé a 3 axes de translation et 3 axes de rotation permettant de diriger le faisceau de rayonnement dans pratiquement n'importe quelle direction. Cette géométrie d'irradiation permet d'obtenir des distributions de dose hautement conformes aux volumes cibles prévisionnels, avec un fort gradient de dose ; limitant ainsi l'exposition des organes à risque (Figure 25).

L'énergie maximale du faisceau de photons étant de 6 MeV, il n'y a pas de production de neutrons à considérer pour la radioprotection. Par ailleurs, le faisceau primaire étant dirigé dans presque toutes les directions, toute paroi doit être considérée comme un écran primaire (excepté le plafond si le système ne peut pas être orienté vers lui). Le rayonnement

secondaire de fuite doit également être considéré pour le dimensionnement de toutes les parois du bunker : il s'agit du rayonnement X traversant le blindage de la tête de l'accélérateur. Etant donné les faibles tailles de champ, la contribution du rayonnement diffusé par le patient est considérée comme négligeable par rapport au rayonnement de fuite.

L'étude de l'IRSN a porté sur le classement des locaux, le rapport de contrôle externe de radioprotection et les hypothèses et méthodes de calcul retenues par le constructeur pour le dimensionnement des protections.

L'IRSN a estimé que les points de mesure sélectionnés par l'organisme de contrôle externe et les incidences de faisceaux associées couvraient bien l'ensemble des géométries d'irradiation permettant d'évaluer le risque d'exposition dans les locaux entourant le bunker et la validité du dimensionnement des protections radiologiques (murs, porte et plafond du bunker).

Les résultats du contrôle externe de radioprotection correspondaient à des mesures de débit instantané d'équivalent de dose ambiant pendant une irradiation continue, IDR (Instantaneous Dose Rate) (Sv.h⁻¹). A partir de ces mesures de l'IDR, l'équivalent de dose intégré sur chaque période de référence Tr, TADR (Time Averaged Dose Rate) (Sv.Tr⁻¹) a été calculé par l'IRSN. Cela nécessite de prendre en compte la charge d'exploitation prévisionnelle de l'appareil et des hypothèses réalistes sur la distribution des directions d'orientation du faisceau et sur les taux d'utilisation des différents collimateurs. L'IRSN a calculé les valeurs de TADR en chaque point de mesure du contrôle externe en considérant les hypothèses d'activité clinique fournies par l'hôpital, les

données fournies par le constructeur fondées sur l'expérience clinique d'utilisateurs expérimentés et sur des simulations, et d'après la littérature scientifique. Les valeurs de TADR obtenues ont été comparées au zonage radiologique proposé. Au vu des résultats, l'IRSN n'a pas formulé de réserve concernant le classement des locaux proposé par l'hôpital.

L'IRSN a également réalisé une analyse approfondie des hypothèses et des méthodes de calcul utilisées par le constructeur pour le

dimensionnement prévisionnel du bunker. La méthode retenue par celui-ci correspond aux préconisations de l'IRSN (méthode recommandée par la norme ISO 16645 [21]). L'IRSN a cependant relevé plusieurs écarts de type erreur, incohérence, approximation et hypothèse non prudente. De plus, les limites de dose et les valeurs considérées par le constructeur pour le facteur d'occupation des locaux ne correspondaient pas à la réglementation française.



Photos Sylvie DERREUMAUX / IRSN

Figure 25 - Appareil de radiothérapie à bras robotisé

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. 90
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION.....	p. 90



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

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

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

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

DOSIMETRIE CORPS ENTIER

Le nombre total de travailleurs suivis dans le domaine nucléaire est en augmentation par rapport à l'année 2015 (3 %). Dans le même temps, la dose collective augmente de 3,6 % mais une légère diminution de la dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé (1,15 mSv vs 1,17 mSv en 2015) est observée. Ceci s'explique par une distribution de la dose différente parmi les travailleurs, puisqu'on observe une augmentation de plus de 1 000 travailleurs pour lesquels une dose inférieure au seuil d'enregistrement a été enregistrée.

- **75 576** travailleurs suivis (20,3 % de l'effectif)

- Dose collective annuelle :

28,5 homme.Sv

- Dose individuelle annuelle moyenne

calculée sur l'effectif exposé :

1,15 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 tout comme en 2015 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 2016 reste importante (27 %), quasi-identique à 2015 (28 %). 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 2015 et 2016 sont observées, notamment une diminution du nombre des travailleurs suivis de 31 % dans le secteur

« enrichissement et conversion » (- 357 travailleurs) et une augmentation de 20 % des effectifs suivis dans le secteur « logistique et maintenance » (+ 2 582 travailleurs).

Les activités de la fabrication du combustible et de la logistique et maintenance enregistrent les doses individuelles moyennes les plus élevées, respectivement de 2,55 mSv et 1,54 mSv. La dose individuelle annuelle maximale du domaine des activités nucléaires en 2016, égale à 17,35 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 2016 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 86 %).

Pour la plupart des autres secteurs cette proportion est comprise entre 61 % et 75 %. 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 43 % et 46 %. 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, du transport et des effluents et déchets, les travailleurs sont très majoritairement exposés (> 89 %) 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 6 %, 30 %, 14 % et 28 %. 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 1,9 et 8,9 % 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 2016.
- 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 20 %, en rapport avec la dose individuelle moyenne des travailleurs exposés de ce secteur la plus élevée (2,55 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 en 2016

Secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total ^(a) (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(b) (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Propulsion nucléaire	2 659	0,23	0,09	0,22	1 635	1 015	8	0	1	0	0
Armement	2 508	0,18	0,07	0,26	1 827	654	27	0	0	0	0
Extraction et traitement de l'uranium	182	0,04	0,24	0,43	81	95	6	0	0	0	0
Enrichissement et conversion	791	0,14	0,18	0,54	530	233	28	0	0	0	0
Fabrication du combustible	1 636	1,78	1,09	2,55	935	348	212	132	9	0	0
Réacteurs de production d'énergie	25 483	7,83	0,31	0,98	17 523	5 380	2 427	149	3	1	0
Retraitement	2 913	0,13	0,04	0,37	2 564	325	24	0	0	0	0
Démantèlement	2 168	0,16	0,07	0,51	1 855	269	44	0	0	0	0
Effluents, déchets	84	0,00	0,04	0,75	79	4	1	0	0	0	0
Logistique et maintenance	15 574	11,15	0,72	1,54	8 353	4 551	2 030	577	63	0	0
Transports	853	0,12	0,14	0,59	644	188	16	2	3	0	0
Autres	20 725	6,75	0,33	1,14	14 806	4 337	1 205	332	45	0	0
Total	75 576	28,52	0,38	1,15	50 832	17 399	6 028	1 192	124	1	0

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

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

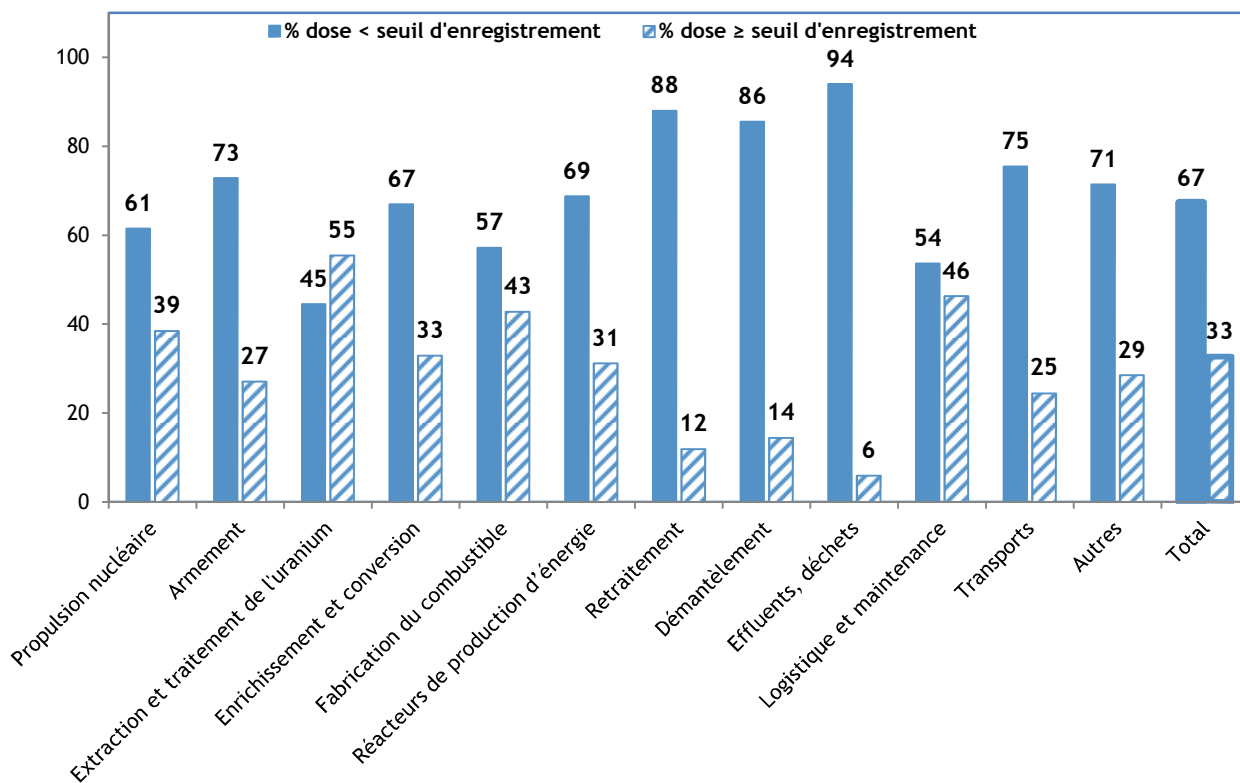


Figure 26 - Répartition (en pourcentages) des effectifs suivis dans les principaux secteurs de l'industrie nucléaire, par rapport au seuil d'enregistrement de la dose en 2016

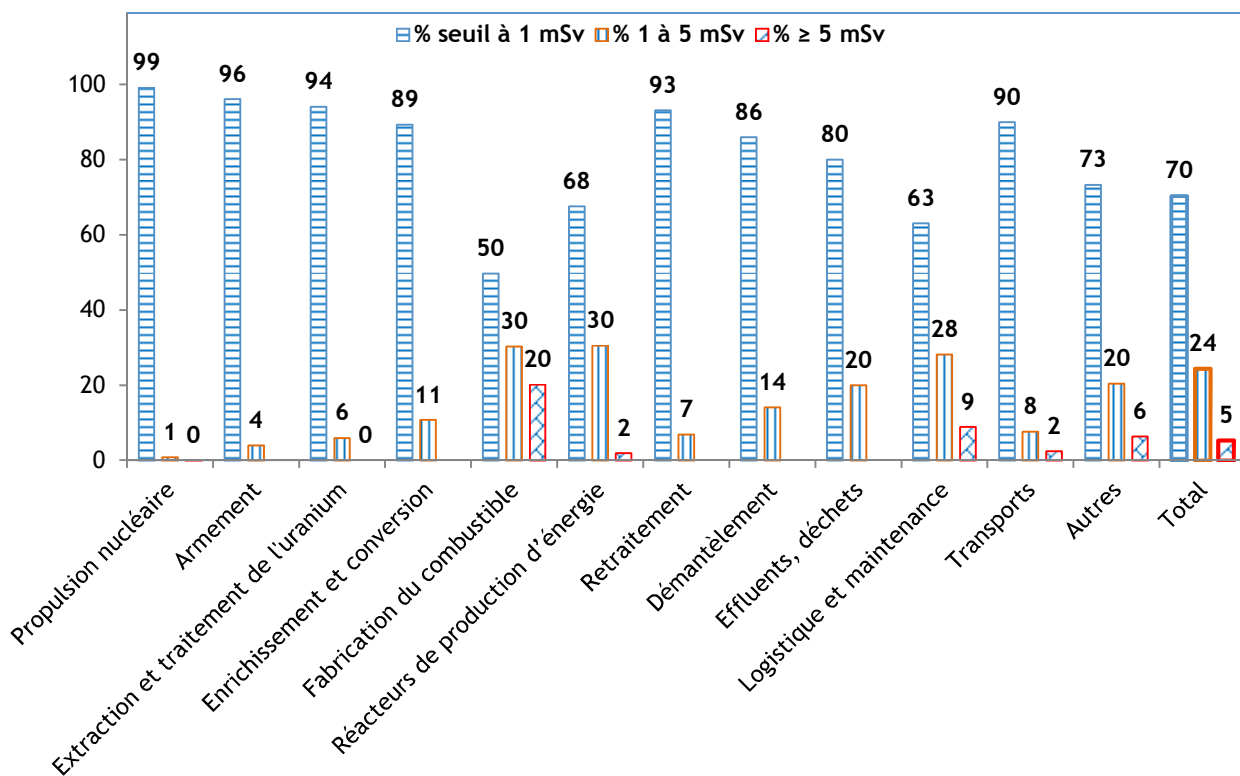


Figure 27 - Répartition de l'effectif exposé dans les principaux secteurs de l'industrie nucléaire, en fonction de différentes classes de dose externe corps entier en 2016

Contribution des neutrons

36 774 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 10), soit 6,5 % de la dose collective totale dans ce domaine. L'effectif des travailleurs de ce domaine suivis pour une exposition aux neutrons est en augmentation de 5,2 % par rapport à 2015 ; la dose collective correspondante est quant à elle identique.

La Figure 28 présente pour l'année 2016 la répartition des effectifs et des doses collectives dues aux neutrons. 57 % 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 2015.

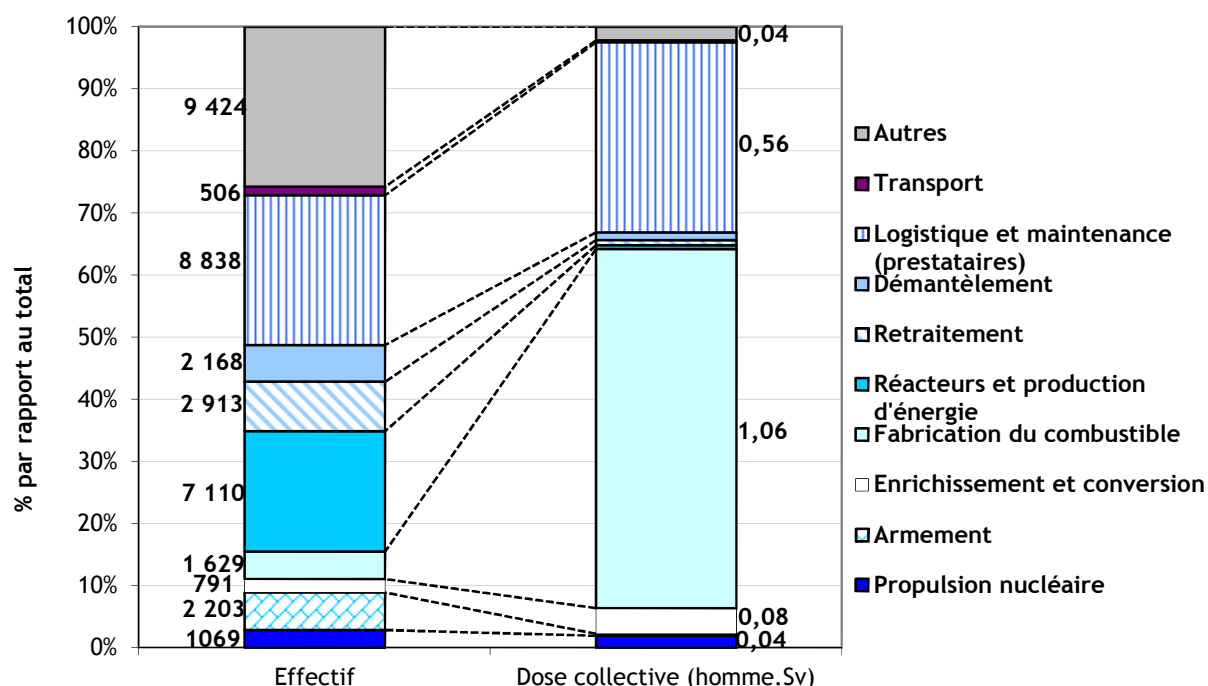


Figure 28 - Répartition des effectifs et des doses enregistrées en 2016 pour la dosimétrie neutron dans le nucléaire civil et militaire

Evolution de la dose externe sur la période 1997-2016

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 2016, l'effectif suivi augmente assez régulièrement alors qu'une relative stabilité de la dose collective est observée. La dose collective moyenne sur la période 2006-2016 est ainsi de 25,05 homme.Sv.

Avec 28,52 homme.Sv pour un effectif en hausse de 3 % par rapport à celui de 2015, la dose collective de 2016 semble marquer une reprise de la tendance à la hausse, pouvant trouver une explication dans le lancement des grands chantiers de rénovation du parc électronucléaire : une augmentation de la dose collective est observée pour les activités de logistique et maintenance (11 %), représentant un des plus gros effectifs.

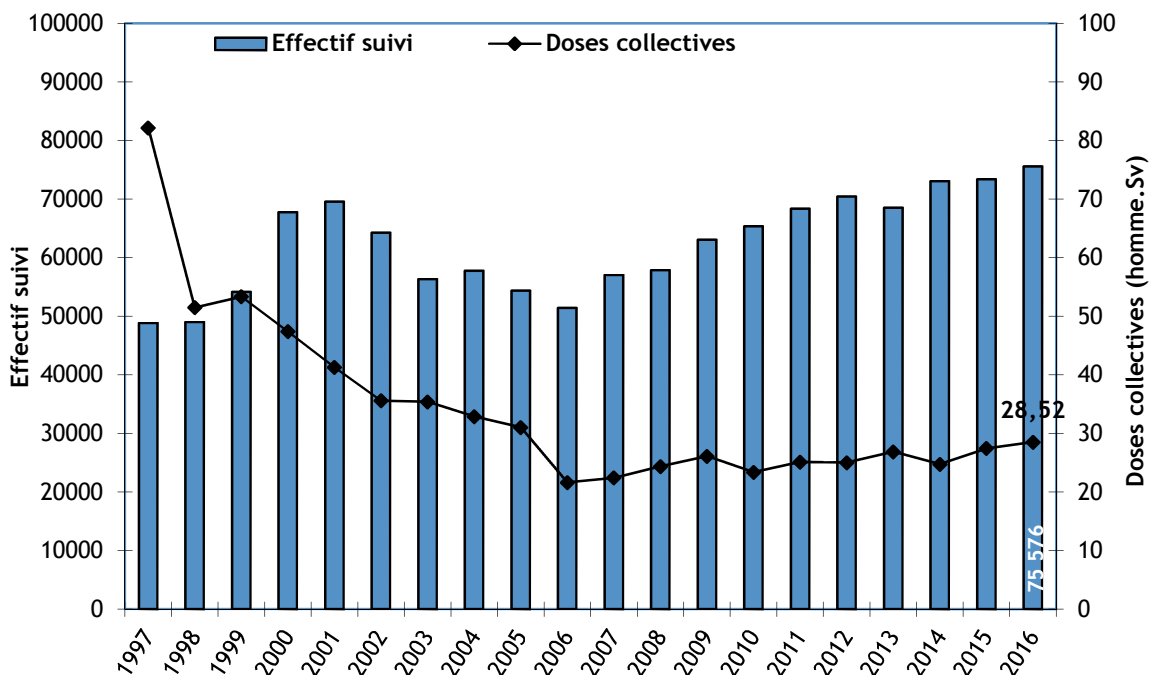


Figure 29 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le nucléaire civil et militaire (période 1997-2016)

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2016, 7 188 travailleurs du domaine nucléaire ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités (- 2,8 % par rapport à 2015), la dose totale enregistrée étant de 30,58 Sv et la dose individuelle moyenne de 4,3 mSv. L'exposition aux

extrémités est en baisse de 11,1 % par rapport aux données de 2015.

Dosimétrie par bague

En 2016, la proportion des travailleurs portant un dosimètre bague pour leur suivi de l'exposition des extrémités (1 613 personnes) passe de 20 % à 22,4 % de l'ensemble des travailleurs suivis aux extrémités.

La dose totale enregistrée par ces porteurs est de 1,79 Sv (augmentation de 25 %), et la dose individuelle maximale est égale à 73,65 mSv dans le secteur « autres activités du nucléaire ».

Dosimétrie au poignet

La dose totale enregistrée en 2016 pour les 5 575 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet est de 28,8 Sv ; elle est en diminution de 12,7 % par rapport à celle de 2015.

Tout comme en 2015, la dose individuelle maximale est enregistrée dans le secteur de la logistique et de la maintenance (168 mSv).

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

En 2016, 119 travailleurs du domaine nucléaire répertoriés dans la catégorie « autres » ont bénéficié d'un suivi dosimétrique au cristallin (contre trois travailleurs en 2015) ; ce qui représente 3 % de l'effectif total tout secteur d'activité confondu. La dose totale enregistrée

en 2016 pour les 119 travailleurs suivis est de 16,2 mSv ce qui contribue à 2 % de la dose totale enregistrée pour le cristallin. La dose individuelle moyenne de l'effectif exposé est de 0,5 mSv.

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.

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 α (^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu , ...). Les analyses

fécales sont pratiquées essentiellement pour la mesure des actinides.

Par ailleurs, le prélèvement du mucus nasal est un indicateur d'exposition adapté pour les émetteurs α selon les recommandations de bonnes pratiques labellisées par la HAS [3]. C'est un examen rapide largement utilisé dans le nucléaire, qui n'a pas de visée dosimétrique mais qui peut être employé comme indicateur du besoin d'autres investigations individuelles et peut être également utile pour réduire l'incertitude quant à la date d'incorporation pour l'estimation de la dose.

SURVEILLANCE DE ROUTINE, DE CHANTIER ET DE CONTROLE

D'après les données collectées pour établir le bilan 2016, il apparaît que les examens anthroporadiométriques sont majoritairement réalisés dans le domaine nucléaire puisqu'ils représentent 49 % des 246 794 examens réalisés en surveillance de routine dans ce domaine.

Viennent ensuite les analyses radiotoxicologiques urinaires (10 %) et de selles (4 %). Les analyses sur le mucus nasal représentent 38 % des examens de routine et sont généralement réalisées pour vérifier la non-contamination aux actinides en sortie de zone.

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
Enrichissement et conversion	AREVA Pierrelatte, AREVA SET (GB II), AREVA EURODIF, AREVA Malvési
Fabrication du combustible	AREVA 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 et de AREVA MELOX, AREVA CADARACHE (Intercontrôle), 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

Le Tableau 15 présente les résultats de la surveillance faite en 2016 par 23 969 analyses radiotoxicologiques urinaires. Les deux secteurs effectuant majoritairement ces analyses sont celui du retraitement et celui de l'armement, avec

respectivement 33 % et 28 %. Le pourcentage d'analyses radiotoxicologiques urinaires qui sont positives est de 1,3 %, stable par rapport à 2015 (1,4 %).

Tableau 15 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine nucléaire en 2016

Secteurs d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif
Propulsion nucléaire	1 012	0	0
Armement	6 739	167	12
Enrichissement et conversion	1 048	5	4
Fabrication du combustible	212	13	9
Réacteurs de production d'énergie	158	55	21
Retraitement	7 839	20	20
Démantèlement des installations nucléaires	939	8	4
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	1 981	0	0
Autres activités (nucléaire)	4 041	40	36
Total	23 969	308	106

(*) 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 Tableau 16 présente le nombre d'analyses radiotoxicologiques des selles pour les différents secteurs, au nombre de 8 825 réalisées en 2016. Le secteur des réacteurs de production d'énergie est celui pour lequel le nombre d'examen est le plus élevé (27 % des analyses de selles réalisées dans ce domaine), suivi des secteurs des autres activités nucléaires (16,5 %), de la logistique et maintenance (15,8 %), de l'armement (13,6 %) et du retraitement (13,5 %). Tous secteurs confondus, le pourcentage d'analyses radiotoxicologiques de selles qui sont positives

est de 5,4 % (206 personnes concernées), soit un taux légèrement plus élevé que celui enregistré en 2015 (4,4 %).

Par ailleurs, 93 411 comptages sur prélèvements nasaux ont été réalisés en 2016 sur un effectif indicatif de 3 428 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 (< 0,2 %).

Tableau 16 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de selles dans le domaine nucléaire en 2016

Secteurs d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif
Armement	1200	5	0
Enrichissement et conversion	122	2	1
Fabrication du combustible	339	143	104
Réacteurs de production d'énergie	2 399	222	38
Retraitement	1 192	8	8
Démantèlement des installations nucléaires	701	37	22
Effluents, déchets et matériaux récupérables (y compris ne provenant pas du cycle)	25	0	0
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	1 391	45	18
Autres activités (nucléaire)	1 456	15	15
Total	8 825	477	206

(*) 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 Tableau 17 présente la répartition des 120 589 examens anthroporadiométriques réalisées en 2016 sur environ 80 000 travailleurs. Pour 78 %, ces examens sont réalisés par EDF sur les sites des centrales nucléaires, pour les travailleurs d'EDF ainsi que pour les prestataires, représentant un effectif de 63 634 travailleurs. La baisse du nombre de ces examens déjà observée en 2013, 2014 et 2015 (-20 %) se poursuit en 2016, avec une diminution de 7 % par rapport à 2015. Cette baisse est liée à la suppression des examens anthroporadiométriques systématiques d'entrée de site.

Les examens en entrée de site sont toutefois maintenus notamment pour le suivi des intervenants sur des chantiers ou activités à risque spécifique, ou à la demande dans le cadre d'une surveillance spéciale. Les 83 examens anthroporadiométriques positifs enregistrés sur les CNPE d'EDF ont concerné 73 travailleurs.

Le retraitement est le deuxième secteur en nombre d'examens réalisés (9,8 % des examens anthroporadiométriques du domaine nucléaire). Ce pourcentage et les chiffres des autres secteurs sont comparables à ceux de 2015.

Tableau 17 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques dans le domaine nucléaire en 2016

Secteurs d'activité	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs (*)	Nombre de travailleurs avec un résultat positif
Transport nucléaire	22	0	0
Propulsion nucléaire	4415	3	1
Armement	1 292	0	0
Fabrication du combustible	4	0	0
Réacteurs de production d'énergie (**)	94 619	83	73
Retraitement	11 850	27	27
Démantèlement des installations nucléaires	1 192	1	1
Effluents, déchets et matériaux récupérables	227	0	0
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	3 827	4	4
Autres activités (nucléaire)	3 141	1	1
Total	120 589	119	107

(*) 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.

SURVEILLANCE SPECIALE

Les 9 307 examens réalisés dans le cadre d'une surveillance spéciale (Tableau 18) se répartissent majoritairement entre les travailleurs des centrales nucléaires d'EDF (60 % des examens) et

ceux du retraitement (15 %). 1 313 examens se sont révélés positifs, concernant 570 travailleurs du domaine nucléaire.

Tableau 18 - Examens réalisés en 2016 à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale) dans le domaine nucléaire

Secteurs d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (*)	Nombre de travailleurs avec un résultat positif
Propulsion nucléaire	7	0	0
Armement	445	14	8
Enrichissement et conversion	422	22	9
Fabrication du combustible	167	32	18
Réacteurs de production d'énergie (**)	5 623	997	425
Retraitement	1 365	122	32
Démantèlement des installations nucléaires	458	57	25
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	384	37	30
Autres activités (nucléaire)	436	32	23
Total	9 307	1 313	570

(*) 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) ».

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

Dans le domaine nucléaire, 482 travailleurs ont fait l'objet d'un calcul de dose interne en 2016. Les trois secteurs d'activité les plus concernés sont la fabrication du combustible (336 travailleurs), les réacteurs de production d'énergie (87 travailleurs) et le secteur de la logistique et de la maintenance (19 travailleurs). Douze personnes sont concernées dans l'armement et 12 autres dans l'enrichissement, 8 personnes sont concernées dans le

démantèlement ; 7 personnes dans le retraitement.

Pour trois travailleurs, la dose efficace engagée estimée dépasse 1 mSv, avec une valeur maximale de 19,4 mSv enregistrée pour un travailleur du secteur de la logistique et maintenance nucléaire. Les deux autres doses engagées (1,1 et 1,78 mSv) relèvent respectivement du secteur de l'armement et de celui de la fabrication du combustible.

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Aucun cas de dépassement de la limite de dose de 20 mSv n'a été enregistré en 2016 dans le domaine du nucléaire.

Aucun dépassement de la limite de 500 mSv aux extrémités ou à la peau n'a été enregistré en 2016 dans ce domaine.

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

En 2016, 163 événements de radioprotection (ERP) recensés concernent des personnes travaillant dans le domaine. Le Tableau 19 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, 5 événements ont été

classés au niveau 1 de l'échelle INES. Ces événements de contamination cutanée conduisant au dépassement du quart de la limite de dose réglementaire font l'objet du focus ci-après.

La répartition des ERP concernant les INB du domaine nucléaire, déclarés au titre de la radioprotection (Tableau 20) montre que plus de 32 % d'entre eux relèvent du critère « zonage ».

Tableau 19 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans le domaine nucléaire en 2016

Secteurs d'activité	Nombre d'événements recensés
Réacteurs de production d'énergie	119
Démantèlement et maintenance de matériels nucléaires	16
Enrichissement et conversion	9
Traitement et conditionnement des matériaux et déchets	8
Retraitement	5
Fabrication du combustible	3
Armement	2
Stockage de substances radioactives	1
Total général	163

Tableau 20 - Répartition des événements recensés dans le domaine nucléaire en fonction des critères de déclaration ASN en 2016

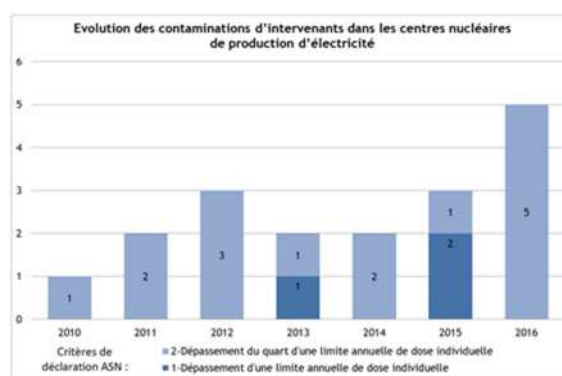
Critères de déclaration radioprotection INB	Nombre d'événements recensés
2-Dépassement du quart d'une limite de dose individuelle	6
3-Propreté radiologique	14
4-Analyse de radioprotection formalisée	3
6-Source	7
7-Zonage	53
9-Contrôle périodique appareil de surveillance radiologique	1
10 -Tout autre écart significatif pour l'ASN ou l'exploitant	79
Total général	163

FOCUS

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

En 2016, si aucun cas de dépassement de la limite de 500 mSv en dose équivalente à la peau n'a été enregistré, cinq événements de contamination conduisant au dépassement du quart de cette limite réglementaire ont été déclarés en centre nucléaire de production d'électricité.

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 (cf. Figure ci-dessous). 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 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 ».

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 2016, le nombre total de travailleurs suivis dans le domaine de l'industrie non nucléaire est en augmentation de 3,6 % par rapport à 2015. La dose collective est, dans le même temps, quasiment stable. Il est en effet observé une très légère 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 1,38 à 1,36 mSv.

• **38 127** travailleurs suivis (10,2 % de l'effectif)

• Dose collective annuelle :

17,8 homme.Sv

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

1,36 mSv

Analyse suivant les activités professionnelles

Le Tableau 21 présente les résultats de la surveillance dosimétrique répartis par secteur d'activité (exposition aux photons et aux neutrons).

L'industrie non nucléaire reste en 2016 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 plus de 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 répartissent ainsi

entre les secteurs du contrôle utilisant des gammagraphes et des générateurs X, le secteur des opérations de logistique et de maintenance par des prestataires et le secteur « Autres ». Ils représentent 2,9 % de l'effectif total du domaine nucléaire, avec une contribution à la dose collective de 0,16 %.

La dose individuelle annuelle maximale enregistrée en 2016 dans les activités de contrôles utilisant des sources de rayonnement est de 65,2 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, 66 % 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 21 - Surveillance de l'exposition externe dans l'industrie non nucléaire en 2016

Domaine d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total ^(a) (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(b) (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Contrôles utilisant des sources	3 744	1,52	0,41	1,20	2 474	936	254	68	11	0	1
Soudage par faisceau d'électron	307	0,02	0,08	0,58	264	39	2	2	0	0	0
Production et conditionnement de radio-isotopes	741	0,12	0,16	0,72	572	144	20	5	0	0	0
Stérilisations	39	0,01	0,19	0,29	14	25	0	0	0	0	0
Contrôles de sécurité des personnes et des biens	29	0,00	0,17	0,44	18	9	2	0	0	0	0
Logistique et maintenance (prestataires)	389	0,01	0,03	0,16	327	62	0	0	0	0	0
Autres	32 878	16,11	0,49	1,40	21 375	7 740	2 777	847	128	0	0
Total	38 127	17,79	0,47	1,36	25 054	8 956	3 055	922	139	0	1

(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 9 584 travailleurs de l'industrie non nucléaire en 2016 (contre 9 342 en 2015), ce qui représente une augmentation de 2,6 %. 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 ». 5 % 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 40,5 homme.mSv, ce qui correspond à une contribution à la dose collective totale du domaine de 0,2 %. Cette dose collective associée à l'exposition aux neutrons est en diminution de 30 % par rapport à 2015. En 2016, la dose individuelle maximale est de 3,3 mSv.

Evolution de la dose externe sur la période 1997-2016

La Figure 30 présente l'évolution de l'effectif suivi et des doses collectives dans l'industrie non nucléaire entre 1997 et 2016.

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 l'effectif de l'industrie non nucléaire et la dose collective associée n'ont pas connu de variation significative jusqu'en 2014. Après la nette augmentation des effectifs et de la dose associée observée en 2015, les données de 2016 montrent une légère augmentation des effectifs mais une stabilité de la dose associée.

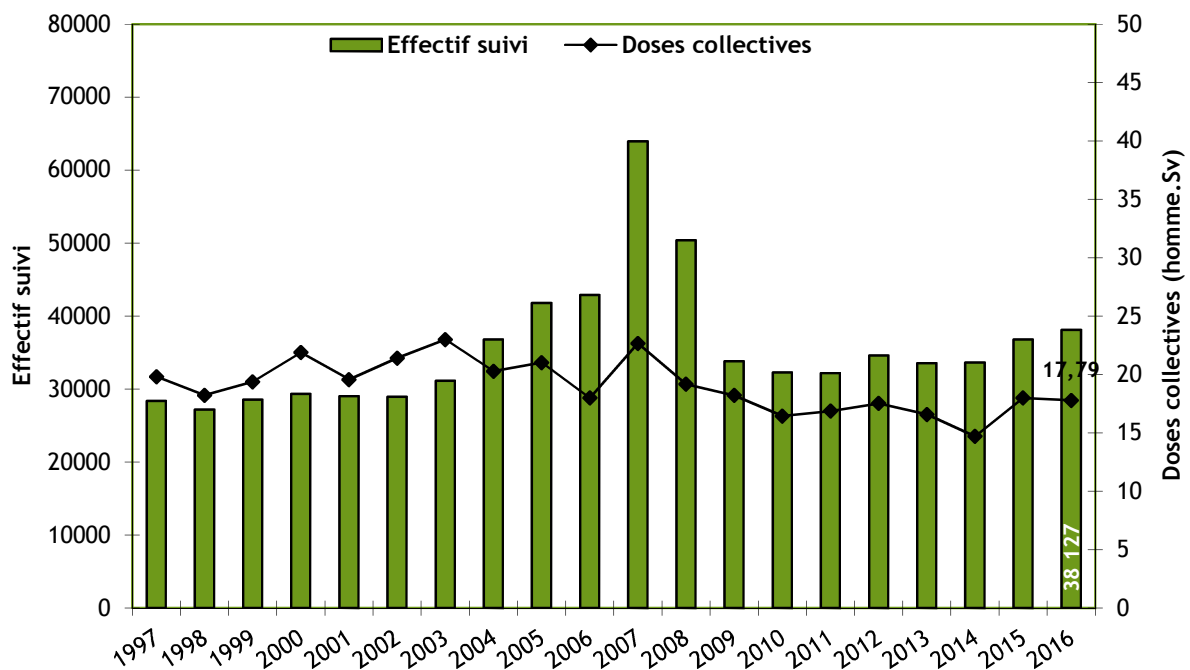


Figure 30 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans l'industrie non nucléaire (période 1997-2016)

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2016, 2 951 travailleurs de l'industrie non nucléaire ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités, la dose totale enregistrée étant de 6,93 Sv et la dose individuelle moyenne de 2,3 mSv. Cette dernière était de 1,9 mSv en 2015

pour 2 842 travailleurs suivis. Il apparaît que 61 % des travailleurs suivis sont non exposés, les 49 % restants ayant été exposés à moins de 362 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 reste stable à 61 % en 2016. La dose totale enregistrée pour les 1 789 travailleurs bénéficiant d'une dosimétrie par bague atteint 6,2 Sv, dose reçue à 94,7 % par des

travailleurs dont le secteur d'activité n'est pas connu. Sur l'effectif total suivi aux extrémités par une bague, 63 % des travailleurs n'ont pas été exposés ; les 47 % restants ont reçu une dose inférieure à 362 mSv, dose individuelle maximale enregistrée dans ce domaine.

Dosimétrie au poignet

La dose totale enregistrée pour les 1 162 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet atteint 0,73 Sv. L'activité de 76 % des travailleurs (qui cumulent 91 % de la dose totale) n'est pas connue précisément. Sur l'effectif total suivi par un dosimètre poignet, 59 % des travailleurs ne sont

pas exposés (ou ont reçu une dose aux extrémités inférieure au seuil d'enregistrement). Les 41 % restants ont reçu une dose inférieure ou égale à 38,5 mSv, dose individuelle maximale enregistrée dans ce domaine.

DOSIMETRIE DU CRISTALLIN

En 2016, 534 travailleurs (contre 5 en 2015) du domaine industriel non nucléaire ont bénéficié d'un suivi dosimétrique au cristallin, ce qui représente le plus gros effectif (12 %) après le domaine des activités médicales et vétérinaires (84 %). En 2016, la totalité de la dose pour cet effectif, soit une valeur de 95,4 homme.mSv est enregistrée dans la catégorie « autres » (contre une dose totale de 14,85 homme.mSv enregistrée en 2015). Ce résultat est emblématique du manque de renseignement de

l'activité professionnelle des travailleurs suivis dans le domaine de l'industrie non nucléaire.

Sur l'effectif total ayant bénéficié d'une dosimétrie du cristallin, 78 % ne sont pas exposés (ou ont reçu une dose aux extrémités inférieure au seuil d'enregistrement). Les 22 % restants ont reçu une dose inférieure ou égale à 6,3 mSv, dose individuelle maximale enregistrée dans ce domaine. La dose moyenne de l'effectif exposé s'élève à 0,8 mSv.

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. Après une augmentation de 37 % en 2015, le nombre d'analyses réalisées dans le cadre d'une surveillance de routine diminue de près de 37 % en 2016, avec 1 100 analyses (vs 1 743 en 2015) sur un nombre indicatif de 380 travailleurs. Les analyses radiotoxicologiques, représentant 74 %

des examens de routine, sont à 99,6 % des analyses d'urine. Le complément (26 %) est réalisé par des anthroporadiométries. Environ 1,1 % de l'ensemble des analyses réalisées se sont révélées positives, concernant 8 travailleurs.

Le Tableau 22 détaille la répartition des analyses radiotoxicologiques urinaires par secteur. En 2016, ces analyses sont principalement réalisées pour des travailleurs du secteur de la production et du

conditionnement de radio-isotopes, avec 667 analyses d'urine. 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 2015 avec respectivement 76 et 16 analyses réalisées.

Par ailleurs, trois analyses radiotoxicologiques des selles (dont deux positives) ont été réalisées chez un travailleur exerçant dans une entreprise de démolition (classée dans le secteur des autres usages industriels).

Tableau 22 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans l'industrie non nucléaire en 2016

Secteurs d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (*)	Nombre de travailleurs avec un résultat positif
Production et conditionnement de radio-isotopes (y compris industrie radiopharmaceutique)	667	0	0
Contrôles pour la sécurité des personnes et des biens	76	0	0
Logistique et maintenance dans le secteur industriel (prestataires)	16	0	0
Autres usages industriels	52	1	1
Total	811	1	1

(*) 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'examens anthroporadiométriques pratiqués sur des travailleurs du domaine du contrôle utilisant des sources de rayonnements est le plus élevé avec 230 anthroporadiométries réalisées sur 230 personnes. Sachant que des erreurs de classement des travailleurs par domaine d'activité existent, il est possible qu'un certain nombre de ces examens soient en réalité réalisés pour des travailleurs d'autres domaines, sans qu'il soit possible d'en déterminer le

nombre exact en l'état actuel des méthodes utilisées pour ce recensement. Le nombre d'examens anthroporadiométriques dans le secteur de la production et du conditionnement de radioisotopes est en légère diminution (36 examens en 2016 vs 64 en 2015).

3 % des examens sont positifs, avec six personnes concernées sur les 264 travailleurs suivis par anthroporadiométrie dans ce domaine.

SURVEILLANCE SPECIALE

En 2016, 518 examens (contre 88 en 2015) ont été réalisés pour 102 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 (37 examens en

2016 vs 38 en 2015). Pour les autres usages industriels (479 analyses), cette surveillance a été réalisée à 97 % par des analyses radiotoxicologiques et a concerné majoritairement des entreprises du bâtiment ou de travaux publics (maçonnerie, terrassement, construction...) (cf. Tableau 23).

Tableau 23 - Examens réalisés à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale) dans l'industrie non nucléaire en 2016

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif
Production et conditionnement de radio-isotopes (y compris industrie radiopharmaceutique)	8	37	6	2
Contrôles pour la sécurité des personnes et des biens	1	2	0	0
Autres usages industriels	93	479	178	71
Total	102	518	184	73

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

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

En 2016, un travailleur a fait l'objet d'un calcul de la dose engagée dans le secteur de la production et conditionnement de radio-isotopes. Il s'agissait d'une contamination par du strontium 82 et 85 et

du rubidium 83, 84 et 86 (lors d'un incident survenu dans un site de production de radiopharmaceutiques). La dose engagée était très faible, inférieure à 0,01 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 2016 pour un travailleur dans le secteur du contrôle non destructif. La dose enregistrée est de 65,2 mSv.

Aucun dépassement de la limite de 500 mSv aux extrémités ou à la peau n'a été enregistré en 2016 dans ce domaine.

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Au cours de l'année 2016, 34 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. Tout comme en 2015, la majorité d'entre eux se sont produits dans le

secteur des contrôles utilisant des sources de rayonnements (Tableau 24).

Parmi les 34 événements recensés par l'IRSN, 17 ont fait l'objet de déclarations d'événements significatifs au titre de la radioprotection.

Tableau 24 - Répartition par secteur d'activité des événements survenus dans l'industrie non nucléaire en 2016

Secteurs d'activité	Nombre d'événements recensés
Contrôles utilisant des sources de rayonnements	20
Production et conditionnement de radio-isotopes	6
Autres usages industriels et de services hors transport	4
Contrôles pour la sécurité des personnes et des biens	2
Logistique et maintenance dans le secteur industriel	2
Total général	34

Durant l'année 2016, 6 événements significatifs ont été classés au niveau 1 de l'échelle INES, il s'agit de vols ou pertes d'appareil d'analyse par

fluorescence X contenant une source radioactive, utilisé pour la recherche de plomb dans les peintures.

DOMAINE DE LA RECHERCHE ET DE L'ENSEIGNEMENT



SOMMAIRE

BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES	p. 102
Dosimétrie corps entier	
Dosimétrie des extrémités	
BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES.....	p. 105
Surveillance de routine, de chantier et de contrôle	
Surveillance spéciale	
Estimations dosimétriques	
DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	p. 107
SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	p. 107



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 diminue de 12 % par rapport à 2015 avec 11 635 travailleurs en 2016. Les niveaux d'exposition des travailleurs concernés sont restés stables. La dose collective passe de 0,42 à 0,41 homme.Sv, la dose individuelle annuelle moyenne de 0,25 à 0,24 mSv (calculée sur l'effectif exposé, i.e. pour lequel au moins une dose supérieure au seuil d'enregistrement a été enregistrée).

- **11 635** travailleurs suivis (3,1 % de l'effectif)

- Dose collective annuelle :

0,41 homme.Sv

- Dose individuelle annuelle moyenne

calculée sur l'effectif exposé :

0,24 mSv

Analyse suivant les activités professionnelles

Le Tableau 25 présente les résultats de la surveillance dosimétrique répartis par secteur d'activité (exposition aux photons et aux neutrons).

En 2016, près d'un tiers des effectifs (32 %) appartient au secteur des activités de recherche liées aux installations nucléaires et un peu plus des deux tiers (68 %) 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 (74 personnes en 2016) 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 3,2 % de l'effectif total du domaine de la recherche et de

l'enseignement, avec une contribution à la dose collective également de 0,6 %. 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 2016 est de 7,16 mSv, enregistrée dans le secteur de la recherche (autre que nucléaire et médicale) et de l'enseignement.

La proportion de travailleurs dont la dose est en dessous du seuil d'enregistrement est comprise entre 82 et 97 % 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 de deux doses égales à 6,45 et 7,16 mSv. Les chiffres sont globalement stables par rapport à 2015.

Tableau 25 - Surveillance de l'exposition externe dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2016

Secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total ^(a) (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(b) (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique	74	0,00	0,01	0,30	72	2	0	0	0	0	0
Installations de recherche liées au Nucléaire	3 689	0,11	0,03	0,33	3 352	318	18	1	0	0	0
Recherche (autre que nucléaire et médical) et Enseignement	7 872	0,30	0,04	0,22	6 477	1 371	23	1	0	0	0
Total	11 635	0,41	0,04	0,24	9 901	1 691	41	2	0	0	0

(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 3 406 travailleurs du domaine de la recherche en 2016 (soit 29 % de l'effectif total suivi dans ce domaine). Cet effectif est en diminution par rapport à 2015 (- 19%). La dose collective associée est également en baisse avec une valeur de 6,5 homme.mSv (contre 23,5 homme.mSv en 2015), soit 1,6 % de la dose

collective totale du domaine et la dose individuelle maximale enregistrée de 1,7 mSv dans les activités de recherche liées aux installations nucléaires. Les travailleurs de ce secteur représentent la majorité des travailleurs du domaine de la recherche et de l'enseignement (60 %) et reçoivent 91 % de la dose collective neutron.

Evolution de la dose externe sur la période 1997-2016

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, dont 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 1997, 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 2016 marque une baisse par rapport aux années 2013 - 2015 avec 11 635 travailleurs.

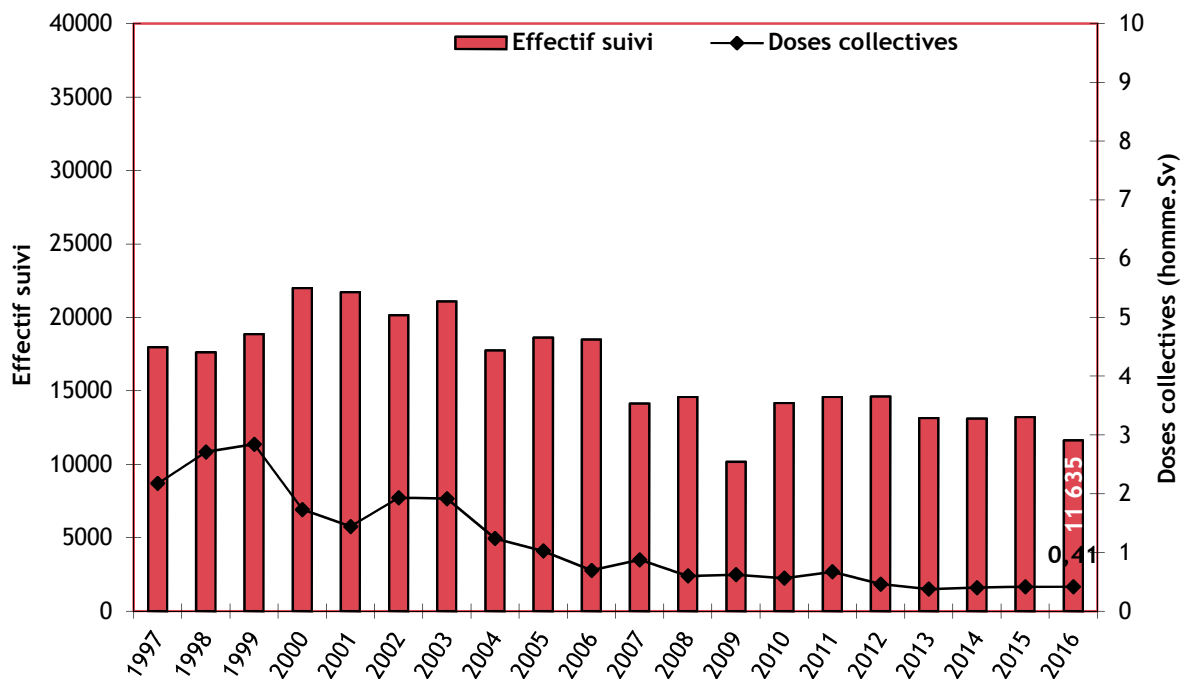


Figure 31 - Evolution de l'effectif suivi et de la dose collective dans le domaine de la recherche et de l'enseignement (période 1997-2016)

DOSIMETRIE DES EXTREMITES

En 2016, 1 575 travailleurs du domaine de la recherche ont bénéficié d'un suivi dosimétrique aux extrémités. Cet effectif est stable par rapport à 2015, la dose totale enregistrée est de 2,35 Sv et la dose individuelle moyenne de 1,5 mSv. Sur

l'ensemble de l'effectif, 78 % sont non exposés et les 22 % restants sont exposés à moins de 150 mSv. La dose individuelle maximale enregistrée aux extrémités en 2016 s'élève à 124 mSv.

Dosimétrie par bague

64 % des effectifs ayant une dosimétrie des extrémités en 2016 portent un dosimètre bague. La dose totale enregistrée auprès de ces 1 008 travailleurs atteint 2,25 Sv. Cette dose est reçue à 84 % par des travailleurs du secteur de la recherche (hors médical et nucléaire) et de l'enseignement et à 16 % par des travailleurs exerçant des activités de recherche au sein des installations nucléaires, cette dernière proportion étant plus faible qu'en 2015. Les travailleurs identifiés comme intervenant dans le secteur de la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique ont reçu moins de 0,3 % de cette dose, mais leur faible effectif (16 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, 80 % des travailleurs des installations de recherche liées au nucléaire sont non exposés et les 20 % restants ont reçu une dose inférieure à 118 mSv, dose maximale enregistrée dans ce secteur (134 mSv en 2015). Pour le secteur de la recherche et de l'enseignement hors secteurs nucléaire et médical, 72 % des travailleurs sont non exposés et les 28 % restants ont reçu une dose inférieure ou égale à 124 mSv.

Dosimétrie au poignet

La dose totale enregistrée auprès des 567 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet atteint 0,09 Sv, dose reçue à 74 % 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, 86 % des travailleurs suivis pour une dosimétrie poignet sont non exposés et les 14 % restants ont reçu une dose inférieure ou égale à 9,4 mSv, dose individuelle maximale enregistrée au poignet dans le domaine des installations de recherche liées au nucléaire.

BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

SURVEILLANCE DE ROUTINE, DE CHANTIER ET DE CONTROLE

Dans le domaine de la recherche, un tiers des 15 072 analyses réalisées dans le cadre de la surveillance de routine sont des examens anthroporadiométriques (33 %), suivies par les analyses radiotoxicologiques urinaires (32 %). Les analyses radiotoxicologiques de selles sont minoritaires ce domaine (4 %). Les comptages sur prélèvements nasaux représentent 31 % des analyses et sont réalisés dans leur totalité dans le secteur des installations de recherche liées au nucléaire. Les analyses radiotoxicologiques urinaires sont mises en œuvre majoritairement (87 %) dans le secteur des installations de recherche liée au nucléaire (Tableau 26) ce qui représente 4 164 analyses urinaires dont 2 se sont révélées positives chez 2 travailleurs de ce secteur. Dans le secteur de la recherche médicale,

vétérinaire et pharmaceutique 4 analyses réalisées en 2016 sur 4 travailleurs se sont relevées positives (0,7 % des analyses urinaires de ce secteur). A noter également 6 analyses de selles positives sur des personnes du secteur des installations de recherche liées au nucléaire.

En 2016, la réalisation d'examens anthroporadiométriques a concerné presque exclusivement le secteur des installations de recherche liées au nucléaire (99,5 %). Un examen anthroporadiométrique sur les 4 925 réalisés s'est révélé positif.

SURVEILLANCE SPECIALE

Les 482 analyses réalisées dans le cadre d'une surveillance spéciale l'ont été en majorité dans le secteur des installations de recherche liées au nucléaire (64 %), suivies par les secteurs de la recherche médicale, vétérinaire et pharma-

ceutique (31 %) puis de la recherche et de l'enseignement (5 %). Onze examens ont été considérés positifs, sur huit travailleurs (Tableau 27).

Tableau 26 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine de la recherche et de l'enseignement en 2016

Secteurs d'activité	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif
Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique	573	4	4
Installations de recherche liées au Nucléaire	4 164	2	2
Recherche (autre que nucléaire et médical) et Enseignement	76	0	0
Total	4 813	6	6

(*) 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 27 - 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 en 2016

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'analyses	Nombre d'analyses considérées positives (*)	Nombre de travailleurs avec résultat positif
Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique	67	151	1	1
Installations de recherche liées au Nucléaire	130	307	8	6
Recherche (autre que nucléaire et médical) et Enseignement	11	24	2	1
Total	208	482	11	8

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

ESTIMATIONS DOSIMETRIQUES

En 2016, 6 travailleurs de la recherche (tous dans le secteur des installations de recherche liées au nucléaire) sont identifiés comme ayant fait l'objet d'un calcul de dose interne. Pour l'un d'entre eux,

la dose efficace engagée calculée est supérieure à 1 mSv, avec une valeur de 15,5 mSv qui constitue la dose individuelle maximale enregistrée dans ce domaine.

DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Aucun dépassement de limite annuelle réglementaire de dose n'a été enregistré en 2016 dans le domaine de la recherche et de l'enseignement.

SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Au cours de l'année 2016, 18 événements survenus dans des établissements de recherche ont été recensés :

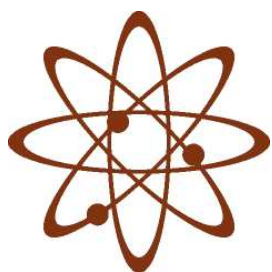
- 9 ERP survenus dans des installations de recherche liées au nucléaire,
- 5 ERP survenus dans des établissements d'enseignement et de recherche (autre que nucléaire et médical),
- 4 ERP survenus dans des établissements de recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique.

La répartition des 16 ERP, dont l'IRSN a connaissance d'une déclaration au titre de la radioprotection du domaine de la recherche, est présentée dans le Tableau 28. Parmi les événements déclarés, 5 événements ont été classés au niveau 1 de l'échelle INES. Il s'agit de découvertes fortuites de sources radioactives dans des laboratoires ou des centres de recherche universitaire sans conséquence dosimétrique pour les travailleurs.

Tableau 28 - Répartition des événements recensés dans le domaine de la recherche en fonction des critères de déclaration ASN en 2016

Critères de déclaration radioprotection	Nombre d'événements recensés
0 - Tout autre écart significatif pour l'ASN ou l'exploitant	8
1- Dépassement d'une limite annuelle de dose individuelle (réel ou potentiel)	2
4.2 / 6 - Découverte de sources	6
Total	16

EXPOSITION A LA RADIOACTIVITE NATURELLE



SOMMAIRE

EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUEp. 110

EXPOSITION AUX MATERIAUX NORM OU AU RADON
D'ORIGINE GEOLOGIQUEp. 111

Evaluation du risque sur les lieux de travail

Données de surveillance des travailleurs



EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE

L'année 2016 est la première année de plein fonctionnement du dispositif SIEVERTPN de suivi dosimétrique (cf. page 29) des personnels navigants (PN). En effet, au 31 décembre 2016 SIEVERTPN avait transmis la totalité des doses des PN à SISERI pour dix compagnies civiles ayant adhéré. Au total 19 875 PN ont été suivis. D'autres compagnies dont les PN, du fait de leur activité, sont susceptibles de dépasser le millisievert n'adhèrent pas encore au dispositif SIEVERTPN. Ces compagnies ont été identifiées par l'IRSN et des échanges sur les modalités de leur adhésion sont en cours pour certaines d'entre elles.

Le Tableau 29 présente le bilan du suivi des PN civils (calcul des doses par SIEVERTPN) ; le Tableau 30 présente le bilan des PN militaires (données du SPRA, issues de mesures de l'équivalent de dose $H_p(10)$ à l'aide de dosimètres individuels pour les deux composantes photonique et neutronique).

En 2016, 18 % des doses individuelles annuelles des PN civils sont inférieures à 1 mSv et 82 % des doses sont supérieures ou égales à 1 mSv. Les doses maximales observées se situent, pour 186 PN, entre 4 et 5,2 mSv (dose individuelle maximale enregistrée pour les PN civils en 2016, contre 4,4 mSv en 2015). Cette répartition des doses est comparable à celle observée en 2015 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 (identique en 2015).

Les doses des personnels militaires (Tableau 30) sont nettement plus basses, de par la nature des missions (plus courtes et à plus basse altitude) en comparaison des vols civils.

Tableau 29 - Bilan 2016 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
19875	40,7	2,0	2,0	5,2	0	3623	16248	4	0	0	0

Tableau 30 - Bilan 2016 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
440	0,1	0,3	0,4	1,6	109	326	5	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'établissement 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. 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.

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.

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

En 2016, aucune nouvelle étude produite en application l'arrêté du 25 mai 2005 n'a été transmise à l'IRSN.

Dans le cadre de la transposition de la directive européenne 2013/59/EURATOM, l'arrêté du 25 mai 2005 sera abrogé. La partie « travailleurs » (études de poste à réaliser ou non, mise en place de mesures de radioprotection ou non...) sera implémentée dans le code du travail. Pour la protection des intérêts de santé publique et environnement, les aspects réglementaires propres aux activités NORM seront implémentés en partie dans le Code de la Santé Publique et en partie dans le Code de l'Environnement. Dans ce dernier seront notamment indiquées la liste des activités concernées et la méthodologie pour définir la nécessité de mettre en place un contrôle réglementaire (cf. focus p 113).

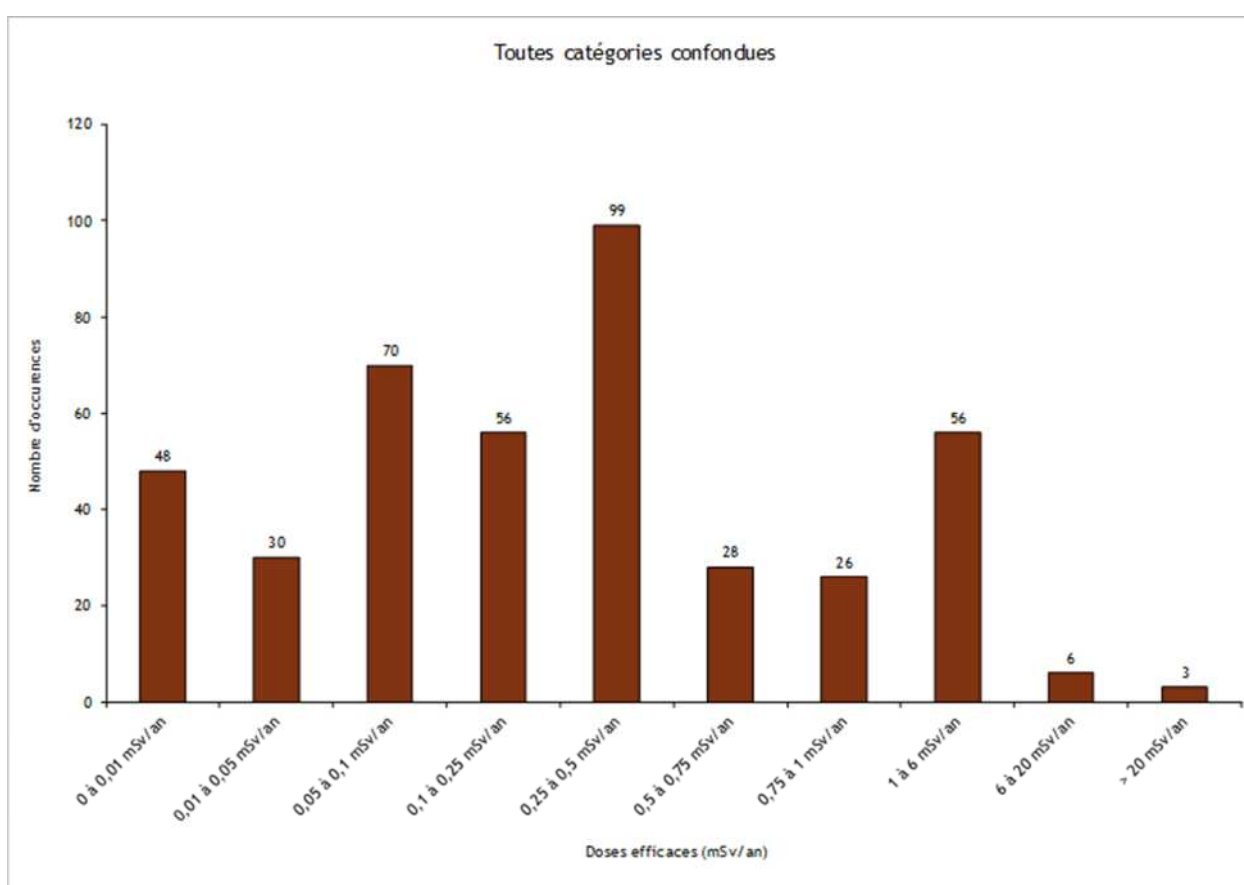


Figure 32 - Distribution des doses efficaces calculées par les industriels pour les travailleurs, toutes catégories d'activités professionnelles confondues (période 2005-2016)

Évolution de la réglementation des activités NORM

Suite à la transposition de la directive européenne 2013/59/EURATOM en droit français, une évolution du code de l'environnement est attendue courant 2017. Il s'agit d'une nouvelle section (« Section 11 - Installations susceptibles de mettre en œuvre ou de générer des substances radioactives d'origine naturelle »). Cette nouvelle section précise une liste d'activités qui comprend :

- Extraction de terres rares à partir de monazite, traitement des terres rares et production de pigments en contenant,
- Production de composés du thorium, fabrication de produits contenant du thorium et travail mécanique de ces produits,
- Traitement de minerai de niobium/tantale et d'aluminium,
- Production pétrolière et gazière, hors forage de recherche,
- Production d'énergie géothermique, hors géothermie de minimes importances,
- Production de dioxyde de titane,
- Production thermique de phosphore,
- Industrie du zircon et du zirconium dont l'industrie des céramiques réfractaires,
- Production d'engrais phosphatés,
- Production de ciment dont la maintenance de fours à clinker,
- Centrales thermiques au charbon dont la maintenance de chaudière,
- Production d'acide phosphorique,
- Production de fer primaire,
- Activités de fonderie d'étain, plomb ou cuivre,
- Activités de verrerie, fonderie, sidérurgie et métallurgie mettant en œuvre des céramiques réfractaires,
- Traitement par filtration d'eaux souterraines circulant dans des roches magmatiques,
- Extraction de matériaux naturels d'origine magmatique tels que les granitoïdes, les porphyres, le tuf, la pouzzolane et la lave,
- Fabrication de papiers et cartons avec une étape de blanchiment par sulfate de baryum.

Pour ces activités, l'exploitant doit caractériser les matières détenues sur son installation (matières premières, produits, sous-produits, résidus, déchets) et comparer les activités massiques mesurées aux valeurs limites d'exemption pour les radionucléides naturels fixées dans le tableau 1 de l'annexe 13-8 du code de la santé publique (CSP). Trois situations sont alors possibles :

- 1) Aucune activité massique ne dépasse sa valeur limite d'exemption, alors l'installation est exemptée de tout contrôle réglementaire vis-à-vis du risque radiologique ;
- 2) Une ou plusieurs activités massiques dépassent leur valeur limite d'exemption mais la quantité de matières est inférieure à 1 tonne, l'activité ou l'installation est exemptée de contrôle réglementaire ;
- 3) Une ou plusieurs activités massiques dépassent leur valeur limite d'exemption et la quantité de matières est supérieure à 1 tonne, l'activité ou l'installation est soumise à contrôle réglementaire.

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 2016,

trois sessions de formation ont été organisées pour chaque type d'agrément.

A l'issue de la commission d'agrément de juillet 2016, 50 organismes disposent de l'agrément Niveau 1 option A, 11 organismes du Niveau 1 option B et 7 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 108 rapports reçus (dont certains concernent le même établissement) dont 14 dossiers en 2016 portant sur des établissements thermaux, usines hydro-électriques ou ouvrages souterrains (parking, piscine,...).

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 31) et de l'exposition interne mesurée à l'aide du dosimètre alpha individuel (Tableau 32).

Les 462 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 ainsi que dans des lieux entraînant une exposition particulière au radon (cavités et installations souterraines). Les 249 travailleurs suivis pour leur

exposition interne exercent dans les secteurs cités ci-dessus.

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 concentration volumique de radon dans l'air nécessitant 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 reçoit 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 2015.

Tableau 31 - Données relatives à l'exposition externe aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium en 2016

Secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total ^(a) (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(b) (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 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	0,20	0,20	0	1	0	0	0	0	0
Manipulation et stockage	160	0,01	0,09	0,11	23	137	0	0	0	0	0
Activités dans un lieu entraînant une exposition professionnelle au radon et descendants	229	0,00	0,01	0,13	211	18	0	0	0	0	0
Autres (sources naturelles)	72	0,01	0,09	0,24	46	26	0	0	0	0	0
Total	462	0,02	0,05	0,13	280	182	0	0	0	0	0

Tableau 32 - Données relatives à l'exposition interne aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium en 2016

Secteur d'activité	Effectif suivi	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif total ^(a) (mSv)	Dose individuelle moyenne sur l'effectif exposé ^(b) (mSv)	Répartition des effectifs par classes de dose						
					< seuil	du seuil à 1 mSv	de 1 à 5 mSv	de 5 à 10 mSv	de 10 à 15 mSv	de 15 à 20 mSv	> 20 mSv
Manipulation et stockage	166	0,030	0,18	0,35	81	75	10	0	0	0	0
Activités dans un lieu entraînant une exposition professionnelle au radon et descendants	83	0,026	0,32	0,63	41	37	4	1	0	0	0
Total	249	0,056	0,23	0,44	122	112	14	1	0	0	0

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

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

ENJEUX ACTUELS EN RADIOPROTECTION

Un certain nombre de questions de radioprotection des travailleurs font 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 2016, l'IRSN a été fortement impliqué dans les travaux nationaux engagés pour transposer 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 la maintenance de la plateforme européenne ESOREX.

TRANSPPOSITION 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 et 2015, l'IRSN a été fortement impliqué en 2016 dans les travaux de transposition de cette nouvelle directive, assurant son rôle d'appui technique auprès des pouvoirs publics, participant aux divers groupes de travail mis en place pour cette transposition tant par la Direction Générale de la Prévention des Risques que par la Direction Générale du Travail pour ce qui concerne la protection des travailleurs. Concernant la transposition de la directive dans le code du travail, la DGT a préalablement fixé des orientations majeures, telles que :

- la recherche d'une meilleure cohérence du Décret avec la directive 2013/59/Euratom pour réduire les disparités avec les autres états membres, sans pour autant perdre les atouts du dispositif actuel, qui, à son époque avait sur-transposé la directive 96/29/Euratom sur certains points ;
- ramener les dispositions de radioprotection dans le droit commun, pour éviter que le risque

rayonnement ionisant ne soit traité spécifiquement et pour que son traitement soit harmonisé avec ce qui se fait pour les autres risques professionnels. Ceci implique notamment de restructurer les dispositions selon un plan cohérent avec la démarche adoptée pour les autres risques ;

- recentrer les exigences réglementaires sur des obligations de résultats pour les employeurs et non sur des moyens trop prescriptifs ;
- mieux graduer les exigences au regard de l'ampleur du risque ;
- réduire le nombre des textes, notamment des arrêtés pour améliorer la lisibilité des dispositions.

La publication du nouveau décret transposant la directive européenne dans le code du travail devrait arriver courant juillet 2017.

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.

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 physiciens 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 a débuté mi-2016, consiste 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, d'autre part les résultats d'examens ophtalmologiques. L'objectif est d'établir *in fine* une relation dose-effet.

La publication de la quatrième édition du guide d'aide pratique aux études de poste de travail (voir page 36) a également été 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 de ce 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.

Organisation d'une intercomparaison européenne de dosimètres passifs pour le cristallin

Dans le contexte de l'abaissement de la limite de dose au cristallin à 20 mSv/an suite à la parution de la directive européenne 2013/59/EURATOM, l'EURADOS (European Radiation Dosimetry Group) a organisé en 2016 une intercomparaison de dosimètres passifs pour le cristallin. Cette intercomparaison complète une précédente de ce type qui avait été réalisée en 2014 (IC2014eye) et qui portait uniquement sur des tests auprès de sources de rayonnements photoniques. L'intercomparaison de 2016 (IC2016eye), coordonnée de nouveau par l'IRSN, a consisté cette fois-ci à tester les dosimètres cristallins avec des photons et des bêtas. Au total, 22 laboratoires de dosimétrie individuelle de 12 pays différents y ont participé. Les dosimètres fournis par les participants étaient composés de matériaux thermoluminescents de différents types (cf. photo ci-dessous). Le rapport final regroupant l'ensemble des résultats de façon anonyme sera disponible ultérieurement mais les premières conclusions, présentées lors du dernier meeting annuel de l'EURADOS à Karlsruhe en février 2017, sont les suivantes. En ce qui concerne les rayonnements photoniques, la moitié des participants obtiennent 100% de résultats conformes aux exigences de la norme ISO 14146 [4], ces résultats confortent ceux observés lors de la première intercomparaison. Les résultats pour le rayonnement bêta illustrent la difficulté de ce type de mesure, en effet, seulement 2 participants obtiennent 100% de résultats conformes aux exigences normatives. En particulier, il a été clairement établi que des dosimètres conçus pour la mesure de $H_p(0,07)$ ne sont pas adaptés à la surveillance du cristallin pour des champs de rayonnement comportant une contribution significative des bêtas. Seuls, les dosimètres conçus pour la mesure du $H_p(3)$ et étalonnés dans cette même grandeur sont adaptés à la surveillance du cristallin.



© PTB, Allemagne

Les différents dosimètres cristallins ayant participé à l'intercomparaison organisée par l'EURADOS en 2016 (IC2016eye).

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 eu 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 agrégées des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants des pays participants, 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-2017, ce sont 22 pays qui ont désigné un administrateur national ESOREX. Au moins 14 d'entre eux ont également renseigné la partie informative et/ou des données dosimétriques. L'IRSN a renseigné, pour la France, la partie informative ainsi que les tables de données pour les années 2010 à 2016 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 2016

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

- Effectif total suivi : 372 262 travailleurs
- Dose collective de l'effectif total suivi : 63,2 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 : 0,71 mSv
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 1 mSv : 14 218 travailleurs (soit 3,8 % de l'effectif)
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 20 mSv : 1 travailleur
- Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle aux extrémités > 500 mSv : 2 travailleurs

Bilan de la surveillance de l'exposition interne

- Nombre d'exams de routine réalisés : 275 659 exams (dont moins de 0,5 % considérés positifs)
- Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 497 travailleurs
- Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée > 1 mSv : 5 travailleurs

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

- Dose collective pour 19 875 personnels navigants civils : 40,7 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
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
2016	372 262	63,20	0,17	0,71	3,8 %	1 ^(*)

(*) Au 15/05/2017

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 rayonnements ionisants sur leur lieu de travail.

Les chiffres clefs pour l'année 2016 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 2016 ont encore légèrement augmenté, progressant essentiellement dans le domaine de l'industrie nucléaire et non nucléaire. La dose collective enregistrée en 2016 est quasiment stable par rapport à 2015 et 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 3,8 % de l'effectif total suivi. Il n'y a eu qu'un seul cas de dépassement de la limite de dose efficace.

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 2016, 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 1,36 mSv et 1,15 mSv. Dans les activités médicales et vétérinaires, ainsi que dans la recherche, la dose annuelle moyenne reste inférieure à 0,5 mSv (respectivement 0,33 mSv et 0,24 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^{er} 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 des travailleurs 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 : quelques centaines de travailleurs dépassaient les 20 mSv par an il y a 20 ans, quelques cas sont désormais observés (1 en 2016). 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. L'un des enjeux des années à venir est que les modifications apportées par la directive européenne 2013/59/EURATOM ne remettent pas en cause et confortent même les grands équilibres actuels qui ont abouti à ces résultats.

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] Norme 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 ISO 14146 (juin 2000). Critères et limites d'habilitation pour l'évaluation périodique des exploitants de dosimètres individuels pour les rayons X et gamma
- [5] Norme ISO 13528 (aout 2015). Méthodes statistiques utilisées dans les essais d'aptitude par comparaison interlaboratoires
- [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] La radioprotection des travailleurs - Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2015 - IRSN - PRP-HOM/2016-00002 du 06/09/16 - Patrick JOLIVET, Juliette FEUARDENT, Ben-Mekki AYADI, Marie-Odile BERNIER, Hélène CAPLIN, Cécile CHALLETON-DE VATHAIRE, Isabelle CLAIRAND, Sylvie DERREUMAUX, Nora HOCINE, Laurent MARIE, Hervé ROY, Julie SAGE, Pascale SCANFF
- [21] Norme ISO 16645 (octobre 2016). Radioprotection – Accélérateurs médicaux d'électrons – Exigences et recommandations pour la conception et l'évaluation du blindage

ANNEXE : NOMENCLATURE DES SECTEURS D'ACTIVITE

Utilisations médicales et vétérinaires	
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
Transport de matières radioactives	
1201000	Nucléaire
1202000	Médical
1203000	Sources à usages divers (industriel, etc.)
Usages industriels et de services (hors entreprises de transport)	
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
Sources naturelles	
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
Nucléaire	
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
Autres	
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

N° du rapport : PRP-HOM 2017-00005

Couverture : photo Laurent Zylberman / Graphix-Images / IRSN

Tous droits réservés IRSN

Juin 2017

The logo for IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire) features the acronym 'IRSN' in a bold, sans-serif font. The letters 'I', 'R', and 'S' are red, while the 'N' is blue and enclosed within a white square with a blue border.

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

Twitter : @IRSNFrance, @radioprotection